

**Luiz Carlos Nogueira Junior**

# **Um estudo para redução do tempo de resposta do SAMU de Belo Horizonte através da realocação das bases de operação**

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

Área de Concentração: Produção e Logística

Orientador: Prof. Dr. Luiz Ricardo Pinto

Belo Horizonte  
UFMG  
2011



Universidade Federal de Minas Gerais

Escola de Engenharia



Departamento de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

# Um estudo para redução do tempo de resposta do SAMU de Belo Horizonte através da realocação das bases de operação

**Mestrando:**

Luiz Carlos Nogueira Junior

**Professor Orientador:**

Prof. Dr. Luiz Ricardo Pinto

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Luiz Ricardo Pinto

Prof. Dr. Martín Gómez Ravetti

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Leise Kelli de Oliveira

Belo Horizonte  
2011

“... nunca deixe que lhe digam:

Que não vale a pena

Acreditar no sonho que se tem

Ou que seus planos

Nunca vão dar certo

Ou que você nunca

Vai ser alguém...

Se você quiser alguém

Em quem confiar

Confie em si mesmo!

Quem acredita sempre alcança ...”

**Renato Russo e Flávio Venturini**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da existência.

Em especial aos meus pais e minha irmã, pelo exemplo de amor, dedicação e caráter.

A Paloma pela companhia, amizade e amor durante tantos anos.

Ao professor orientador Luiz Ricardo Pinto, pelas valiosas orientações e suporte nas horas mais complicadas.

Ao professor Ricardo Saraiva de Camargo, pelas importantes contribuições e direcionamentos dados para conclusão deste estudo.

Ao professor Leonardo Santiago pela apresentação do programa e pelo apoio nos momentos iniciais.

Aos amigos de mestrado Elisangela, Daniel, Luiz, Rivert, Pedro, Welington, Celso e tantos outros que dividiram e tanto contribuíram para concretização deste projeto.

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

A CAPES, pela bolsa de estudos concedida ao longo do trabalho.

Aos colegas de trabalho Luiz Trivelato, Marcelo Alvin, Flávio Araújo, Luiz Polignano, Leonel Del Rei, Lauro Soares e tantos outros que foram ao mesmo tempo fontes de inspiração e de apoio para realização deste projeto.

Aos professores e demais funcionários do departamento de Engenharia de Produção da UFMG.

Aos amigos e familiares que estiveram sempre próximos e atentos nessa caminhada.

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....      | <b>i</b>   |
| <b>LISTA DE TABELAS</b> .....      | <b>ii</b>  |
| <b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....     | <b>iv</b>  |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> ..... | <b>v</b>   |
| <b>RESUMO</b> .....                | <b>vi</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....              | <b>vii</b> |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2. CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO MÓVEL DE URGÊNCIA</b> .....  | <b>4</b>  |
| 2.1. Classificação dos serviços de atendimento à população.....   | 4         |
| 2.2. Serviços de emergência .....   | 4         |
| 2.3. Política nacional de atenção às urgências .....  | 5         |
| 2.4. O Serviço de Atendimento Móvel de Urgência - SAMU .....  | 5         |
| 2.5. Funcionamento do SAMU .....  | 5         |
| <b>3. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....   | <b>8</b>  |
| 3.1. Uma abordagem geral dos modelos de localização .....   | 8         |
| 3.2. Os modelos de localização aplicados ao SAMU .....  | 9         |
| 3.3. Uma abordagem geral da simulação de eventos discretos.....   | 14        |
| 3.4. A simulação de eventos discretos aplicada ao SAMU .....  | 16        |
| <b>4. ANÁLISE DO BANCO DE DADOS E DE OUTRAS INFORMAÇÕES DO SAMU DE BELO HORIZONTE</b> .....                                 | <b>20</b> |
| 4.1. Base de dados.....   | 20        |
| 4.2. Localização de bases de operação .....   | 33        |
| 4.3. Localização dos Hospitais, Unidades de Pronto Atendimento (UPA) e Centros de referência em saúde mental (CERSAM) ..... | 34        |
| 4.4. Localização dos pontos de demanda .....  | 36        |
| 4.5. A triangulação entre os Pontos de Demanda, as Bases de Operação e os Centros de Atendimento via coordenada UTM .....   | 39        |
| 4.6. Custos .....   | 42        |
| <b>5. MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES</b> .....  | <b>43</b> |
| 5.1. Modelo desenvolvido .....  | 43        |
| <b>6. MODELO DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS</b> .....  | <b>46</b> |
| <b>7. ANÁLISES DE CENÁRIOS E RESULTADOS COMPUTACIONAIS</b> .....  | <b>49</b> |
| <b>8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....   | <b>71</b> |
| <b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....  | <b>73</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 - Fluxo do processo de resgate .....   | 07 |
| Figura 3.1 - Quando utilizar a simulação? .....   | 14 |
| Figura 3.2 - Relacionamento dos elementos da simulação .....  | 15 |
| Figura 4.1 - Incidência de despacho de ambulância por regional .....  | 21 |
| Figura 4.2 - Regionais da cidade de Belo Horizonte .....  | 24 |
| Figura 4.3 - Divisão das regionais em Unidades de Planejamento .....  | 25 |
| Figura 4.4 - Demanda concentrada em 1 ponto.....  | 37 |
| Figura 4.5 - Demanda concentrada em 9 pontos .....  | 38 |
| Figura 4.6 - Demanda concentrada em 71 pontos .....   | 39 |
| Figura 4.7 - Exemplo da lógica de deslocamento das ambulâncias .....  | 41 |
| Figura 6.1 - Fluxograma do processo de atendimento de uma chamada de emergência .....                             | 47 |
| Figura 7.1 - Localização geográfica das bases e ambulâncias a serem instaladas pelo cenário 5 .....               | 61 |
| Figura 7.2 - Localização geográfica das bases de operação dos cenários 2011 (esquerda) e cenário 5 (direita)..... | 62 |
| Figura 7.3 - Localização geográfica das bases e ambulâncias a serem instaladas pelo cenário 6 .....               | 64 |
| Figura 7.4 - Localização geográfica das bases de operação dos cenários 2011 (esquerda) e cenário 6 (direita)..... | 65 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 3.1 - Sumário dos modelos determinísticos estáticos e dinâmicos .....  | 12 |
| Tabela 3.2 - Sumário dos modelos probabilísticos .....  | 13 |
| Tabela 3.3 - Tempos de resposta .....   | 18 |
| Tabela 4.1 - Ocorrências por bairro .....   | 23 |
| Tabela 4.2 - Ocorrências por regional .....   | 26 |
| Tabela 4.3 - Atendimentos nas 71 Unidades de Planejamento .....   | 27 |
| Tabela 4.4 - Atendimentos por tipo de ambulância .....  | 28 |
| Tabela 4.5 - Atendimentos por dia da semana .....   | 28 |
| Tabela 4.6 - Atendimentos por período .....   | 29 |
| Tabela 4.7 - Ocorrências por período aos domingos .....   | 30 |
| Tabela 4.8 - Ocorrências por período as segundas-feiras .....   | 30 |
| Tabela 4.9 - Ocorrências por período as terças-feiras .....   | 30 |
| Tabela 4.10 - Ocorrências por período as quartas-feiras .....   | 30 |
| Tabela 4.11 - Ocorrências por período as quintas-feiras .....   | 30 |
| Tabela 4.12 - Ocorrências por período as sextas-feiras .....  | 31 |
| Tabela 4.13 - Ocorrências por período aos sábados .....   | 31 |
| Tabela 4.14 - Bases de operação e distribuição de ambulâncias por base.....   | 34 |
| Tabela 4.15 - Localização dos Hospitais, UPA e CERSAM .....   | 35 |
| Tabela 4.16 - Tipos de ocorrências por ponto de atendimento .....   | 36 |
| Tabela 4.17 - Tipos de ocorrência e Ponto de Atendimento .....  | 36 |
| Tabela 7.1 - Testes de cenário do SAMU a partir do modelo de SED .....  | 49 |
| Tabela 7.2 - Testes de Cenário considerando período do dia, número máximo de ambulâncias instaladas e tempo de resposta ..... | 52 |
| Tabela 7.3 - Testes de Cenário considerando período do dia, número máximo de ambulâncias instaladas e tempo de resposta ..... | 54 |
| Tabela 7.4 - Resumo dos melhores TR encontrados nos cenários 1, 4, 5 e 6 no período madrugada .....                           | 55 |
| Tabela 7.5 - Resumo dos melhores TR encontrados nos cenários 1, 4, 5 e 6 no período manhã .....                               | 56 |
| Tabela 7.6 - Resumo dos melhores TR encontrados nos cenários 1, 4, 5 e 6 no período tarde                                     | 56 |
| Tabela 7.7 - Resumo dos melhores TR encontrados nos cenários 1, 4, 5 e 6 no período noite                                     | 57 |
| Tabela 7.8 - Comparativo dos melhores TR – Otimização versus Simulação (período manhã – pico de demanda).....                 | 58 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 7.9 - Cenários mais competitivos para implementação futura .....   | 59 |
| Tabela 7.10 - Detalhamento da localização geográfica das bases de operação e ambulâncias para o cenário 5 ..... | 60 |
| Tabela 7.11 - Detalhamento da localização geográfica das bases de operação e ambulâncias para o cenário 6 ..... | 63 |
| Tabela 7.12 - Distribuição das bases de operação e ambulâncias nos cenários 2011, 5 e 6 ....                    | 66 |
| Tabela 7.13 - Análise comparativa dos cenários 2011 e 5 .....   | 67 |
| Tabela 7.14 - Análise comparativa dos cenários 2011 e 6 .....   | 68 |
| Tabela 7.15 - Análise econômica preliminar das configurações analisadas neste estudo .....                      | 69 |



**LISTA DE GRÁFICOS**

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 4.1 - atendimentos no período da manhã por dia da semana .....     | 31 |
| Gráfico 4.2 - atendimentos no período da tarde por dia da semana .....     | 32 |
| Gráfico 4.3 - atendimentos no período da noite por dia da semana .....     | 32 |
| Gráfico 4.4 - atendimentos no período da madrugada por dia da semana ..... | 33 |

**LISTA DE ABREVIATURAS**

|          |   |
|----------|---|
| ALS      | Advanced Life Support                                 |
| BLS      | Basic Life Support                                    |
| BH       | Belo Horizonte  |
| CERSAM   | Centro de Referência em Saúde Mental                  |
| DES      | Discrete Event Simulation                             |
| EMS      | Emergency Medical System                              |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística       |
| MCLP     | Maximal Covering Location Problem                     |
| OMS      | Organização Mundial de Saúde                          |
| OPAS     | Organização Pan-americana de Saúde                    |
| PO       | Pesquisa Operacional                                  |
| PRODABEL | Processamento de Dados do Município de Belo Horizonte |
| SAMU     | Serviço de Atendimento Móvel de Urgência              |
| SED      | Simulação de Eventos Discretos                        |
| SME      | Serviço Médico de Emergência                          |
| TEAM     | Tandem Equipment Allocation Model                     |
| UFMG     | Universidade Federal de Minas Gerais                  |
| UPA      | Unidade de Pronto Atendimento                         |
| USA      | Unidade de Serviço Avançada                           |
| USB      | Unidade de Serviço Básica                             |
| UTI      | Unidade de Terapia Intensiva                          |
| UTM      | Universal Transverse Mercator                         |

## RESUMO

As demandas por serviços e bens com alto grau de eficiência e eficácia são pré-requisitos imprescindíveis para as organizações modernas. Na área de saúde ser eficiente e eficaz significa, dentre outras coisas, contribuir para a diminuição de sequelas e ainda a manutenção de vidas humanas. Neste estudo, o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) da cidade de Belo Horizonte (BH) é foco de estudo. Garantir que o serviço de atendimento a situações de urgência seja realizado no menor tempo possível, lidando com restrições inerentes a qualquer sistema (de equipamento, pessoal, problemas de trânsito e/ou climáticos, etc.) é um dos muitos desafios existentes. Estudos recentes demonstram que o tempo de resposta atual do sistema está na casa dos 21 minutos (tempo entre o chamado via telefone e a chegada da ambulância no local do incidente), tempo este bastante distante do padrão internacional de atendimento que deve ficar próximo dos 8 minutos. Fatores ligados a quantidade de ambulâncias existentes, localização e quantidade de bases de operação, utilização de tecnologias, disponibilidade de leitos em hospitais e centros de atendimento, e etc., são elementos fundamentais para contribuir com um serviço mais efetivo. Neste estudo, um modelo de otimização é proposto visando re-localizar as bases de operação do SAMU de Belo Horizonte. É sugerida a hipótese que, otimizando a localização das bases de operação do sistema, um melhor tempo de resposta para o serviço será possível. Foram propostos diversos cenários e configurações foram testadas utilizando-se do modelo de otimização e de um modelo de simulação de eventos discretos. Soluções viáveis foram encontradas e propostas, objetivando melhorar o retrospecto do serviço, considerando questões de ordem econômica e de ordem operacional.

## **ABSTRACT**

The demand for services and goods with a high degree of efficiency and effectiveness are essential prerequisites for modern organizations. In healthcare to be efficient and effective means, among other things, contribute to the reduction of disability and also the maintenance of human life. In this study, the Service for Mobile Emergency in the city of Belo Horizonte is focused. Ensure that your answering service with emergency situations is carried out in the shortest possible time, dealing with restrictions inherent in any system (equipment, personnel, traffic problems and / or weather, etc.) is one of many problems. Recent studies show that the response time of the current system is in his 21 minutes (time between the call via telephone and the ambulance arrived at the scene), this time quite distant from the international standard of care that should be close to 8 minutes. Factors related to amount of ambulances available, location and number of bases of operation, use of technology, availability hospitals and care centers, and etc. are key elements contributing to a more effective service. In this study, an optimization model is proposed in order to re-locate the bases of operation. We hypothesized that by optimizing the location of the bases of operation of the system, a better response time for service is possible. Have been proposed scenarios and configurations were tested using the optimization model and a model of discrete event simulation. Feasible solutions were found and proposals, aiming at improving the service retrospect, considering issues of economic and operational changes.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Filho *et al* (2007), a área de saúde teve uma grande evolução científica e tecnológica no século XX, pois com o advento de novos medicamentos, tecnologias e procedimentos clínicos, doenças que matavam milhões de pessoas no século XIX desapareceram, proporcionando uma maior longevidade. Todavia, a grande demanda por esse serviço e a redução significativa dos recursos humanos, materiais e financeiros tornou a gestão na saúde uma atividade bastante complexa, principalmente nos países em desenvolvimento.

O Brasil apresenta um crescente processo de envelhecimento, com sua população vivendo mais a cada década. Além das modificações populacionais, o país tem experimentado mudanças no perfil das doenças que atingem a população, com alterações relevantes no quadro de causas de morte (IBGE, 2009).

Segundo a Organização Pan-Americana de Saúde - OPAS (2009), as doenças infectocontagiosas, que representavam cerca de metade das mortes registradas no País em meados do Século XX, hoje são responsáveis por menos de 10%, ocorrendo o oposto em relação às doenças cardiovasculares. Em menos de 50 anos, o Brasil deixou um perfil de mortalidade característico de uma população jovem para um típico quadro categorizado por enfermidades mais complexas e mais onerosas, próprias das faixas etárias mais avançadas (IBGE, 2009).

Ainda, de acordo com o relatório anual da Organização Pan-Americana da Saúde (2009) a expectativa de vida da população brasileira chega aos 69,1 anos para os homens e 76,4 para as mulheres. A diferença observada entre os sexos pode ser parcialmente explicada pelo aumento da violência urbana, onde ocorre elevada prevalência de óbitos violentos no sexo masculino (IBGE, 2009).

Em síntese, as informações sobre a esperança de vida ao nascer apontam, claramente, para um processo de envelhecimento populacional no País, o que vai exigir novas prioridades na área das políticas públicas a serem direcionadas para grupos populacionais específicos. Aliado a constatação de envelhecimento da população brasileira, a concentração da população nos grandes centros urbanos vem provocando diferentes demandas para os serviços de saúde no país.

Segundo Destri Junior (2005), cidades com grandes concentrações populacionais surgiram e com elas os problemas decorrentes, podendo-se citar:

- a grande utilização dos automóveis como meio de transporte levou as vias a uma sobrecarga, diminuindo a agilidade do deslocamento e em alguns casos, até restringindo os mesmos;
- aumento da violência urbana;
- doenças provenientes de uma população essencialmente sedentária e com hábitos alimentares pouco adequados.

A partir desses fatores e de outros, ocorrências médicas se multiplicam nos grandes centros urbanos, exigindo uma maior agilidade no processo de socorro as vítimas. Conforme Destri Junior (2005), se o socorro a uma urgência médica ocorre nos primeiros instantes, muitas vidas poderiam ser preservadas, pois o tempo é um elemento crucial na sobrevivência do paciente.

Em um contexto de demandas variadas, onde a população brasileira vive cada vez mais e o estilo de vida da população contribui para que determinadas urgências médicas ocorram com maior frequência, fica claro que o fator “tempo” toma um papel fundamental no atendimento de uma ocorrência. Essas características criam uma demanda de atendimento à emergência mais ágil e específica, onde em muitos casos o atendimento médico inicial tem que ocorrer onde o paciente está, seja no seu trabalho, na sua residência, nas ruas ou quaisquer outros lugares, através de unidades móveis de atendimento de urgência.

A partir deste tipo de demanda o Ministério da Saúde estabeleceu em 2003 o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) que faz parte da Política Nacional de Urgências e Emergências e ajuda a organizar o atendimento na rede pública prestando socorro à população em casos de emergência. O serviço funciona 24 horas por dia com equipes de profissionais de saúde, como médicos, enfermeiros, auxiliares de enfermagem e socorristas, que atendem às urgências de natureza traumática, clínica, pediátrica, cirúrgica, gineco-obstétrica e de saúde mental da população (MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 2010).

De acordo com Silva (2010) a função básica do SAMU é responder de forma organizada, a fim de evitar o uso excessivo de recursos, a toda situação de urgência que necessite de meios médicos, desde o primeiro contato telefônico até a liberação das vítimas ou seus encaminhamentos hospitalares. O sistema deve determinar e desencadear a resposta mais adequada para o caso, assegurar a disponibilidade dos meios hospitalares, determinar o tipo de transporte exigido e preparar o acolhimento dos pacientes (TAKEDA *et al*, 2001).

Neste trabalho, o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência de Belo Horizonte será foco de estudo. É sugerido que uma das principais causas que explicam o elevado tempo de resposta do serviço realizado pelo SAMU de Belo Horizonte – aproximadamente 21 minutos de acordo Silva (2010) – é devido ao posicionamento ineficiente das bases de operação, cujas localizações foram escolhidas sem a utilização de técnicas ou critérios científicos.

Um modelo de otimização para localização de facilidades é proposto e cenários são testados objetivando determinar localizações viáveis para as bases de operação que resultem em um tempo de resposta do SAMU mais adequado. A partir da re-localização das bases de operação, testes comparativos são realizados em um modelo de Simulação de Eventos Discretos. Espera-se que a partir dos resultados dos modelos de otimização e de simulação decisões relevantes possam ser extraídas e que estas contribuam para melhoria do serviço.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: no Capítulo 2 é caracterizado o serviço de atendimento móvel de urgência e no Capítulo 3 é realizada uma revisão da literatura sobre localização de facilidades e simulação de eventos discretos. No Capítulo 4 é apresentado o tratamento realizado no banco de dados do SAMU de Belo Horizonte utilizado nesse estudo. No Capítulo 5 um modelo de otimização é proposto objetivando encontrar localizações viáveis para as bases de operação e no Capítulo 6 um modelo de Simulação de Eventos Discretos é utilizado para comparar o tempo de resposta a partir das configurações sugeridas a partir da utilização do modelo de otimização. O Capítulo 7 apresenta a análise dos cenários e os resultados computacionais e o Capítulo 8 as conclusões do estudo.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO MÓVEL DE URGÊNCIA**

### **2.1. Classificação dos serviços de atendimento à população**

Segundo Gonçalves (1994) *apud* Takeda (2000), os serviços urbanos de atendimento à população podem ser classificados em três grandes grupos:

- Serviços de rotina: tem comportamento bastante previsível, sem grandes variações. São exemplos o serviço domiciliar de coleta de lixo e o serviço de entrega de correspondências;
- Semi-emergenciais: apresentam um alto grau de incerteza, mas seu não atendimento imediato, não coloca a vida de pessoas em risco. Nesta categoria podem-se citar como exemplos os serviços prestados pelas companhias de energia elétrica, água e saneamento urbano;
- Emergência: estes serviços também apresentam um alto grau de imprevisibilidade e o atendimento precisa ocorrer imediatamente após a solicitação de socorro. O não atendimento compromete a eficiência do sistema e ainda coloca em risco a vítima. Pode-se citar aqui como exemplo o serviço de atendimento móvel de urgência (SAMU).

De acordo com Conselho Federal de Medicina (1995), urgência e emergência tem definições distintas, sendo:

- Define-se por urgência, a ocorrência imprevista de agravo à saúde com ou sem risco potencial de vida, cujo portador necessita de assistência médica imediata;
- Define-se por emergência a constatação médica de condições de agravo à saúde que impliquem em risco iminente de vida ou sofrimento intenso, exigindo, portanto, tratamento médico imediato.

Para fins de padronização, as palavras urgência e emergência nesse estudo serão consideradas sinônimas.

### **2.2. Serviços de emergência**

De acordo com Takeda (2000) atividades de apoio a população como polícia, bombeiros e transporte por ambulância vêm sendo foco de vários grupos de pesquisadores, desde o início



dos anos 70 (FITZSIMMONS, 1971; ENGLAND e ROBERTS, 1978; UYENO e VERTINSKY, 1979).

Segundo o Ministério da Saúde do Brasil (2001), é responsabilidade do poder público prover para a sociedade atendimento qualificado para situações de agravo à saúde ou situações que atentem contra sua integridade física. No Brasil essa estrutura é provida por entidades públicas, como por exemplo: polícia (federal, civil e militar), corpo de bombeiros, serviço de atendimento móvel de urgência, rede de hospitais e unidades de atendimento, dentre outros.

### **2.3. Política Nacional de Atenção às Urgências**

O SAMU é o principal componente da Política Nacional de Atenção às Urgências, que tem como finalidade proteger a vida das pessoas e garantir a qualidade no atendimento no Sistema Único de Saúde (SUS). A política tem como foco cinco grandes ações:

- Organizar o atendimento de urgência nos pronto-atendimentos, unidades básicas de saúde e nas equipes do Programa Saúde da Família;
- Estruturar o atendimento pré-hospitalar móvel (SAMU);
- Reorganizar as grandes urgências e os prontos-socorros em hospitais;
- Criar a retaguarda hospitalar para os atendidos nas urgências, e
- Estruturar o atendimento pós-hospitalar.

### **2.4. O Serviço de Atendimento Móvel de Urgência - SAMU**

O SAMU faz parte da Política Nacional de Urgências e Emergências e ajuda a organizar o atendimento na rede pública prestando socorro à população em casos de emergência.

Com o SAMU, espera-se reduzir o número de óbitos, o tempo de internação em hospitais e as sequelas decorrentes da falta de socorro precoce. O serviço funciona 24 horas por dia, utilizando ambulâncias e equipes de profissionais de saúde que atendem diversos tipos de urgências.

### **2.5. Funcionamento do SAMU**

O SAMU realiza o atendimento de urgência e emergência em qualquer lugar: residências, locais de trabalho e vias públicas, contando com as Centrais de Regulação, profissionais e veículos de salvamento. Nas Centrais de Regulação ocorre o primeiro contato com a população

através do atendimento das ligações realizadas para o número 192. Nelas estão localizados os tele-digifonistas e os médicos reguladores.

Cada ligação realizada para o número 192 é atendida pelos tele-digifonistas que identificam a emergência e, imediatamente, transfere a ligação para o médico regulador. Este médico realiza o diagnóstico inicial da situação e orienta quem fez a ligação.

Simultaneamente, o médico regulador também precisa verificar em qual procedimento este paciente se enquadra. Em alguns casos mais simples, o paciente deverá procurar socorro em hospitais ou postos de saúde por conta própria. Em casos um pouco mais graves, uma ambulância do tipo básico é enviada até o local com um auxiliar de enfermagem e um socorrista. Para casos mais graves, uma UTI móvel é direcionada para local com um médico e um enfermeiro.

O médico regulador também tem autoridade para realizar reservas em leitos de hospitais, dependendo da gravidade do ocorrido, de maneira a garantir que não haja interrupção no processo de socorro.

A figura 2.1 representa o fluxo do processo de resgate e foi baseada no estudo de Silva (2010), onde é encontrada uma detalhada caracterização de cada etapa do processo de resgate do SAMU de Belo Horizonte.

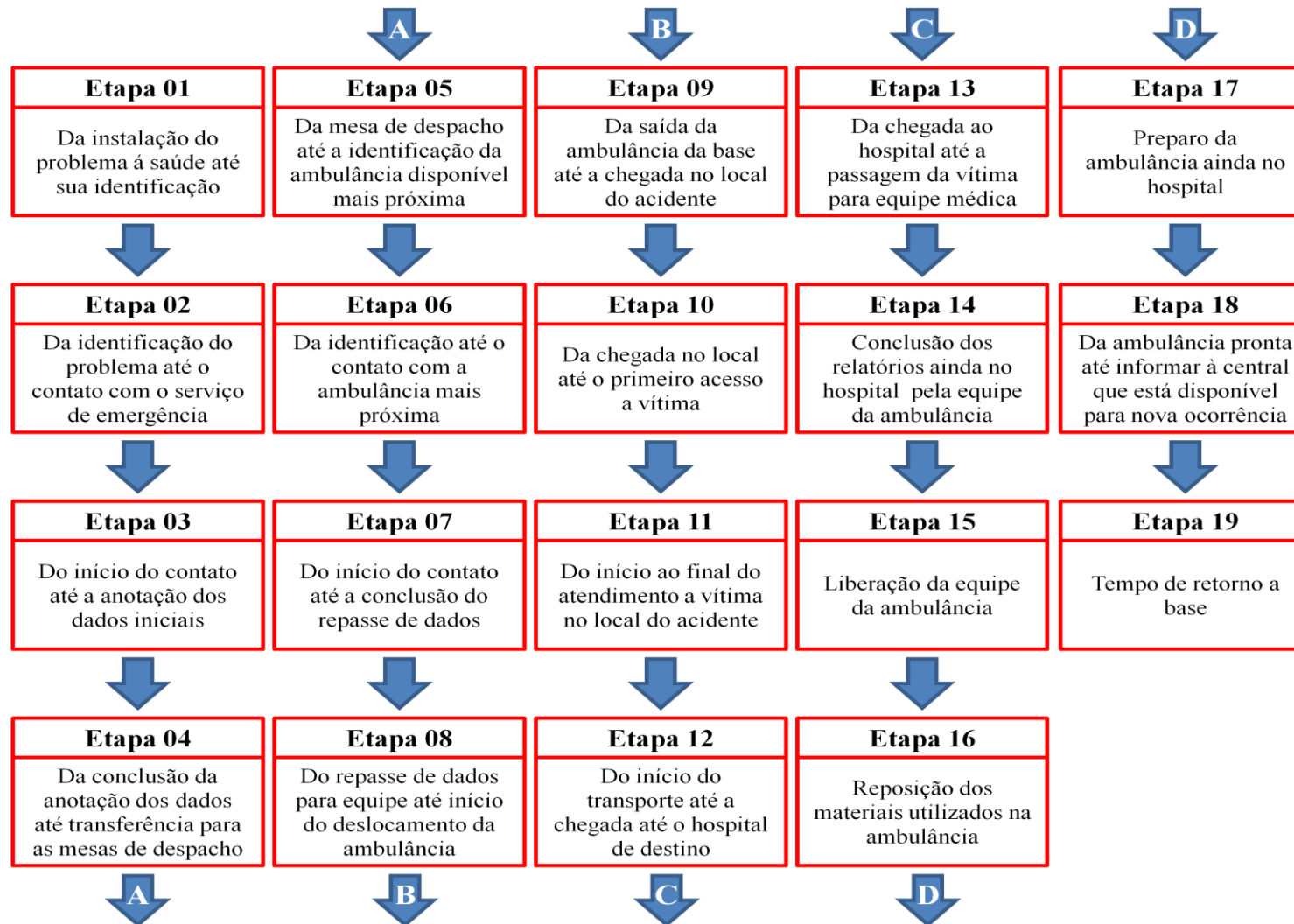


FIGURA 2.1 - Fluxo do processo de resgate

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1. Uma abordagem geral dos modelos de localização

Problemas de localização tratam de decisões sobre onde localizar facilidades, considerando clientes que devem ser servidos, de forma a otimizar um certo critério. O termo "facilidades" pode ser entendido como fábricas, depósitos, escolas, etc., enquanto que clientes se referem a depósitos, unidades de venda, estudantes, etc. (LORENA, 2003).

De forma bem genérica, um problema de localização de facilidades consiste na determinação de pontos para instalação de um número pré-determinado de facilidades que atendam uma demanda (conjunto de clientes) distribuída geograficamente, determinando a alocação dos clientes nas facilidades.

Owen e Daskin (1998) em uma revisão sobre localização de facilidades dividem os modelos de localização em três grandes categorias, e para cada uma identifica os principais problemas, sendo:

- Problemas de localização estáticos e determinísticos:
  - p-mediana (*p-Median Problem*);
  - cobertura (*Covering problems*);
  - p-centro (*Center problems*).
- Problemas de localização dinâmicos:
  - único (*Dynamic single facility location models*);
  - múltiplo (*Dynamic multiple facility location models*);
  - alternativos (*Alternative dynamic approaches*).
- Problemas de localização estocásticos:
  - probabilísticos (*Probabilistic models*);
  - método de planejamento de cenário (*Scenario planning models*).

Para uma descrição mais detalhada, destacam-se os trabalhos de Cooper (1963); Drezner (1995); Owen e Daskin (1998); Borrás e Pastor (2004); Snyder (2006); Sahin e Sural, (2007), onde são apresentados os principais modelos, métodos e aplicações, bem como uma descrição detalhada dos problemas citados.

Sahin e Sural (2007), em uma revisão hierárquica dos modelos de localização, categorizaram alguns sistemas reais comumente considerados nos estudos de localização, sendo:

- Sistemas de cuidado a saúde (*healthcare systems*).
- Sistemas de coleta de lixo (*solidwaste management systems*).
- Sistemas de produção e distribuição (*production-distribution systems*).
- Sistemas de educação (*education systems*).
- Redes de telecomunicação (*telecommunications networks*).
- Sistemas de serviço médico de emergência (*Emergency medical service systems*).

Para o estudo em questão, serão apresentados os principais modelos de localização aplicados ao serviço móvel de atendimento a urgências (SAMU).

### **3.2. Os modelos de localização aplicados ao Serviço de Atendimento Móvel de Urgência**

Duas questões primordiais surgem quando se pensa em sistemas de atendimento de urgência à população – como dimensionar um número mínimo de servidores (bases de operação do SAMU, por exemplo) de forma que toda população seja atendida pelo serviço? e – como dimensionar o sistema de forma que o tempo de resposta seja adequado para atendimento à população? Para responder essas e outras questões são utilizados modelos de localização de facilidades customizados para a realidade do sistema de atendimento de urgência (DREZNER, 1995).

Figueiredo *et al* (2003) descrevem que a localização de facilidades emergenciais desafia aqueles que têm a missão de planejar os sistemas de emergência, uma vez que estarão cumprindo um compromisso entre o atendimento ao indivíduo e a organização do sistema na tentativa de encontrar o melhor para ambos.

O interesse pelo estudo de localização de facilidades no contexto de serviços médicos de urgência tem algumas décadas. Re Velle *et al* (1977), a partir de aplicações do modelo de máxima cobertura para localização de caminhões do corpo de bombeiros, abriam precedentes para aplicação também no serviço médico de urgência.

Conforme Goldberg (2004), o serviço médico de urgência é uma área de grande interesse para os profissionais da área de pesquisa operacional desde 1960. Ele afirma que existem importantes decisões, tais como:

- localização de bases de operação e localização dinâmica de ambulâncias;
- seleção e despacho de veículos;
- quantidade de veículos de cada tipo;
- como e onde redirecionar recursos.

Ainda segundo o mesmo autor, os estudos de pesquisa operacional normalmente fazem as seguintes suposições:

- Existe um tempo  $T$  ou  $TR$ , que é denominado o tempo de resposta. Esse tempo deve ser o menor possível, de maneira que não interfira no sucesso do atendimento;
- A região analisada é dividida em áreas e os pontos de demanda são agregados no centro de cada área. O tempo de viagem é sempre relativo ao ponto central da área.

A função objetivo desses modelos poderá ser:

- Minimizar o tempo total de atendimento das chamadas;
- Minimizar o tempo total de viagem (atendimento);
- Maximizar a área de cobertura, dentro de um tempo  $T$ ;
- Maximizar a cobertura das chamadas (atender o maior número de chamadas possível), dentro de um tempo  $T$ .

Em um detalhado estudo, Brotcorne *et al* (2003) apresentaram uma revisão de três décadas sobre os modelos de localização de ambulâncias. As tabelas 3.1 e 3.2 trazem

um resumo dos modelos levantados no estudo, sendo a primeira tabela com os modelos determinísticos e a segunda com os modelos probabilísticos.

Das técnicas apresentadas, existem diversos estudos na literatura que demonstram aplicações bem sucedidas os trabalhos de MANDELL (1998), RAJAGOPALAN *ET AL* (2008), TAVAKOLI e LIGHTNER (2004) e JARDIM *ET AL* (2004).

De acordo com Figueiredo *et al* (2003), o tamanho da frota de ambulâncias e sua respectiva localização são fatores que podem ser gerenciados e controlados através de planejamento e afetam diretamente na eficiência do sistema. Dentre outros fatores, existe um relacionamento direto entre o tempo de resposta e a mortalidade e, é isto que faz com que a localização de ambulâncias seja um problema importante a ser resolvido.

TABELA 3.1 – Sumário dos modelos determinísticos estáticos e dinâmicos

| Referência                    | Modelo                          | Objetivo  | Restrição de cobertura                         | Restrição de localização por base   | Ambulância                     |
|-------------------------------|---------------------------------|---|--|---|--------------------------------|
| Re Velle et al (1971)         | LSCM                            | Minimiza o número de Ambulâncias  | Cobre cada ponto de demanda pelo menos uma vez | No máximo uma ambulância por base   | Um tipo. Número Ilimitado.     |
| Church e Re Velle (1974)      | MCLP                            | Maximiza a demanda coberta  | -  | No máximo uma ambulância por base   | Um tipo. Número ilimitado      |
| Schilling <i>et al</i> (1979) | TEAM                            | Maximiza a demanda coberta  | -  | No máximo uma ambulância de cada tipo por base. Tipo A pode ser alocada somente se B já estiver | Dois tipos. Número determinado |
| Schilling <i>et al</i> (1979) | FLEET                           | Maximiza a demanda coberta  | -  | No máximo uma ambulância por base. Somente $p$ bases podem ser utilizadas                       | Dois tipos. Número determinado |
| Daskin e Stern (1981)         | Modified MCLP                   | Maximiza a demanda coberta e o número de pontos atendidos                                     | Cobre cada ponto de demanda pelo menos uma vez | No máximo uma ambulância por base   | Um tipo. Número determinado    |
| Hogan e Re Velle (1986)       | Modified MCLP (BACOP1 e BACOP2) | Maximiza a demanda coberta duas vezes, ou uma combinação de demanda coberta uma ou duas vezes | Cobre cada ponto de demanda pelo menos uma vez | No máximo uma ambulância por base   | Um tipo. Número determinado    |
| Gendreau <i>et al</i> (1997)  | DSM                             | Maximiza a demanda coberta  | Toda demanda coberta                           | Número máximo de ambulâncias por base   | Um tipo. Número determinado    |
| Gendreau <i>et al</i> (2001)  | DDSM                            | Maximiza dinamicamente a demanda coberta  | Toda demanda coberta                           | Número máximo de ambulâncias por base   | Um tipo. Número determinado    |

Fonte: Brotcorne *et al* (2003)



TABELA 3.2 – Sumário dos modelos probabilísticos

| Referência                   | Modelo                             | Objetivo   | Restrição de cobertura            | Ambulância  | Período  |
|------------------------------|------------------------------------|--|-----------------------------------|---|--|
| Daskin (1983)                | MEXCLP                             | Maximiza a demanda coberta esperada                                | -                                 | Um tipo. Limite superior informado                  | Mesmo para cada ambulância                                       |
| Re Velle e Hogan (1989)      | MALP I                             | Maximiza demanda coberta com probabilidade $x$                     | -                                 | Um tipo. Numero dado                                | Mesmo para todas as bases  |
| Re Velle e Hogan (1989)      | MALP II                            | Maximiza demanda total coberta com probabilidade de pelo menos $x$ | -                                 | Um tipo. Numero dado                                | Varia para cada ponto de demanda                                 |
| Batta <i>et al</i> (1989)    | Ajustado MEXCLP (AMEXCLP)          | Maximiza a demanda coberta esperada                                | -                                 | Um tipo. Numero dado                                | Varia para cada ponto de demanda. Ambulâncias não independentes. |
| Goldberg <i>et al</i> (1990) | Ajustado MEXCLP                    | Maximiza a demanda coberta esperada dentro de 8 minutos            | -                                 | Um tipo. Numero dado. Dois tipos de chamada         | Mesmo para cada ambulância                                       |
| Ball e Lin (1993)            | Modificado LSCM (Rel-P)            | Minimiza a soma de custos fixos ambulâncias                        | Proporção de toda demanda coberta | Um tipo. Numero ilimitado                           | Limite superior  |
| Repede e Bernardo (1994)     | Tempo dependente MEXCLP (TIMEXCLP) | Maximiza a demanda coberta esperada                                | -                                 | Um tipo. Número dados. Variando velocidade          | Mesmo para cada ambulância                                       |
| Marianov e Re Velle (1994)   | QPLSCP                             | Maximiza demanda total coberta com probabilidade de pelo menos $x$ | -                                 | Um tipo. Limite inferior para cada ponto de demanda | Varia para cada ponto de demanda                                 |

Fonte: Brotcorne *et al* (2003)

### 3.3. Uma abordagem geral da simulação de eventos discretos

De acordo com Robinson (2005), poucas técnicas de modelagem tornaram-se tão populares como a simulação de eventos discretos, principalmente depois da evolução computacional. A simulação é uma poderosa ferramenta para a avaliação e análise de novos projetos de sistemas e nas modificações de sistemas existentes. Conduzir um estudo de simulação é uma arte e ao mesmo tempo uma ciência (CARSON, 2005).

A principal justificativa para o uso da simulação se dá em função da característica do problema que está sendo tratado. Se as variáveis do sistema tiverem característica aleatória e se os elementos do sistema forem interdependentes é bastante provável que a simulação será a melhor técnica a ser utilizada. A figura 3.1, proposta por Guedes (2001), representa, de maneira intuitiva, quando a simulação torna-se uma técnica adequada.

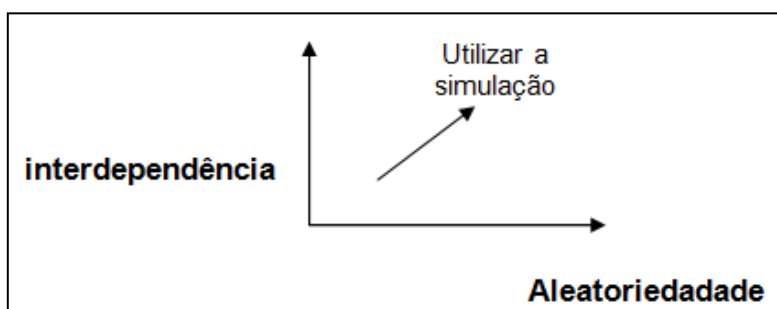


FIGURA 3.1 - Quando utilizar a simulação?

Fonte: Guedes (2001)

Segundo Chwif e Medina (2007) o termo simulação pode ser classificado em duas categorias, sendo: *i*) computacional e *ii*) não computacional (não necessita de computador). Tradicionalmente na engenharia e em diversas áreas do conhecimento, sistemas complexos são representados via simulação computacional através de modelos, que, em essência, buscam reproduzir a realidade em um ambiente computacional.

Um modelo é considerado uma abstração da realidade, aproximando-se do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples do que o sistema real. Na literatura diversos tipos de modelos foram desenvolvidos e aplicados. Chwif e Medina (2007) dividem esses modelos em três tipos principais, sendo:

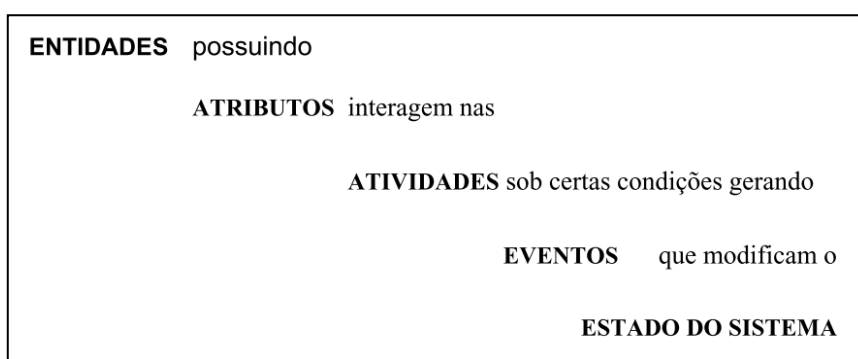
- Modelos simbólicos, icônicos ou diagramáticos;
- Modelos matemáticos ou analíticos;

- Modelos de simulação.

Habitualmente, nos modelos de simulação utilizam-se termos específicos para caracterizar o sistema e representar seu funcionamento. É o caso dos elementos descritos abaixo:

- Sistema: Conjunto de partes que se integram para um objetivo comum;
- Entidade: São objetos que requisitam serviços (exemplo: usuários em uma fila de banco);
- Atributo: Informações que caracterizam uma entidade em particular (exemplo: o tipo de cliente do banco);
- Processo: Ações realizadas sobre a entidade ao longo da simulação;
- Recursos: Objetos que provêm serviços às entidades (exemplo: o caixa do banco);
- Atividade: Operação que envolve alguma entidade e que pode ou não necessitar de algum recurso.

Para cada modelo de simulação, cada um dos elementos relatados acima terá características distintas. A figura 3.2, de acordo com De Oliveira (2001) exemplifica a relação dos diversos elementos de um modelo de simulação.



**FIGURA 3.2 - Relacionamento dos elementos da simulação**

**Fonte: De Oliveira (2001)**

Por fim, os modelos de simulação computacional, podem ser classificados em três categorias básicas, sendo:

- Simulação de Monte Carlo;
- Simulação contínua;

- Simulação de eventos discretos.

De acordo com Banks e Carson (1986) a simulação é a imitação da operação de processos reais ou sistemas num dado período de tempo. Para Harrel (2002), a simulação é um processo de experimentação com o modelo de um sistema real para determinar o modo como este responderá a mudanças em sua estrutura e ambiente. No estudo em questão, um modelo de simulação de eventos discretos (SED) aplicado ao serviço de atendimento móvel de urgência é utilizado.

### **3.4. A simulação de eventos discretos aplicada ao Serviço de Atendimento Móvel de Urgência**

Um sistema de emergência médica pode ser definido como a sequência de eventos que começa no instante seguinte de um incidente (acidente de trânsito, desmoronamentos, etc.) e, que termina quando a transferência do paciente para uma unidade de saúde com os recursos necessários para seu tratamento é realizada (FITZSIMMONS, 1971).

Os sistemas na área de saúde são dinâmicos e de grande complexidade, envolvendo diversos processos com forte interação e influenciados por eventos de natureza aleatória. Esse cenário impõe sérias dificuldades para estudos analíticos do problema, fazendo com que a simulação seja uma ferramenta bastante indicada (SABBADINI e GONÇALVES, 2005).

No detalhado estudo realizado por England e Roberts (1978), foi categorizada em seis, as áreas de estudo da simulação computacional focada em *healthcare* (área de cuidados a saúde). Dentre os tópicos, existe uma área que se destinou ao estudo do serviço de atendimento móvel de urgência, considerando suas peculiaridades.

Uyeno e Vertinsky (1979) citaram em um artigo na área de emergências médicas que uma adequada política de despacho e de posicionamento das bases e das ambulâncias pode reduzir o tempo de resposta dos atendimentos, possibilitando salvar vidas, diminuir as sequelas do trauma e acelerar o início do tratamento intensivo que existe nos hospitais.

Em um trabalho apresentado por Currie *et al* (1984), foi proposto um estudo de diversas variáveis do sistema (modelados via simulação) do serviço de atendimento móvel de urgência, a fim de atender uma demanda crescente pelo serviço, sendo as principais:

- Os tipos de ocorrências médicas mais comuns;

- Os tipos de veículos utilizados (unidades básicas e avançadas);
- O número de socorristas por tipo de ambulância utilizada.

O modelo desenvolvido deveria auxiliar nas operações de atendimento de urgência, provendo informações a respeito do número adequado de funcionários e veículos, equipamentos e recursos financeiros mínimos necessários, dentre outros.

Em diversos estudos de simulação aplicados ao serviço de atendimento móvel de urgência, verificados na literatura, um dos principais objetos de estudo se concentra no tempo de resposta, que pode ser conceituado como o tempo entre a comunicação de uma ocorrência e a chegada da ambulância ao local da cena (TAKEDA, 2000).

De acordo com Pons e Markovchick (2002) o tempo de resposta pode variar em função da realidade de cada país, cidade ou região. De acordo com esses autores as agências de serviço de emergência procuraram estabelecer uma meta para que o tempo de resposta não ultrapassasse 8 minutos em 90% das ocorrências. Esse limite foi determinado com base em uma pesquisa da Organização Mundial de Saúde (OMS) que demonstrou que pacientes com traumas graves (como parada cardíaca), que eram socorridos em tempos inferiores a 8 minutos, tinham chances de sobreviver aumentadas.

Em um levantamento realizado pelo ministério da saúde do Canadá (2007), abrangendo a região metropolitana de Toronto e outras regiões do país, percebeu-se que o tempo de resposta, é na maioria das cidades inferior a 15 minutos. A tabela 3.3 traz os tempos registrados entre 2001 e 2007.

TABELA 3.3 Tempos de resposta

| GTA                        | 1996       | 2001     | 2002     | 2003     | 2004     | 2005     | 2006     | 2007     |
|----------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                            | (standard) |          |          |          |          |          |          |          |
| <b>Toronto</b>             | 00:08:20   | 00:11:29 | 00:11:15 | 00:11:18 | 00:11:31 | 00:12:17 | 00:11:56 | 00:11:58 |
| <b>Peel Region</b>         | 00:09:32   | 00:11:03 | 00:11:13 | 00:11:43 | 00:11:23 | 00:11:50 | 00:12:15 | 00:12:10 |
| <b>York Region</b>         | 00:11:38   | 00:11:58 | 00:11:36 | 00:12:21 | 00:11:48 | 00:12:25 | 00:12:35 | 00:13:04 |
| <b>Durhan Region</b>       | 00:10:01   | 00:11:34 | 00:11:25 | 00:10:58 | 00:10:41 | 00:10:33 | 00:10:30 | 00:10:34 |
| <b>Halton Region</b>       | 00:10:32   | 00:09:51 | 00:10:01 | 00:10:11 | 00:09:56 | 00:10:05 | 00:10:20 | 00:10:30 |
| <b>Outras Áreas</b>        |            |          |          |          |          |          |          |          |
| <b>Waterloo Region</b>     | 00:10:30   | 00:11:59 | 00:11:50 | 00:11:01 | 00:12:04 | 00:13:05 | 00:13:01 | 00:12:13 |
| <b>Hamilton</b>            | 00:10:03   | 00:10:29 | 00:10:28 | 00:10:40 | 00:10:43 | 00:11:21 | 00:12:19 | 00:11:39 |
| <b>Niagara Region</b>      | 00:10:48   | 00:10:59 | 00:10:29 | 00:10:45 | 00:10:30 | 00:11:06 | 00:10:38 | 00:10:58 |
| <b>Brant Country</b>       | 00:12:00   | 00:11:35 | 00:12:07 | 00:12:15 | 00:12:26 | 00:12:21 | 00:12:20 | 00:12:04 |
| <b>Simcoe Country</b>      | 00:15:00   | 00:16:02 | 00:16:08 | 00:15:38 | 00:15:11 | 00:14:56 | 00:14:40 | 00:14:40 |
| <b>Ottawa-Carleton</b>     | 00:12:38   | 00:11:46 | 00:11:27 | 00:11:55 | 00:11:44 | 00:12:37 | 00:14:49 | 00:12:16 |
| <b>Northumberland Co.</b>  | 00:16:00   | 00:17:44 | 00:17:46 | 00:16:53 | 00:16:57 | 00:16:51 | 00:16:55 | 00:16:54 |
| <b>Wellington Country</b>  | 00:14:55   | 00:13:57 | 00:14:26 | 00:14:45 | 00:14:18 | 00:14:27 | 00:14:24 | 00:13:50 |
| <b>Peterborough Contry</b> | 00:19:00   | 00:19:17 | 00:18:35 | 00:17:33 | 00:16:33 | 00:16:18 | 00:17:21 | 00:17:36 |
| <b>Dufferin Country</b>    | 00:16:42   | 00:15:46 | 00:16:39 | 00:15:49 | 00:14:36 | 00:13:59 | 00:14:07 | 00:13:42 |
| <b>Muskoka District</b>    | 00:24      | 00:20    | 00:21:00 | 00:22:00 | 00:20    | 00:28:07 | 00:20    | 00:19:03 |

Fonte: Adaptado do Ministério da Saúde do Canadá (2007)

Estudos realizados por Al-Ghamdi (2002) na cidade de Riyadh, capital da Arábia Saudita, a principal variável analisada no serviço de atendimento de urgência também foi o tempo de resposta. A partir da simulação do sistema considerando uma configuração viável, o tempo foi reduzido a 10,23 minutos (o que segundo o autor, representa tempos de resposta similares ao de cidades americanas e inglesas).

Wu e Hwang (2009) desenvolveram uma modelagem via simulação de eventos discretos do sistema de atendimento de emergência da cidade de Tainan em Taiwan. Novamente o parâmetro utilizado para avaliar o sistema de resgate foi o tempo de resposta. À medida que o pesquisador variou o número de ambulâncias e bases de operação do sistema, tempos de resposta foram verificados. O melhor resultado encontrado no sistema foi um tempo de resposta de 9 minutos, considerando ainda que o sistema operava com sobra de 2 ambulâncias em determinados horários.

Takeda (2000) realizou um estudo que partiu da análise do serviço de atendimento móvel de urgência de cidades no interior de São Paulo de pequeno, médio e grande porte. Após estabelecer alguns critérios o estudo ficou focado na cidade de Campinas, por se tratar de uma cidade de grande porte e com as características típicas do SAMU de outras grandes cidades brasileiras.

O modelo utilizado foi o hipercubo de filas implementado computacionalmente em linguagem Pascal. Os melhores tempos de resposta encontrados neste estudo foram discriminados entre ambulâncias do tipo básica (8,18 minutos) e avançado (7,05 minutos), considerando bases descentralizadas e acréscimo de unidades no sistema (2 unidades básicas e 1 unidade avançada). Sem o acréscimo de unidades no sistema os tempos ficam em 10,97 minutos para unidades básicas e 10,91 minutos para unidades avançadas. O fato das unidades avançadas apresentarem um tempo de resposta menor se dá em virtude da natureza do atendimento (TAKEDA, 2000).

Garcia (2006) utilizou a simulação de eventos discretos para dimensionar os recursos do atendimento móvel de urgência da região metropolitana do estado do Rio de Janeiro. O estudo foi dividido em quatro partes, sendo a primeira o estudo do dimensionamento do número de atendentes (que testou diversas configurações e identificou que um total de 15 atendentes cessaria a fila do sistema). O segundo estudo se concentrou no dimensionamento da frota de ambulâncias de um centro de atendimento, onde foi definido que com 3 veículos por base praticamente eliminaria a ocorrência de fila.

O terceiro modelo tratou de avaliar a capacidade de atendimento da unidade de saúde. A partir da simulação foi verificado que o posto tem capacidade de realizar 500 atendimentos mês, seguindo os requisitos de qualidade pré-determinados. Na quarta e última configuração objetivou-se avaliar a configuração da frota de ambulâncias para cenários alternativos do serviço integrado das unidades móveis do SAMU com os hospitais dos municípios de Niterói e São Gonçalo. O melhor cenário observado revelou a utilização de 12 unidades no sistema, alcançando o menor tempo de espera em fila para chegada da ambulância (aproximadamente 5 minutos).

Silva (2010) em um recente estudo do SAMU de Belo Horizonte modelou o serviço de atendimento móvel de urgência via simulação de eventos discretos. Para o sistema modelado (que representa sua configuração em 2009), o tempo de resposta encontrado foi de 21,21 minutos.

## **4. ANÁLISE DO BANCO DE DADOS E OUTRAS INFORMAÇÕES DO SAMU DE BELO HORIZONTE**

### **4.1. Base de Dados**

A cidade de Belo Horizonte conta com uma população de 2.452.617 habitantes e tem uma área de 330,954 km<sup>2</sup> IBGE (2009). O SAMU de BH conta com uma central de atendimento (denominada central de regulação) que recebe diariamente ligações de urgência pelo número 192 provenientes de toda a cidade.

Objetivando estudar o serviço de atendimento móvel de urgência da cidade e propor soluções de melhoria do sistema à luz das técnicas, ferramentas e métodos da Engenharia, foi disponibilizado (pelo próprio SAMU) um banco de dados contendo os registros de todos os atendimentos realizados na central de regulação do SAMU no período entre 04/10/2006 a 13/09/2009 somando 1.734.250 chamadas.

Buscando identificar somente as chamadas de interesse da pesquisa em questão, uma série de filtros (segregações) foi realizado no banco de dados do SAMU de BH. Em seguida são enumerados e justificados esses filtros:

- i. O primeiro filtro realizado eliminou todos os dados relativos a trote, pedido de informação, engano, chamada interna, etc;

Número de dados resultante: 506.229 (Aproximadamente 30% do banco total).

- ii. No segundo filtro foram mantidos os dados que respeitavam os seguintes parâmetros de avaliação:
  - Conduta médica (tipo 2) com despacho de ambulância para atendimento de chamado;
  - Tipos de ambulância USB (básica) e USA (avançada);
  - Somente as ocorrências da cidade de Belo Horizonte (desprezadas as demais cidades da região metropolitana).

Número de dados resultantes: 122.330 (cerca de 7% dos dados iniciais).

- iii. O terceiro filtro realizado desconsiderou as chamadas ocorridas no horizonte de tempo anterior a 01 de janeiro do ano de 2008. Esta medida foi realizada em virtude do



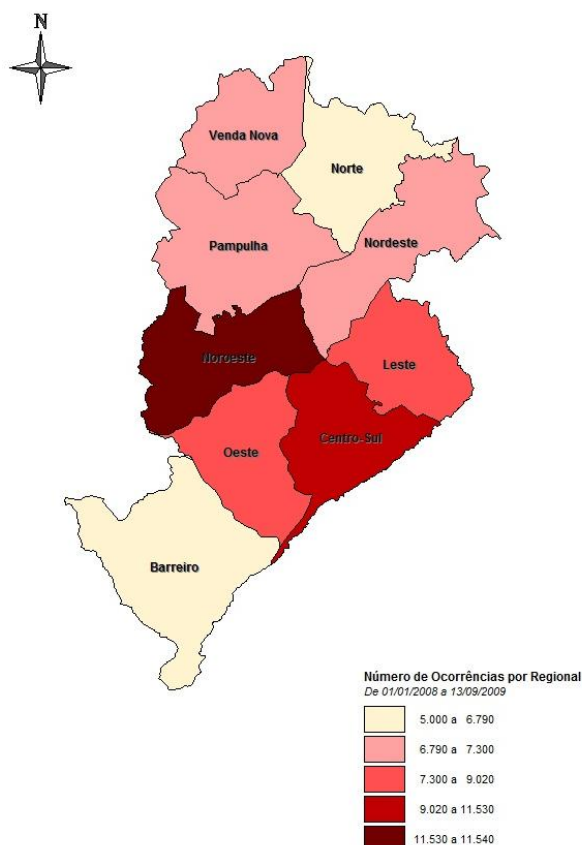
sistema atual ser bastante diferente do cenário observado em ocorrências verificadas entre os anos de 2006 e 2007.

Número de dados resultantes: 71.215

- iv. No quarto e último filtro foi realizada uma minuciosa verificação de todos os bairros relacionados no banco de dados, quanto a sua real localização no município de Belo Horizonte. Foram encontrados alguns erros de localização (bairros de outros municípios localizados em BH) e estes eliminados do banco em questão.

Número de dados resultantes: 70.706

A figura 4.1 traz a distribuição das 70706 ocorrências por regional em uma escala crescente do número de atendimentos.



**FIGURA 4.1 – Incidência de despacho de ambulância por regional**

Para cada uma das 70.706 chamadas foi identificado o bairro e a respectiva regional onde aconteceu a ocorrência. No banco de dados em questão foram observados 391 bairros ou vilas com ocorrência de atendimento do SAMU, representando uma cobertura de 79% dos bairros da cidade (BH tem aproximadamente 497 bairros e vilas).

Para alguns bairros e vilas não foram registradas ocorrências com despacho de ambulância no banco de dados. Este fato pode ser explicado em parte devido a dinâmica que envolve o preenchimento das informações pelos atendentes do SAMU (tele-digifonistas) e também a dificuldade da população em repassar informações de localização da ocorrência de forma precisa (devido em parte ao estresse provocado pela situação de emergência).

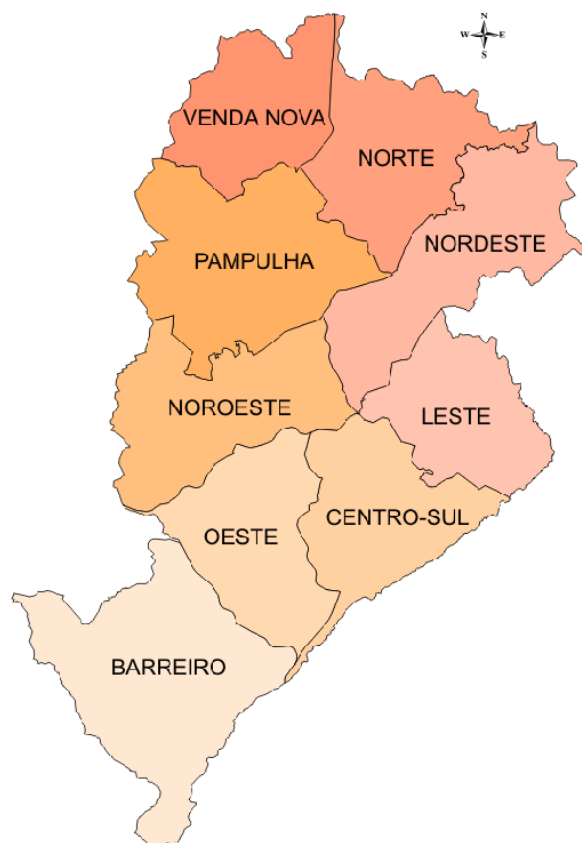
Outra explicação para tal fato pode estar relacionada com a não utilização do serviço do SAMU pelos moradores destes bairros no período verificado ou a eliminação dos dados por algum dos filtros citado.

Os 70706 dados representam a população das ocorrências registradas no SAMU de Belo Horizonte com despacho de ambulância no período de 01 de janeiro de 2008 a 13 de setembro de 2009, e são esses dados que serão utilizados no presente estudo. A tabela 4.1 traz em ordem decrescente, de maneira resumida, as 70706 chamadas divididas entre os 391 bairros ou vilas da cidade.

TABELA 4.1 - Ocorrências por bairro

| <b>BAIRRO OU VILA</b> | <b>OCORRÊNCIAS</b> | <b>% UNIT</b> | <b>% ACUM</b> |
|-----------------------|--------------------|---------------|---------------|
| CENTRO                | 3943               | 5,6%          | 5,6%          |
| PADRE EUSTAQUIO       | 1187               | 1,7%          | 7,3%          |
| SANTA EFIGENIA        | 991                | 1,4%          | 8,7%          |
| FLORESTA              | 859                | 1,2%          | 9,9%          |
| CEU AZUL              | 831                | 1,2%          | 11,0%         |
| FUNCIONARIOS          | 820                | 1,2%          | 12,2%         |
| CAICARAS              | 819                | 1,2%          | 13,4%         |
| TUPI                  | 790                | 1,1%          | 14,5%         |
| MANTIQUEIRA           | 787                | 1,1%          | 15,6%         |
| BARREIRO              | 784                | 1,1%          | 16,7%         |
| SAGRADA FAMILIA       | 775                | 1,1%          | 17,8%         |
| SERRA                 | 764                | 1,1%          | 18,9%         |
| LAGOINHA              | 763                | 1,1%          | 20,0%         |
| SAO GERALDO           | 756                | 1,1%          | 21,0%         |
| JARDIM AMERICA        | 736                | 1,0%          | 22,1%         |
| SANTA MONICA          | 731                | 1,0%          | 23,1%         |
| CARLOS PRATES         | 702                | 1,0%          | 24,1%         |
| LINDEIA               | 671                | 0,9%          | 25,0%         |
| TAQUARIL              | 649                | 0,9%          | 26,0%         |
| SANTA CRUZ            | 641                | 0,9%          | 26,9%         |
| BOA VISTA             | 626                | 0,9%          | 27,8%         |
| FLORAMAR              | 617                | 0,9%          | 28,6%         |
| BARRO PRETO           | 608                | 0,9%          | 29,5%         |
| VERA CRUZ             | 599                | 0,8%          | 30,3%         |
| BETANIA               | 595                | 0,8%          | 31,2%         |
| ALTO VERA CRUZ        | 593                | 0,8%          | 32,0%         |
| JARDIM LEBLON         | 568                | 0,8%          | 32,8%         |
| GOIANIA               | 564                | 0,8%          | 33,6%         |
| DEMAIS BAIRROS        | 46937              | 66,4%         | 100,0%        |

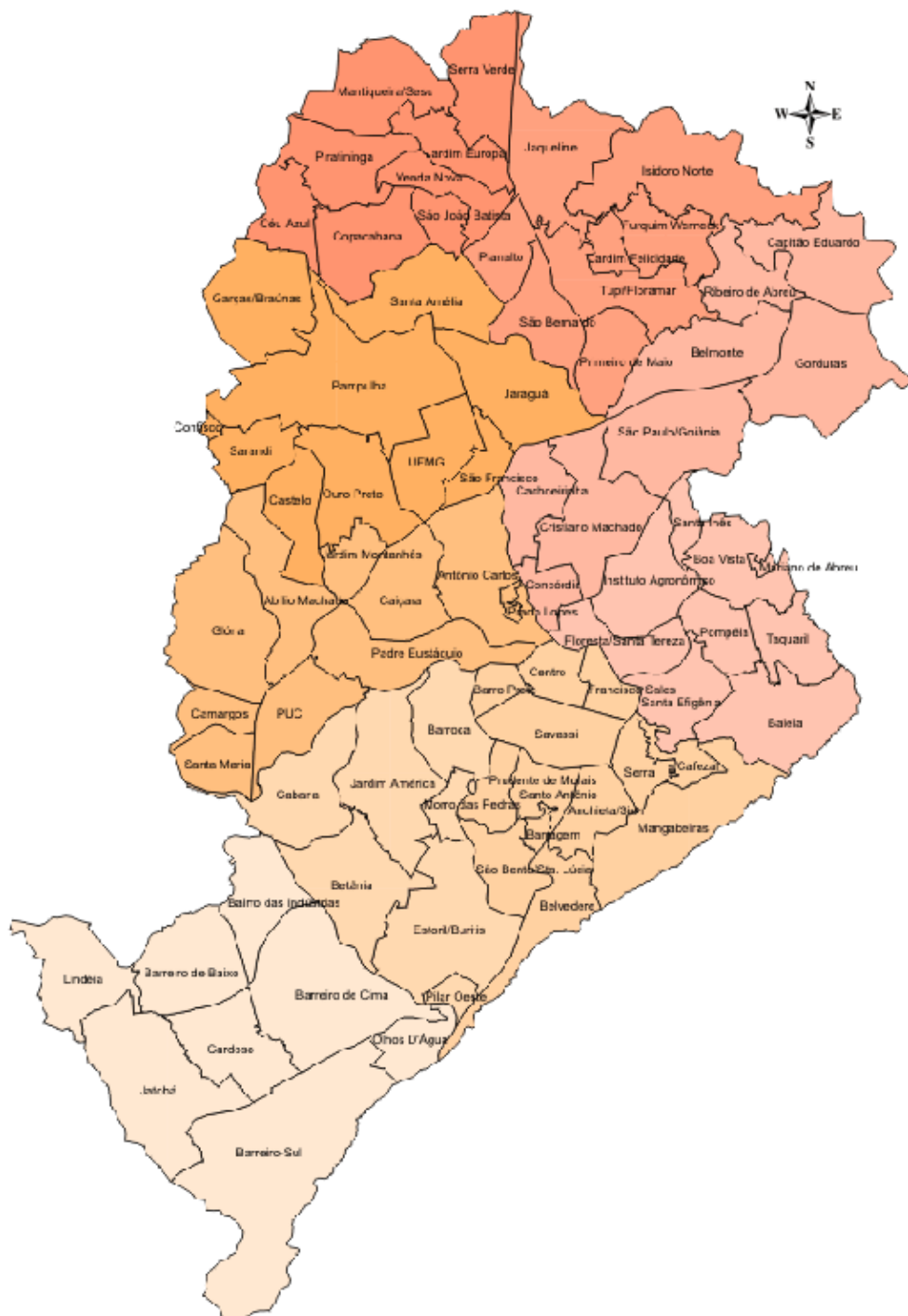
A prefeitura de Belo Horizonte agrupa os bairros da cidade em 9 regionais, sendo estas apresentadas na figura 4.2.



**FIGURA 4.2 - Regionais da cidade de Belo Horizonte**

**Fonte: Prodabel (2009)**

Outra forma de agrupamento de bairros, também utilizada pela prefeitura de Belo Horizonte, divide cada uma das nove regionais em partes menores, denominadas Unidades de Planejamento. A figura 4.3 ilustra essa divisão.



**FIGURA 4.3 - Divisão das regionais em Unidades de Planejamento**

**Fonte: Prodabel (2009)**

Analisando a divisão dos 70706 atendimentos entre as regionais da cidade de Belo Horizonte, pode-se verificar que, conforme representado na tabela 4.2, a regional Noroeste apresenta a maior incidência de despachos de ambulância (16,31%) e a regional do Barreiro o menor número (8,38%). A regional denominada NA (com 0,02% das ocorrências registradas) apresenta 11 despachos realizados na extensão do Anel Rodoviário, sem o registro da regional de ocorrência.

TABELA 4.2 - Ocorrências por regional

| <b>REGIONAL</b>   | <b>OCORRÊNCIAS</b> | <b>% UNIT</b> | <b>% ACUM</b> |
|-------------------|--------------------|---------------|---------------|
| <b>NOROESTE</b>   | <b>11532</b>       | <b>16,3%</b>  | <b>16,3%</b>  |
| <b>CENTRO-SUL</b> | <b>9479</b>        | <b>13,4%</b>  | <b>29,7%</b>  |
| <b>LESTE</b>      | <b>9016</b>        | <b>12,8%</b>  | <b>42,5%</b>  |
| <b>OESTE</b>      | <b>7464</b>        | <b>10,6%</b>  | <b>53,0%</b>  |
| <b>NORDESTE</b>   | <b>7297</b>        | <b>10,3%</b>  | <b>63,3%</b>  |
| <b>VENDA NOVA</b> | <b>6880</b>        | <b>9,7%</b>   | <b>73,1%</b>  |
| <b>PAMPULHA</b>   | <b>6790</b>        | <b>9,6%</b>   | <b>82,7%</b>  |
| <b>NORTE</b>      | <b>6309</b>        | <b>8,9%</b>   | <b>91,6%</b>  |
| <b>BARREIRO</b>   | <b>5928</b>        | <b>8,4%</b>   | <b>100,0%</b> |
| <b>NA</b>         | <b>11</b>          | <b>0,0%</b>   | <b>100,0%</b> |
| <b>TOTAL</b>      | <b>70706</b>       |               |               |

Objetivando analisar a demanda de maneira mais distribuída na cidade de Belo Horizonte (além das 9 regionais), foi também recuperado do banco de dados, a distribuição dos atendimentos do SAMU por Unidade de Planejamento. Desta forma, a demanda foi dividida em 71 pontos, cobrindo de forma mais abrangente a cidade de Belo Horizonte. A tabela 4.3 traz os atendimentos ocorridos nas 71 Unidades de Planejamento.

TABELA 4.3 - Atendimentos nas 71 Unidades de Planejamento

| ITEM | REGIONAL      | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM | ITEM | REGIONAL   | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM | ITEM | REGIONAL   | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM |
|------|---------------|-------------|--------|--------|------|------------|-------------|--------|--------|------|------------|-------------|--------|--------|
| 1    | BARREIRO 1    | 1548        | 2%     | 2%     | 26   | LESTE 9    | 27          | 0%     | 35%    | 51   | OESTE 2    | 1143        | 2%     | 72%    |
| 2    | BARREIRO 2    | 853         | 1%     | 3%     | 27   | NORDESTE 1 | 472         | 1%     | 35%    | 52   | OESTE 3    | 2204        | 3%     | 76%    |
| 3    | BARREIRO 3    | 113         | 0%     | 4%     | 28   | NORDESTE 2 | 1998        | 3%     | 38%    | 53   | OESTE 4    | 2530        | 4%     | 79%    |
| 4    | BARREIRO 4    | 1415        | 2%     | 6%     | 29   | NORDESTE 3 | 1527        | 2%     | 40%    | 54   | OESTE 5    | 942         | 1%     | 80%    |
| 5    | BARREIRO 5    | 286         | 0%     | 6%     | 30   | NORDESTE 4 | 807         | 1%     | 41%    | 55   | OESTE 6    | 137         | 0%     | 81%    |
| 6    | BARREIRO 6    | 486         | 1%     | 7%     | 31   | NORDESTE 5 | 1191        | 2%     | 43%    | 56   | PAMPULHA 1 | 679         | 1%     | 82%    |
| 7    | BARREIRO 7    | 1227        | 2%     | 8%     | 32   | NORDESTE 6 | 124         | 0%     | 43%    | 57   | PAMPULHA 2 | 1029        | 1%     | 83%    |
| 8    | CENTRO-SUL 1  | 68          | 0%     | 8%     | 33   | NORDESTE 7 | 1178        | 2%     | 45%    | 58   | PAMPULHA 3 | 478         | 1%     | 84%    |
| 9    | CENTRO-SUL 2  | 430         | 1%     | 9%     | 34   | NOROESTE 1 | 733         | 1%     | 46%    | 59   | PAMPULHA 4 | 687         | 1%     | 85%    |
| 10   | CENTRO-SUL 3  | 1147        | 2%     | 11%    | 35   | NOROESTE 2 | 1500        | 2%     | 48%    | 60   | PAMPULHA 5 | 1606        | 2%     | 87%    |
| 11   | CENTRO-SUL 4  | 948         | 1%     | 12%    | 36   | NOROESTE 3 | 2105        | 3%     | 51%    | 61   | PAMPULHA 6 | 954         | 1%     | 88%    |
| 12   | CENTRO-SUL 5  | 21          | 0%     | 12%    | 37   | NOROESTE 4 | 1895        | 3%     | 54%    | 62   | PAMPULHA 7 | 590         | 1%     | 89%    |
| 13   | CENTRO-SUL 6  | 3983        | 6%     | 18%    | 38   | NOROESTE 5 | 1587        | 2%     | 56%    | 63   | PAMPULHA 8 | 767         | 1%     | 90%    |
| 14   | CENTRO-SUL 7  | 1535        | 2%     | 20%    | 39   | NOROESTE 6 | 1665        | 2%     | 58%    | 64   | VENDA N 1  | 430         | 1%     | 91%    |
| 15   | CENTRO-SUL 8  | 671         | 1%     | 21%    | 40   | NOROESTE 7 | 2047        | 3%     | 61%    | 65   | VENDA N 2  | 1025        | 1%     | 92%    |
| 16   | CENTRO-SUL 9  | 386         | 1%     | 21%    | 41   | NORTE 1    | 1946        | 3%     | 64%    | 66   | VENDA N 3  | 860         | 1%     | 94%    |
| 17   | CENTRO-SUL 10 | 290         | 0%     | 22%    | 42   | NORTE 2    | 1797        | 3%     | 66%    | 67   | VENDA N 4  | 599         | 1%     | 94%    |
| 18   | LESTE 1       | 133         | 0%     | 22%    | 43   | NORTE 3    | 426         | 1%     | 67%    | 68   | VENDA N 5  | 672         | 1%     | 95%    |
| 19   | LESTE 2       | 799         | 1%     | 23%    | 44   | NORTE 4    | 145         | 0%     | 67%    | 69   | VENDA N 6  | 1147        | 2%     | 97%    |
| 20   | LESTE 3       | 2089        | 3%     | 26%    | 45   | NORTE 5    | 737         | 1%     | 68%    | 70   | VENDA N 7  | 1128        | 2%     | 99%    |
| 21   | LESTE 4       | 401         | 1%     | 27%    | 46   | NORTE 6    | 28          | 0%     | 68%    | 71   | VENDA N 8  | 1019        | 1%     | 100%   |
| 22   | LESTE 5       | 1010        | 1%     | 28%    | 47   | NORTE 7    | 17          | 0%     | 68%    |      | NA         | 11          | 0%     | 100%   |
| 23   | LESTE 6       | 1645        | 2%     | 30%    | 48   | NORTE 8    | 663         | 1%     | 69%    |      | TOTAL      | 70706       |        |        |
| 24   | LESTE 7       | 779         | 1%     | 31%    | 49   | NORTE 9    | 550         | 1%     | 70%    |      |            |             |        |        |
| 25   | LESTE 8       | 2133        | 3%     | 35%    | 50   | OESTE 1    | 508         | 1%     | 71%    |      |            |             |        |        |

Dos 70706 despachos de ambulância, quase 95% desses foram realizados por ambulância do tipo básico e 5% por ambulâncias do tipo avançado. A tabela 4.4 representa em números absolutos essa divisão.

TABELA 4.4 - Atendimentos por tipo de ambulância

| Ambulância |          |
|------------|----------|
| Básica     | Avançada |
| 94,8%      | 5,2%     |
| 67023      | 3683     |

Continuando o tratamento das informações do banco de dados foi possível identificar os atendimentos pelo dia da semana (de domingo a sábado). Na tabela 4.5 pode-se verificar que os atendimentos são “distribuídos” quase uniformemente pelos dias da semana, não demonstrando picos significativos entre dias úteis ou finais de semana.

TABELA 4.5 - Atendimentos por dia da semana

| Dia da semana | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM  |
|---------------|-------------|--------|---------|
| Domingo       | 9890        | 13,99% | 13,99%  |
| Segunda-feira | 9995        | 14,14% | 28,12%  |
| Terça-feira   | 10283       | 14,54% | 42,67%  |
| Quarta-feira  | 10115       | 14,31% | 56,97%  |
| Quinta-feira  | 10181       | 14,40% | 71,37%  |
| Sexta-feira   | 9878        | 13,97% | 85,34%  |
| Sábado        | 10364       | 14,66% | 100,00% |
| TOTAL         | 70706       |        |         |

Como não foram identificadas variações significativas no número de atendimentos apenas analisando o banco de dados por dia da semana, foi proposta também uma divisão considerando os atendimentos por período do dia, sendo:

- Madrugada (00:00 as 06:00 horas)
- Manhã (06:00 as 12:00 horas)
- Tarde (12:00 as 18:00 horas)
- Noite (18:00 as 00:00 horas)

Dos 70706 dados, foi possível identificar em 69247 o período em que o atendimento ocorreu (pois constava à hora do atendimento no banco de dados), correspondendo a 97,94% do total. Para os 2% restantes não foi possível identificar o período (1459 dados). A tabela 4.6 representa a distribuição dos dados considerando os respectivos períodos.



TABELA 4.6 - atendimentos por período

| Período        | OCORRÊNCIAS  | % UNIT | % ACUM  |
|----------------|--------------|--------|---------|
| manhã          | 20296        | 28,70% | 28,70%  |
| tarde          | 20090        | 28,41% | 57,12%  |
| noite          | 19349        | 27,37% | 84,48%  |
| madrugada      | 9512         | 13,45% | 97,94%  |
| Não registrado | 1459         | 2,06%  | 100,00% |
| <b>TOTAL</b>   | <b>70706</b> |        |         |

A divisão dos dados em períodos (manhã, tarde, noite e madrugada) é de extrema importância para modelagem do problema de localização das bases de operação do SAMU. Como pode ser observado na tabela 4.6, o número de atendimentos realizados no período da manhã, tarde e noite são significativamente maiores que os atendimentos realizados no período da madrugada (o que implicará provavelmente em menor utilização de bases de operação e ambulâncias).

Outra informação fundamental utilizada na modelagem, diz respeito à velocidade média que a ambulância trafega. Os tempos de deslocamento das ambulâncias entre a base de operação, ponto de demanda, centro de atendimento e retorno a base, são sensivelmente alterados conforme a faixa de horário analisada. Em seguida são apresentados os valores de velocidade média utilizados para cada faixa de horário, sendo:

- Madrugada => 55 km / h
- Manhã => 32 km / h
- Tarde => 32 km / h
- Noite => 42 km / h

Os valores de velocidade média representados anteriormente foram estimados através de entrevista com um funcionário do próprio SAMU. Este tipo de dado não é conhecido nem registrado por parte da coordenação do serviço.

Uma última análise no banco de dados foi realizada objetivando verificar uma possível variação significativa no número de atendimentos por período (manhã, tarde, noite e madrugada) em diferentes dias da semana. As tabelas 4.7 a 4.13 em seguida, trazem a divisão dos atendimentos por período e dia da semana.

TABELA 4.7 - Ocorrências por período aos domingos

| Dia da semana | Período        | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM  |
|---------------|----------------|-------------|--------|---------|
| Domingo       | manhã          | 2444        | 24,71% | 24,71%  |
|               | tarde          | 2699        | 27,29% | 52,00%  |
|               | noite          | 2938        | 29,71% | 81,71%  |
|               | madrugada      | 1623        | 16,41% | 98,12%  |
|               | Não registrado | 186         | 1,88%  | 100,00% |
| Total         |                | 9890        |        |         |

TABELA 4.8 - Ocorrências por período as segundas-feiras

| Dia da semana | Período        | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM  |
|---------------|----------------|-------------|--------|---------|
| Segunda-feira | manhã          | 3210        | 32,12% | 32,12%  |
|               | tarde          | 2801        | 28,02% | 60,14%  |
|               | noite          | 2421        | 24,22% | 84,36%  |
|               | madrugada      | 1418        | 14,19% | 98,55%  |
|               | Não registrado | 145         | 1,45%  | 100,00% |
| Total         |                | 9995        |        |         |

TABELA 4.9 - Ocorrências por período as terças-feiras

| Dia da semana | Período        | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM  |
|---------------|----------------|-------------|--------|---------|
| Terça-feira   | manhã          | 3124        | 30,38% | 30,38%  |
|               | tarde          | 3048        | 29,64% | 60,02%  |
|               | noite          | 2648        | 25,75% | 85,77%  |
|               | madrugada      | 1237        | 12,03% | 97,80%  |
|               | Não registrado | 226         | 2,20%  | 100,00% |
| Total         |                | 10283       |        |         |

TABELA 4.10 - Ocorrências por período as quartas-feiras

| Dia da semana | Período        | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM  |
|---------------|----------------|-------------|--------|---------|
| Quarta-feira  | manhã          | 3094        | 30,59% | 30,59%  |
|               | tarde          | 3018        | 29,84% | 60,43%  |
|               | noite          | 2718        | 26,87% | 87,30%  |
|               | madrugada      | 1026        | 10,14% | 97,44%  |
|               | Não registrado | 259         | 2,56%  | 100,00% |
| Total         |                | 10115       |        |         |

TABELA 4.11 - Ocorrências por período as quintas-feiras

| Dia da semana | Período        | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM  |
|---------------|----------------|-------------|--------|---------|
| Quinta-feira  | manhã          | 2858        | 28,07% | 28,07%  |
|               | tarde          | 2949        | 28,97% | 57,04%  |
|               | noite          | 2822        | 27,72% | 84,76%  |
|               | madrugada      | 1316        | 12,93% | 97,68%  |
|               | Não registrado | 236         | 2,32%  | 100,00% |
| Total         |                | 10181       |        |         |

TABELA 4.12 - Ocorrências por período as sextas-feiras

| Dia da semana | Período        | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM  |
|---------------|----------------|-------------|--------|---------|
| Sexta-feira   | manhã          | 2795        | 28,30% | 28,30%  |
|               | tarde          | 2731        | 27,65% | 55,94%  |
|               | noite          | 2828        | 28,63% | 84,57%  |
|               | madrugada      | 1327        | 13,43% | 98,01%  |
|               | Não registrado | 197         | 1,99%  | 100,00% |
| Total         |                | 9878        |        |         |

TABELA 4.13 - Ocorrências por período aos sábados

| Dia da semana | Período        | OCORRÊNCIAS | % UNIT | % ACUM  |
|---------------|----------------|-------------|--------|---------|
| Sábado        | manhã          | 2771        | 26,74% | 26,74%  |
|               | tarde          | 2844        | 27,44% | 54,18%  |
|               | noite          | 2974        | 28,70% | 82,87%  |
|               | madrugada      | 1565        | 15,10% | 97,97%  |
|               | Não registrado | 210         | 2,03%  | 100,00% |
| Total         |                | 10364       |        |         |

Ao realizar uma análise das tabelas de forma integrada percebe-se também que o número de atendimentos realizados na madrugada são significativamente menores, quando comparados aos outros períodos (manhã, tarde e noite) independente do dia da semana. Os gráficos 4.1 a 4.4 trazem os registros de atendimento divididos por período, onde é possível verificar pequenas variações nos diferentes dias da semana.

O gráfico 4.1 representa os atendimentos realizados por dia da semana no período da manhã. Observa-se que no domingo o número de atendimentos realizados é menor que nos demais dias (entre segunda e sábado).

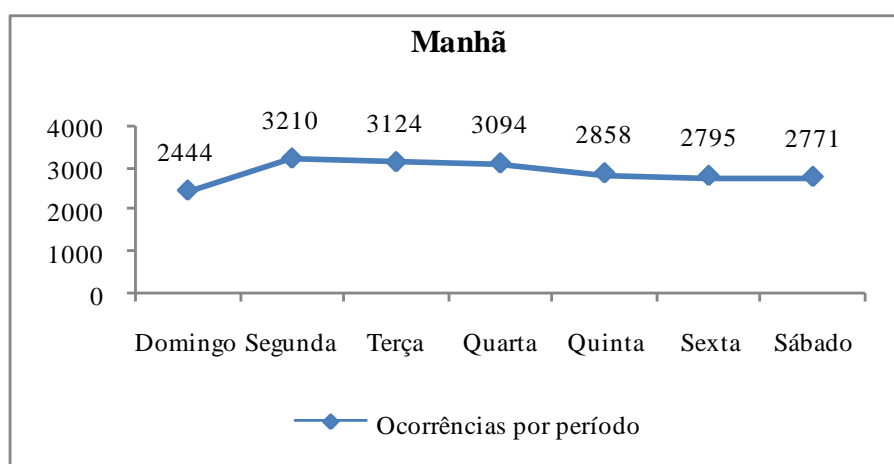
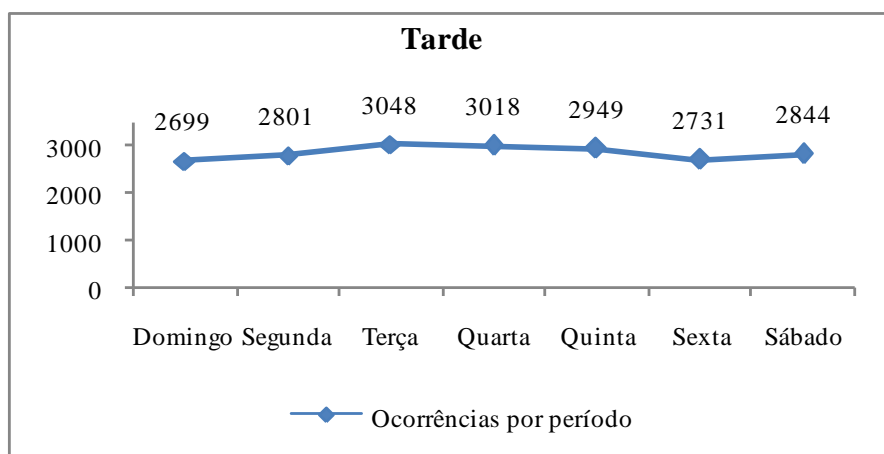


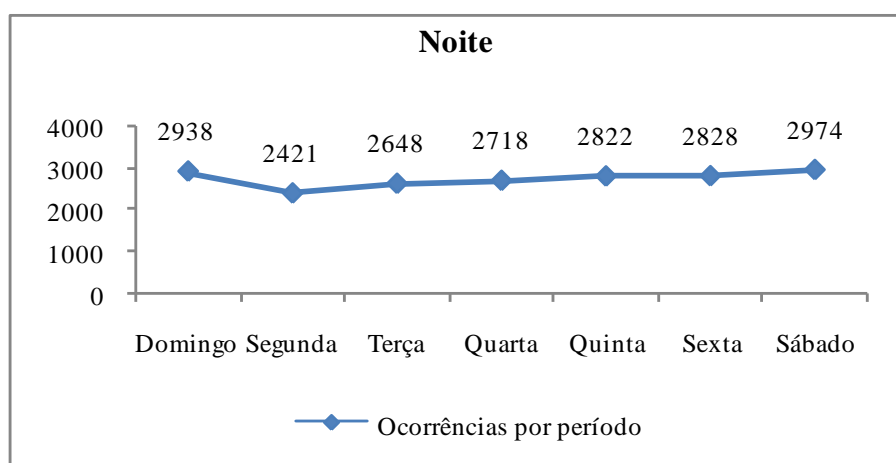
GRÁFICO 4.1 - Atendimentos no período da manhã por dia da semana

O gráfico 4.2 apresenta dados do período da tarde, variando em até 11% (quando comparadas ocorrências de terça e domingo, maior e menor, respectivamente).



**GRÁFICO 4.2 - atendimentos no período da tarde por dia da semana**

O gráfico 4.3 demonstra um maior número de atendimentos realizados nos finais de semana (sábado e domingo). Esse dado já era esperado em virtude do período da noite nesses dias haver mais pessoas nas ruas se divertindo.



**GRÁFICO 4.3 - atendimentos no período da noite por dia da semana**

No período da madrugada, os picos de atendimento também ocorrem no final de semana, conforme pode ser observado no gráfico 4.4.

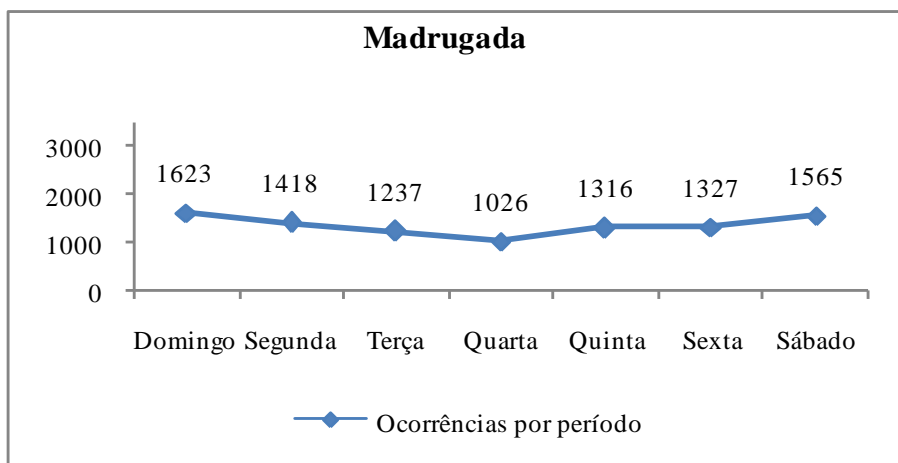


GRÁFICO 4.4 - atendimentos no período da madrugada por dia da semana

Para fins de registro, vale à pena observar que no período da madrugada, existe uma sensível redução de atendimentos, apenas aos sábados e domingos ocorre um ligeiro aumento de chamadas, proveniente provavelmente pelo maior movimento nas ruas, bares, restaurantes, boates e etc. com um público predominantemente mais jovem.

#### 4.2. Localização de Bases de Operação

Existem diversos métodos de localização de facilidades descritos na literatura. Sahin e Sural (2007) realizaram uma revisão dos modelos de localização de facilidades de maneira hierárquica. Nesse estudo foram citadas 76 publicações abordando o tema entre os anos de 1970 e 2004, considerando diversas áreas de aplicação, dentre elas, a área de *healthcare*. Em um estudo mais direcionado, Brotcorne *et al* (2003) realizaram uma pesquisa abordando modelos de localização de ambulâncias.

No caso do SAMU de Belo Horizonte, a definição da localização das bases de operação não partiu de um estudo científico. Com base na disponibilidade de prédios públicos ou particulares, que estivessem próximos a hospitais ou unidades de atendimento, foram determinadas as localizações dessas bases de operação.

O SAMU de Belo Horizonte conta atualmente com 22 bases de operação e 25 ambulâncias, sendo vinte do tipo básica (USB) e cinco do tipo avançada (USA). As ambulâncias são distribuídas por regional nas bases de operação, conforme apresentado na tabela 4.14 em seguida.

TABELA 4.14 - Bases de operação e distribuição de ambulâncias por base

| Base    | USB | USA | Endereço  | Regional    |
|---------|-----|-----|---|-------------|
| 1       | -   | 1   | AVENIDA ANTÔNIO CARLOS, 6627 - B. PAMPULHA            | Pampulha    |
| 2       | -   | 1   | RUA FORMIGA, 50 - B. SÃO CRISTOVÃO                    | Nordeste    |
| 3 e 16  | 1   | 1   | RUA DAS GABIROBAS, 1 - B.VILA CLORIS                  | Venda Nova  |
| 4       | -   | 1   | RUA PARAIBA, 641 - FUNCIONARIOS                       | Centro Sul  |
| 5 e 14  | 1   | 1   | RUA AUGUSTO JOSE DOS SANTOS, 36 - BETANIA             | Oeste       |
| 6       | 1   | -   | RUA PADRE PEDRO PINTO, 1055 - B. VENDA NOVA           | Venda Nova  |
| 7       | 1   | -   | RUA PADRE PEDRO PINTO, 175 - VENDA NOVA               | Venda Nova  |
| 8       | 1   | -   | RUA QUELUZITA, 45 - B. SÃO PAULO                      | Nordeste    |
| 9       | 1   | -   | RUA PADRE EUSTAQUIO, 1951 - B. PADRE EUSTAQUIO        | Noroeste    |
| 10      | 1   | -   | AVENIDA AV. CELSO PORFÍRIO MACHADO, 10 - B. BELVEDERE | Centro Sul  |
| 11 e 18 | 2   | -   | RUA ANTONIO OLINTO, 154 - B. ESPLANADA                | Leste       |
| 12      | 2   | -   | PRAÇA RIO BRANCO, S/N PLATAFORMA H - B. CENTRO        | Centro Sul  |
| 13      | 1   | -   | RUA SAPUCAI, 23 - B. FLORESTA                         | Leste       |
| 15      | 1   | -   | AVENIDA OLINTO MEIRELES, 327 - B. BARREIRO            | Barreiro    |
| 17      | 1   | -   | RUA PASTOR MURILO CASSETE, 25 - B. SÃO BERNADO        | Norte       |
| 19      | 1   | -   | AVENIDA FRANCISCO SALES, 1111 B. SANTA EFIGÊNIA       | Centro Sul  |
| 20      | 1   | -   | AVENIDA SANTA TEREZINHA, 515 B. SANTA TEREZINHA       | Pampulha    |
| 21      | 1   | -   | RUA DOMINGOS VIEIRA, 488- SANTA EFIGÊNIA              | Centro Sul  |
| 22      | 2   | -   | RUA ERÊ, 207- BAIRRO PRADO                            | Oeste       |
| 23      | 1   | -   | RUA AURELIO LOPES, 20 - BARREIRO                      | Barreiro    |
| 24      | 1   | -   | AVENIDA RAUL TEIXEIRA DA COSTA, 35 - CENTRO           | Santa Luzia |
| 25      | 1   | -   | AVENIDA SENHOR DO BONFIM, 1052 - SÃO BENEDITO         | Santa Luzia |

Em todas as regionais de Belo Horizonte existe pelo menos uma base de operação do SAMU. Na regional Centro Sul o número de bases chega a seis, já as regionais Noroeste e Norte contam com apenas uma base. Em 2010, o SAMU de Belo Horizonte instalou duas novas bases na região metropolitana de BH, sendo respectivamente as bases 24 e 25. Estas bases atendem essencialmente as demandas das regiões Norte e Venda Nova da capital e ficam localizadas na cidade de Santa Luzia.

A distribuição de ambulâncias por cidade (e conseqüentemente por base) se baseia em uma referência do Ministério da Saúde. Serão adquiridas na proporção de um veículo de suporte básico à vida para cada grupo de 100.000 a 150.000 habitantes e de um veículo de suporte avançado à vida para cada 400.000 a 450.000 por habitantes.

Para o ano de 2011, existe a expectativa de aumento no número de ambulância em 2 unidades básicas. Esse acréscimo de 25 para 27 ambulâncias será considerado na modelagem do SAMU, tendo em vista que já está em vias de implementação.

#### 4.3. Localização dos Hospitais, Unidades de Pronto Atendimento (UPA) e Centros de referência em saúde mental (CERSAM)

O SAMU atualmente conta com 22 pontos de atendimento em Belo Horizonte relacionados na tabela 4.15. No total são 7 Hospitais, 8 Unidades de Pronto Atendimento (UPA) e 7 Centros de Referência em Saúde Mental (CERSAM).

**TABELA 4.15 - Localização dos Hospitais, UPA e CERSAM**

| <b>Hospital / UPA</b>                | <b>Endereço</b>                               |
|--------------------------------------|---|
| 1 UPA Barreiro                       | Rua Aurélio Lopes 20, Bairro Diamante         |
| 2 UPA Oeste                          | Av. Barão Homem de Melo 1710, Jardim América  |
| 3 UPA Centro-Sul                     | Rua Domingos Vieira 488, Santa Efigênia       |
| 4 UPA Leste                          | Rua 28 de Setembro, sem nº, Pompéia           |
| 5 UPA Norte                          | Rua A 270, 1º de Maio                         |
| 6 UPA Venda Nova                     | Rua Padre Pedro Pinto 322, Venda Nova         |
| 7 UPA Pampulha                       | Av. Santa Terezinha 515, Santa Terezinha      |
| 8 UPA Nordeste                       | Praça Preto Velho, sem nº, Silveira           |
| 9 Hospital das Clínicas              | Av. Prof. Alfredo Balena 110, Santa Efigênia  |
| 10 Hospital João XXIII               | Av. Prof. Alfredo Balena 400, Santa Efigênia  |
| 11 Hospital Odilon Behrens           | Rua Formiga 50, Lagoinha (São Cristóvão)      |
| 12 Hospital Risoleta Tolentino Neves | Rua das Gabirobas 1, Laranjeiras (Venda Nova) |
| 13 Hospital Julia Kubitschek         | Rua Dr. Cristiano Rezende 2745, Milionários   |
| 14 Hospital Alberto Cavalcanti       | Rua Camilo Brito 636, Padre Eustáquio         |
| 15 Santa Casa                        | Av. Francisco Salles 1111, Funcionários       |
| 16 CERSAM Oeste                      | Rua Oscar Trompowisk 1325 Grajaú              |
| 17 CERSAM Barreiro                   | Av. Sinfrônio Brochado 940 Barreiro           |
| 18 CERSAM Noroeste                   | Rua Padre Eustáquio 1875 Padre Eustáquio      |
| 19 CERSAM Leste                      | Rua Pirité 150 Santa Teresa                   |
| 20 CERSAM Nordeste                   | Praça Muqui 191Q Renascença                   |
| 21 CERSAM Venda Nova                 | Rua Boa Vista 228 São João Batista            |
| 22 CERSAM Pampulha                   | Rua do Mel 77 Santa Branca                    |

O critério de escolha do ponto de atendimento se baseia no tipo de ocorrência e é definido pelo médico regulador na central de regulação. A tabela 4.16 resume os tipos de ocorrência que são recebidas em cada ponto de atendimento.

TABELA 4.16 - Tipos de ocorrências por ponto de atendimento

| Hospital / UPA                       | Natureza de Ocorrência   |
|--------------------------------------|--|
| 1 UPA Barreiro                       | Clínica Média  |
| 2 UPA Oeste                          | Clínica Média  |
| 3 UPA Centro-Sul                     | Clínica Média  |
| 4 UPA Leste                          | Clínica Média  |
| 5 UPA Norte                          | Clínica Média  |
| 6 UPA Venda Nova                     | Clínica Média  |
| 7 UPA Pampulha                       | Clínica Média  |
| 8 UPA Nordeste                       | Clínica Média  |
| 9 Hospital das Clínicas              | Clínica Alta   |
| 10 Hospital João XXIII               | Clínica Alta e Trauma<br>Clínica Alta, Trauma e Gineco<br>Obstétrico |
| 11 Hospital Odilon Behrens           | Obstétrico   |
| 12 Hospital Risoleta Tolentino Neves | Clínica Alta e Trauma  |
| 13 Hospital Julia Kubitschek         | Clínica Alta   |
| 14 Hospital Alberto Cavalcanti       | Clínica Alta   |
| 15 Santa Casa                        | Clínica Alta   |
| 16 CERSAM Oeste                      | Psiquiátrico   |
| 17 CERSAM Barreiro                   | Psiquiátrico   |
| 18 CERSAM Noroeste                   | Psiquiátrico   |
| 19 CERSAM Leste                      | Psiquiátrico   |
| 20 CERSAM Nordeste                   | Psiquiátrico   |
| 21 CERSAM Venda Nova                 | Psiquiátrico   |
| 22 CERSAM Pampulha                   | Psiquiátrico   |

De acordo com a análise do banco de dados do SAMU, quase 89% das ocorrências são encaminhadas para hospitais ou UPA's (tipo de ocorrência: clínico, trauma ou gineco-obstétrica). Mais de 8% das ocorrências são de natureza psíquica e são atendidas nos CERSAM's. A tabela 4.17 representa em valores percentuais os tipos de ocorrência por cada tipo de ponto de atendimento.

TABELA 4.17 - Tipos de ocorrência e ponto de atendimento

| Tipo Ocorrência   | Qtde         | %     | Ponto Atendimento |
|-------------------|--------------|-------|-------------------|
| Clínico           | 42610        | 60,3% | Hospital e UPA    |
| Trauma            | 19273        | 27,3% | Hospital          |
| Psiquiátrico      | 5990         | 8,5%  | CERSAM            |
| Transporte        | 1703         | 2,4%  | NA                |
| Gineco Obstétrico | 954          | 1,3%  | Hospital          |
| Outros            | 176          | 0,2%  | NA                |
| <b>Total</b>      | <b>70706</b> |       |                   |

#### 4.4. Localização dos pontos de demanda

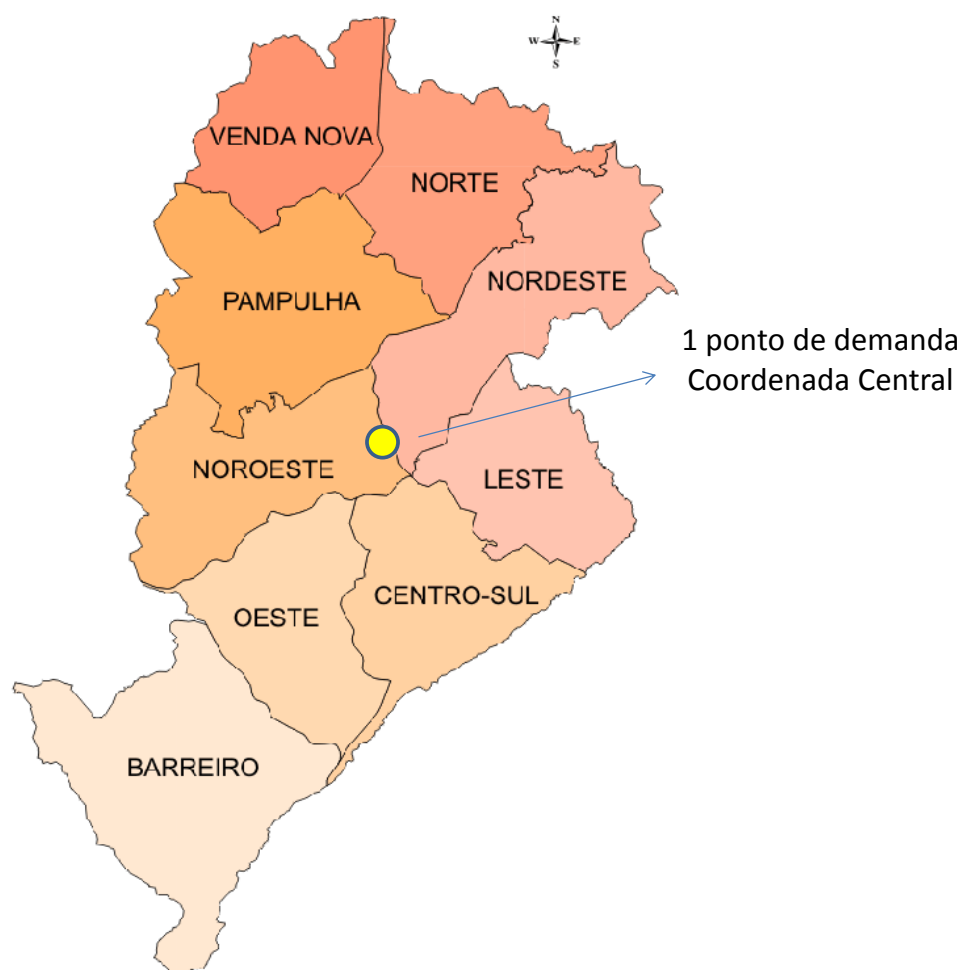
Os pontos de demanda do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência são dispersos por toda cidade de Belo Horizonte, ou seja, o atendimento realizado pela equipe do SAMU poderá ser



realizado em praticamente todos os pontos da cidade (exceto em locais sem vias pavimentadas, obstruídas ou danificas e etc.).

Para fins de simplificação da modelagem do problema, os pontos de demanda da cidade foram concentrados em 1, 9 e 71 pontos.

Em uma primeira análise, a demanda de atendimentos do SAMU ocorridas entre 01/01/2008 e 13/09/2009 foi concentrada na coordenada central do mapa da cidade de Belo Horizonte (1 ponto). Desta forma, cada deslocamento de ambulância tinha como ponto de origem a sua respectiva base de operação e como ponto de destino o ponto central do mapa da cidade de Belo Horizonte. A figura 4.4 representa a demanda na coordenada central da cidade.

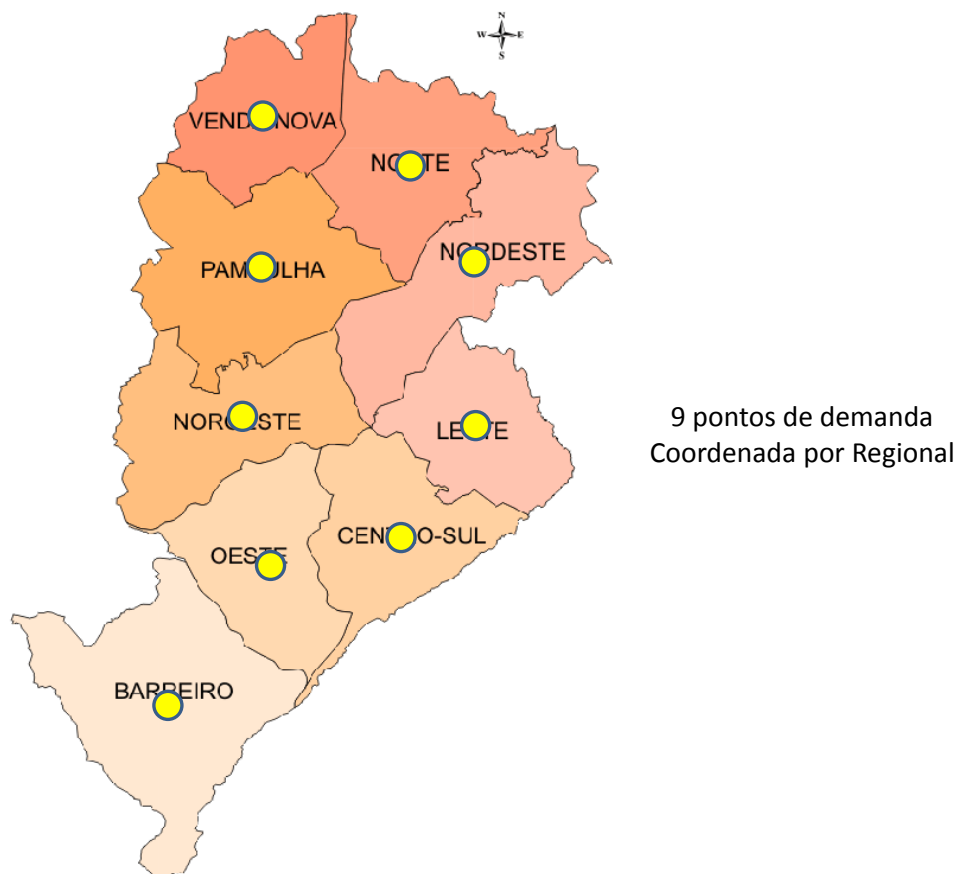


**FIGURA 4.4 - Demanda concentrada em 1 ponto**

**Fonte: Adaptado Prodabel (2009)**

Uma segunda divisão da demanda foi realizada. Desta vez a divisão considerou as nove regionais existentes na cidade de Belo Horizonte. Para cada uma das regionais, uma fração da demanda foi determinada com base no banco de dados analisado. Da mesma maneira, os

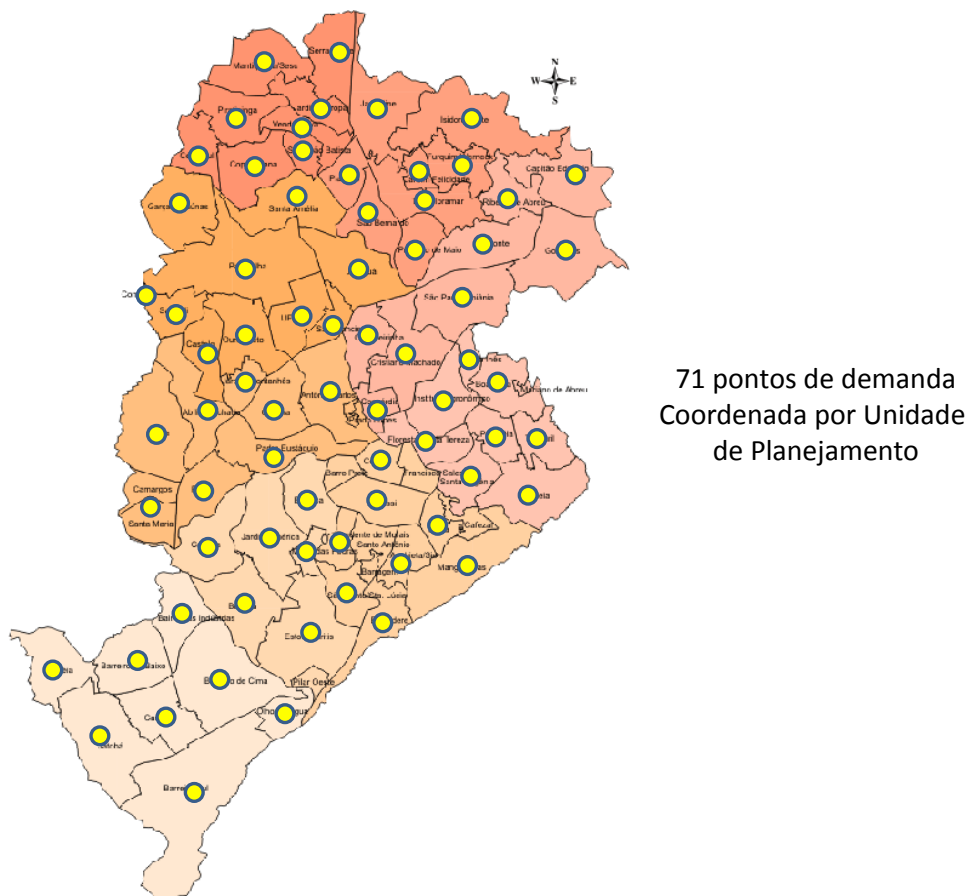
deslocamentos entre base de operação e pontos de demanda foram realizados considerando as coordenadas centrais de cada regional da cidade (9 pontos). A figura 4.5 traz a representação da coordenada central de cada uma das nove regionais.



**FIGURA 4.5 - Demanda concentrada em 9 pontos**

Fonte: Adaptado Prodabel (2009)

Uma terceira e última divisão da demanda pela cidade de Belo Horizonte foi realizada. Neste caso, foram realizadas 71 divisões no mapa da cidade de Belo Horizonte chamadas de Unidade de Planejamento. Neste caso, os deslocamentos das ambulâncias tinham origem nas bases de operação e destino possível para cada um dos 71 pontos de demanda. Conforme a figura 4.6, a coordenada central de cada uma das 71 Unidades de Planejamento foi representada.



**FIGURA 4.6 - Demanda concentrada em 71 pontos**

Fonte: Adaptado Prodabel (2009)

#### **4.5. A triangulação entre os Pontos de Demanda, as Bases de Operação e os Centros de Atendimento via coordenada UTM**

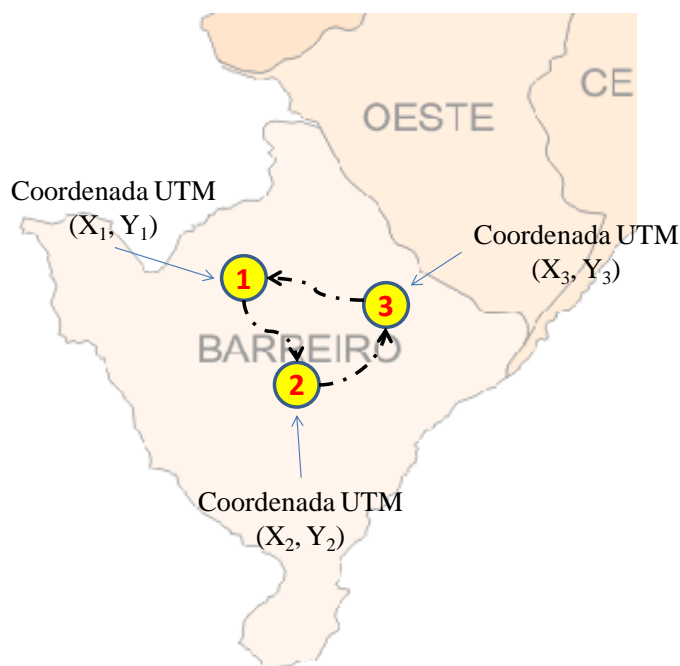
Para cada ponto de demanda determinado (1, 9 ou 71 pontos), para cada uma das bases de operação (22 distribuídas pela cidade) e para cada um dos centros de atendimento (7 hospitais, 8 UPA e 7 CERSAM), foi verificada sua coordenada geográfica. Neste estudo a coordenada utilizada é a UTM (*Universal Transverse Mercator*) de acordo com valores retirados do aplicativo desenvolvido pela Prodabel e disponível no site (<http://webmapa.pbh.gov.br/>).

Os sistemas de projeções cartográficas são analisados pelo tipo de superfície de projeção adotada e grau de deformação. Na projeção UTM, utiliza-se um cilindro tangente à superfície da Terra como superfície de projeção, sendo os meridianos e paralelos representados por retas perpendiculares. O sistema UTM resulta na composição de 60 fusos distintos que representam a superfície da Terra.

As coordenadas UTM representadas por elementos X e Y, facilitam o cálculo do tempo de deslocamento, baseado na distância euclidiana entre dois pontos (a distância euclidiana aplicada em quaisquer dois pontos utilizando as coordenadas UTM resulta em uma distância em linha reta dada em metros). De posse da distância Euclidiana e levando em consideração o trabalho de Novaes (1989), foi possível estabelecer uma relação aproximada para a estimativa do fator de correção, sendo neste caso considerado igual a 1.366 para áreas urbanas, conforme apresentado em estudo da cidade de São Paulo.

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

A figura 4.7, busca exemplificar de maneira simplificada a lógica utilizada no cálculo do deslocamento entre as bases de operação do SAMU, os pontos de demanda e os centros de atendimento. Nesta figura é demonstrado um exemplo onde uma ambulância localizada em uma base de operação na regional Barreiro (1), se desloca até um ponto de demanda (2) e em seguida segue para um centro de atendimento (3). Após a entrega do paciente num centro de atendimento, a ambulância retorna para a base de operação (1).



**FIGURA 4.7–Exemplo da lógica de deslocamento das ambulâncias**

A transformação das distâncias percorridas (exemplificada na figura 4.7) em tempo (fração de hora) se dá em função da velocidade média utilizada por período do dia (manhã, tarde, noite e madrugada – conforme citado anteriormente). Os tempos considerados são produto de uma soma de seis tempos distintos, sendo estes condensados nos seguintes parâmetros:

- i. TEMPO 1: I [Deslocamento da coordenada 1 (base de operação) para a coordenada 2 (ponto de demanda)]:

O tempo I retrata o tempo de deslocamento registrado entre a saída da ambulância da base de operação (1) até sua chegada no ponto de demanda (2). Neste tempo considera-se um tempo de atendimento da central de regulação de 2 minutos, conforme explicado anteriormente.

- ii. TEMPO 2: II [Tempo de atendimento no ponto de demanda] + III [Deslocamento da coordenada 2 (ponto de demanda) para a coordenada 3 (centro de atendimento)] + IV [Tempo de transferência do paciente]:

O II tempo registrado se refere ao tempo de atendimento prestado no local onde ocorreu o acidente (é o tempo utilizado no socorro inicial da vítima e sua colocação na ambulância). O III tempo está relacionado ao tempo de deslocamento registrado entre a saída da ambulância do ponto de demanda (2) até sua chegada ao centro de atendimento (3). O tempo IV registrado se refere ao tempo de transferência do paciente da ambulância até o leito de internação, setor de triagem ou setor mais indicado no momento da chegada ao hospital.

- iii. TEMPO 3:  $\underline{V}$  [Deslocamento da coordenada 3 (centro de atendimento) para a coordenada 1 (base de operação)] +  $\underline{VI}$  [Re-preparação da ambulância]:

Finalizando, o  $\underline{V}$  tempo se refere ao tempo de deslocamento registrado entre a saída da ambulância do centro de atendimento (3) até seu retorno a base de operação de origem (1). O tempo  $\underline{VI}$  retrata o tempo necessário para preparar a ambulância para um novo atendimento (troca de equipamentos, limpeza e etc.).

Os registros computados em TEMPO I, TEMPO III e TEMPO V foram realizados para cada triangulação possível (exemplificada na figura 4.7) e será utilizada como dado de entrada no modelo de otimização nos parâmetros  $t1_{ji}$ ,  $t2_{ih}$  e  $t3_{hj}$ , respectivamente.

Os tempos registrados em II, IV e VI são fixados em valores médios, sendo respectivamente, 15, 10 e 30 minutos.

#### 4.6. Custos

Na modelagem do problema alguns custos reais foram considerados (instalação de bases de operação, aquisição de ambulâncias e de transporte), visando aproximar os resultados do modelo com o sistema real, objetivando somente a instalação das bases de operação necessárias. Os dados apresentados em seguida foram consultados no banco de dados do Sistema Único de Saúde (disponível em [www.datasus.gov.br](http://www.datasus.gov.br)) e são relativos ao ano de 2010.

- i. Custo médio de ativação da base de operação (CI no modelo de otimização)

Estas despesas são relativas à instalação física da base. O custo médio de ativação de cada base de operação do SAMU de BH corresponde a R\$ 350.000,00.

- ii. Custo médio de aquisição de ambulância (CW no modelo de otimização)

O valor médio considerado para a aquisição de ambulância é de R\$ 178.318,27. Neste caso foi considerado o valor médio (de ambulância básica e avançada) para fins de simplificação na modelagem.

- iii. Custo médio de transporte (CT no modelo de otimização)

Despesas oriundas do deslocamento das ambulâncias (equipe socorrista, combustível, pneus e etc.), manutenções corretivas e programadas. O custo médio horário considerado para o deslocamento das ambulâncias foi de R\$ 51,51.

## 5. MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES

A partir da revisão da literatura realizada no capítulo 3 foi possível identificar os principais modelos de localização aplicados ao serviço de emergência. Os modelos P-mediana, TEAM (*Tandem Equipment Allocation Model*) e MCLP (*Maximal Covering Location Problem*) foram implementados e seus resultados analisados. O objetivo era verificar se alguns destes modelos já concebidos poderiam ser utilizados na re-localização das bases de operação do SAMU de BH.

No caso dos três modelos citados, apesar de ser verificada uma série de aplicações na literatura, quando aplicados à realidade do SAMU de Belo Horizonte, percebeu-se uma série de limitações que inviabilizam sua aplicação, como por exemplo, restrição de capacidade, de atendimento de demanda e de custos.

### 5.1. Modelo desenvolvido

A partir da tentativa de implementação dos modelos citados e de outros disponíveis na literatura, verificou-se a necessidade de desenvolvimento de um modelo mais próximo da realidade do SAMU de BH.

O objetivo deste modelo é buscar configurações viáveis para o SAMU de BH, partindo da realocação ótima das bases de operação do sistema.

Em seguida são apresentados os dados, as variáveis e o modelo desenvolvido.

#### Parâmetros:

- $n$  : quantidade de pontos de demanda;
- $p$  : quantidade de bases de operação candidatas;
- $k$  : quantidade máxima de bases de operação a serem instaladas;
- $u$  : quantidade de pontos de localização dos hospitais e UPA's;
- $Tt$  : tempo total (em horas) do período (manhã, tarde, noite ou madrugada);
- $t1_{ji}$  : menor tempo de deslocamento entre vértices  $j$  e  $i$ ;
- $t2_{ih}$  : menor tempo de deslocamento entre vértices  $i$  e  $h$ ;

- $t3_{hj}$  : menor tempo de deslocamento entre vértices  $h$  e  $j$ ;
- $d_{iw}$  : demanda do vértice  $i$  de ambulância do tipo  $w$ ;
- $CI$  : custos de ativação das bases;
- $CW$  : custo médio de aquisição de ambulância;
- $CT$  : custo de transporte;
- $Q_{jw}$  : quantidade máxima de ambulância  $w$  na base  $j$ ;
- $DF$  : disponibilidade física da frota de ambulâncias (85%);
- $TA_w$  : número de ambulâncias a serem instaladas;
- $TR$  : tempo de resposta relativo ao tempo de deslocamento da ambulância  $w$  da base  $j$  para ponto de demanda  $i$ ;

#### Variáveis de decisão:

- $x_{ijwh}$  = quantidade de viagens feitas da base  $j$  para a demanda  $i$ , para o hospital  $h$  e retorno para a base  $j$  por ambulância do tipo  $w$ ;

*Observação: o parâmetro  $t1[j,i]$  sempre atenderá a premissa :  $t1[j,i] \leq TR$ ;*

- $y_j = \begin{cases} 1, & \text{se a base } j \text{ está instalada} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $A_{jw}$  = quantidade de ambulância  $w$  alocada na base  $j$

#### Modelo

$$\text{Min } \sum_{j=1}^p (CI * y_j) + \sum_{j=1}^p \sum_{w=1}^2 (CW * A_{jw}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{w=1}^2 \sum_{h=1}^u (CT * (t1_{ji} + t2_{ih} + t3_{hj})) * x_{ijwh} \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{j=1}^p \sum_{h=1}^u x_{ijwh} \geq d_{iw} \quad \forall i, w \quad (2)$$

$$A_{jw} \leq Q_{jw} * y_j \quad \forall j, w \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{h=1}^u x_{ijwh} * (t1_{ji} + t2_{ih} + t3_{hj}) \leq (Tt * DF * A_{jw}) \quad \forall j, w \quad (4)$$



$$\sum_{j=1}^p y_j \leq k \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{h=1}^u x_{ijwh} \leq \sum_{i=1}^n d_{iw} * y_j \quad \forall j, w \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^p A_{jw} = TA_w \quad \forall w \quad (7)$$

A função objetivo (1) busca minimizar o custo de instalação de bases de operação e ambulâncias para atender a demanda, a restrição (2) estabelece que todo ponto de demanda deve ser atendido, a (3) garante que o número máximo de ambulâncias por base deve ser respeitado. A restrição (4) determina que o tempo total de viagem deve ser menor ou igual a disponibilidade e a (5) restringe o número de bases a serem instaladas (a inequação  $\leq$  pode ser alterada para uma igualdade, quando se deseja fixar o número de bases). A restrição (6) estabelece que se a base  $j$  não estiver ativa, não atenderá a demanda  $i$ . A restrição (7) estabelece o número de ambulâncias que deverão ser instaladas no sistema (a igualdade pode ser alterada para uma desigualdade, caso queira-se instalar menos ambulâncias que o disponível).

O modelo de otimização foi implementado em AMPL/CPLEX e todos os testes foram realizados utilizando um processador AMD Athlon II 2 Duo com 2.8 GHz e com 2 GB de memória no sistema operacional Windows Vista.

Todos os parâmetros utilizados na modelagem estão descritos no capítulo 4 ou citados na própria descrição do modelo.

## 6. MODELO DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

O modelo computacional de simulação de eventos discretos (SED) utilizado neste estudo representa o SAMU da cidade de Belo Horizonte, desenvolvido no software Arena 11.00 da *Rockwell Automation Technologies* e foi adaptado do estudo realizado por Silva (2010). A base de dados e premissas do sistema modelado é a mesma utilizada no presente estudo.

Em virtude de investimentos e adequações realizados no SAMU em 2010 e ainda previstos para 2011 (pela própria secretaria de saúde do município), além dos cenários hipotéticos propostos neste estudo, alguns parâmetros de entrada foram modificados e alterações no modelo de simulação foram realizadas, a fim de deixá-lo representativo e atual. As principais alterações foram:

- i. incremento de novas ambulâncias básicas e avançadas ao sistema;
- ii. inclusão de novas bases de operação;
- iii. Re-localização de bases de operação.

A figura 6.1 apresenta um fluxograma básico do funcionamento do modelo, que contempla desde a chamada inicial, o despacho da ambulância, a prestação do socorro, dentre outros eventos. A variável de saída analisada no modelo de SED é o tempo de resposta do atendimento (tempo entre o contato telefônico e a chegada da ambulância até o local do agravo).

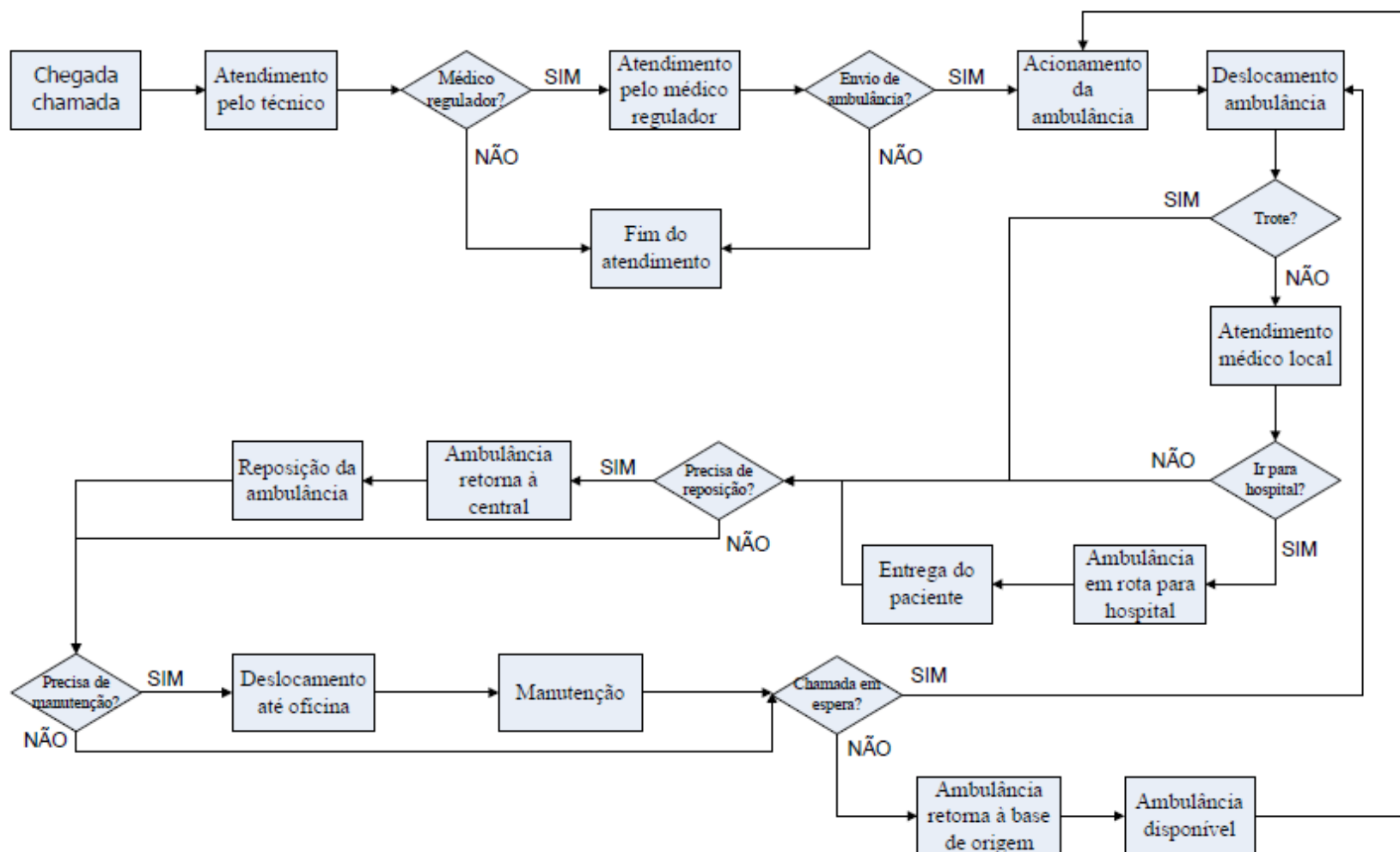


FIGURA 6.1 - Fluxograma do processo de atendimento de uma chamada de emergência

Fonte: Silva (2010)

A utilização do modelo de simulação tem como propósito comparar se o tempo de resposta gerado no modelo de otimização é coerente com o tempo de resposta verificado na simulação. Considerando que o período manhã (faixa horária entre 06:00 e 12:00) é o mais crítico (maior demanda e menor velocidade média de deslocamento das ambulâncias), todos cenários testados no modelo de simulação são oriundos deste período (horário de pico).

Maiores detalhes da concepção e implementação do modelo de SED podem ser verificados em detalhes no estudo de Silva (2010).

## 7. ANÁLISE DE CENÁRIOS E RESULTADOS COMPUTACIONAIS

A partir do modelo computacional de SED adaptado de Silva (2010), alguns cenários possíveis para o SAMU de BH foram testados. A tabela 7.1 traz os tempos de resposta verificados para os cenários pertinentes aos anos de 2009, 2010 e o cenário planejado para o ano de 2011, além dos cenários hipotéticos I e II, que retratam duas extrapolações.

TABELA 7.1 – Testes de cenário do SAMU a partir do modelo de SED

| Cenário               | Bases Instaladas (j) | Ambulâncias Básicas Instaladas (w <sub>1</sub> ) | Ambulâncias Avançadas Instaladas (w <sub>2</sub> ) | Tempo de Resposta Simulação | Variação (IC 95%) |       |
|-----------------------|----------------------|--|--|-----------------------------|-------------------|-------|
|                       |                      |  |  |                             | M - h e M + h     |       |
| SAMU 2009 (REAL)      | 20                   | 18   | 5  | 21,2                        | 21,06             | 21,2  |
| SAMU 2010 (REAL)      | 22                   | 20   | 5  | 20,17                       | 20,03             | 20,31 |
| SAMU 2011 (PLANEJADO) | 22                   | 22   | 5  | 19,34                       | 19,26             | 19,42 |
| SAMU HIPOTÉTICO I     | 22                   | 40   | 5  | 13,67                       | 13,62             | 13,72 |
| SAMU HIPOTÉTICO II    | 22                   | 55   | 5  | 11,43                       | 11,39             | 11,47 |

Analisando a tabela 7.1, pode-se verificar que ao aumentar o número de ambulâncias no sistema (essencialmente de ambulâncias básicas, que atendem 95% da demanda) provoca uma redução no tempo de resposta. Quando comparados os cenários de 2009 e 2010, verifica-se uma pequena melhora no tempo de atendimento de aproximadamente 1 minuto (com a aquisição de 2 ambulâncias e a abertura de 2 bases de operação). Analisando o cenário planejado para o ano de 2011 pode-se observar que com o aumento de mais 2 veículos no sistema, o tempo de resposta foi reduzido em mais 8%.

Os demais cenários apresentados (SAMU hipotético I e II) tratam-se de extrapolações, objetivando verificar o número de veículos necessários para reduzir o tempo de resposta de forma drástica e trazê-lo para níveis mais próximos do recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) que é de aproximadamente 8 minutos.

Verifica-se, ao observar estes últimos cenários, que o tempo de resposta caiu para 13,67 minutos (utilizando 40 ambulâncias básicas e 5 avançadas) e para 11,43 (contando com 55 ambulâncias básicas e 5 avançadas). A partir de uma análise preliminar, parece que a saída para redução do tempo de resposta do serviço oferecido pelo SAMU, seria a aquisição de um grande número de ambulâncias, garantindo a agilidade do serviço.

Ocorre que, o montante de investimentos para adquirir e manter esse número elevado de veículos se mostra inviável, economicamente e operacionalmente. Apenas para adquirir o adicional de veículos proposto pelos cenários hipotético I ou II, seria necessário aproximadamente R\$ 3.209.728,86 e R\$ 5.884.502,91, respectivamente. Além do custo de

aquisição, seriam necessários também mais investimentos para a contratação de equipes para operação e manutenção do sistema, além da instalação de novas bases de operação para receber os veículos.

Sabendo que aumentar o número de ambulâncias não seria a alternativa mais viável para melhorar o tempo de resposta do SAMU, uma segunda alternativa foi testada. Partindo da hipótese que, um posicionamento otimizado das bases de operação do serviço pode corroborar para redução do tempo de resposta, foram propostos seis cenários (numerados de 1 a 6) e estes testados no modelo de otimização desenvolvido.

O objetivo de estabelecer vários cenários está no fato de verificar o comportamento do tempo de resposta em situações diversas e distintas. Os cenários 1, 2 e 3 remetem a configurações mais primitivas, o cenário 4 busca analisar a situação do sistema em 2011 e os cenários 5 e 6 buscam soluções otimizadas.

Os cenários 1, 2 e 3 retratam três posicionamentos diferentes para as bases de operação do SAMU de BH considerando, entretanto, o número de ambulâncias do sistema em 2010, sendo respectivamente 20 ambulâncias básicas e 5 avançadas. A intenção de testar estes cenários é verificar, a partir do modelo de localização, qual o menor tempo de resposta viável para o sistema a partir destas configurações.

***Cenário 1** – Cenário com a localização atual das bases do SAMU (localização do sistema real em 2010) com 25 ambulâncias – 20 básicas e 5 avançadas (no total, até 22 bases de operação poderão ser instaladas nas 9 regionais da cidade).*

***Cenário 2** – Cenário com a localização das bases do SAMU definidas de forma aleatória (novas localizações de forma aleatória) com 25 ambulâncias – 20 básicas e 5 avançadas (no total, até 22 bases de operação poderão ser instaladas nas 9 regionais da cidade).*

***Cenário 3** – Cenário com a localização das bases do SAMU proporcional a demanda (seguindo a regra: onde existe maior demanda, proporcionalmente existe mais bases instaladas) com 25 ambulâncias – 20 básicas e 5 avançadas (no total, até 22 bases de operação poderão ser instaladas nas 9 regionais da cidade).*

No cenário 4, a configuração retratada remete ao SAMU planejado para 2011. Onde são posicionadas 22 bases de operação e 27 ambulâncias (sendo 22 básicas e 5 avançadas). Esse

cenário foi implementado visando também verificar o menor tempo de resposta viável a partir desta configuração.

***Cenário 4** – Cenário com a localização planejada das bases do SAMU (localização do sistema em 2011) com 27 ambulâncias – 22 básicas e 5 avançadas (no total até 22 bases de operação poderão ser instaladas nas 9 regionais da cidade).*

Os cenários 5 e 6 tem uma característica diferente. Em todos eles foram inseridas bases candidatas em pontos distintos, espalhados em toda cidade de Belo Horizonte. A intenção nestes dois cenários é instalar, dentre bases candidatas, as bases de operação que respondam com o menor tempo de resposta viável para o sistema.

***Cenário 5** – Cenário com a localização das bases do SAMU entre 66 bases candidatas com 27 ambulâncias – 22 básicas e 5 avançadas (no total, até 22 bases de operação poderão ser instaladas nas 9 regionais da cidade).*

***Cenário 6** – Cenário com a localização das bases do SAMU entre 66 bases candidatas com 27 ambulâncias – 22 básicas e 5 avançadas (no total, 22 bases de operação serão instaladas nas 9 regionais da cidade).*

Para cada um destes cenários foram testadas configurações variando o período do dia (manhã, tarde, noite e madrugada), velocidade média dos veículos, número máximo de ambulâncias possíveis instaladas por base (variando 2, 3 e 5 unidades) e tempo de resposta (variando de 21 minutos – que é o tempo atual do sistema, até 8 minutos – que é o tempo de resposta sugerido pela OMS).

É importante ressaltar que outros testes de cenário foram realizados. Ocorre que as respostas geradas não apresentaram configurações viáveis ou melhores que as verificadas nos cenários anteriores.

As tabelas 7.2 e 7.3 trazem um resumo dos cenários testados, considerando o período do dia, os respectivos cenários testados e ainda o número máximo possível de ambulâncias por base de operação.





Conforme pode ser observado na tabela 7.2, nos períodos da manhã e da tarde (onde a demanda é maior e a velocidade média da ambulância menor), para os cenários 1 e 4 o melhor tempo de resposta viável foi de 21 minutos. Nos cenários propostos 2 e 3 não foi possível localizar bases de operação obtendo um tempo de resposta (TR) menor ou igual a 21 minutos.

Uma análise mais específica permite inferir que, para os cenários 1 e 4 (SAMU 2010 e 2011, respectivamente), a partir da localização atual das bases de operação, nos períodos de pico de demanda (manhã e tarde), um tempo de resposta inferior a 21 minutos se demonstra inviável.

Ao analisar os resultados relativos aos períodos da noite e madrugada (onde a demanda pelo serviço é menor e a velocidade média da ambulância maior), observa-se que os tempos de resposta diminuem consideravelmente. Nos períodos da noite e madrugada, para os cenários 1 e 4 observa-se um tempo de resposta mínimo de 17 e 13 minutos, respectivamente.

A partir das análises e resultados apresentados pelos cenários 1, 2, 3 e 4, manter a localização atual, para todas as bases de operação do SAMU parece não ser a melhor estratégia. Uma explicação plausível para esse fato é a distância geográfica que as ambulâncias têm que percorrer com uma velocidade de deslocamento inferior a ideal (devido, principalmente aos congestionamentos). Desta forma, a hipótese que bases de operação melhor localizadas podem contribuir decisivamente para redução do TR será testada.

Em virtude desta hipótese, nos cenários 5 e 6, novas localizações candidatas para as bases de operação são propostas visando reduzir o tempo de resposta do serviço, principalmente no período da manhã e tarde (onde existe pico na demanda). Pela tabela 7.3 é possível verificar que a partir da instalação de bases de operação em locais diferentes (dos locais atuais), obtêm-se tempos de resposta menores que os apresentados nos cenários 1, 2, 3 e 4.

TABELA 7.3 - Testes de Cenário considerando período do dia, número máximo de ambulâncias instaladas e tempo de resposta

| Tempo de Resposta (min) | Período da manhã |           | Período da tarde |           | Período da noite |           | Período da madrugada |           |
|-------------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|----------------------|-----------|
|                         | Cenário 5        | Cenário 6 | Cenário 5        | Cenário 6 | Cenário 5        | Cenário 6 | Cenário 5            | Cenário 6 |
| 21                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 20                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 19                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 17                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 15                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 13                      | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 11                      | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Viável               | Viável    |
| 8                       | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Inviável             | Viável    |
| 21                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 20                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 19                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 17                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 15                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 13                      | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 11                      | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Viável               | Viável    |
| 8                       | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Inviável             | Viável    |
| 21                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 20                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 19                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 17                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 15                      | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 13                      | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Viável           | Viável    | Viável               | Viável    |
| 11                      | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Viável               | Viável    |
| 8                       | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Inviável         | Inviável  | Inviável             | Viável    |

até 2 ambulâncias  
por baseaté 3 ambulâncias  
por baseaté 5 ambulâncias  
por base

Analisando a tabela 7.3, os tempos de resposta verificados sofrem uma redução considerável em todos os períodos analisados. Nos períodos da manhã e tarde, uma configuração viável gerou um tempo de resposta de 15 minutos nos cenários 5 e 6 (aproximadamente 29% menor que o tempo de resposta verificado nos cenários 1 e 4 – que era de 21 minutos).

É interessante verificar que nos períodos da noite e da madrugada, tempos de resposta ainda menores foram verificados. Para o cenário 6 no período da madrugada (onde a demanda diminui e a velocidade média dos veículos de resgate aumenta) é possível realizar um atendimento em 8 minutos.

Visando analisar mais detalhadamente as configurações geradas nos cenários propostos, as tabelas 7.4 a 7.7 buscam resumir, por período do dia, as melhores configurações encontradas para cada um dos cenários testados na otimização. Os cenários 2 e 3, que não apresentaram TR menor que 21 minutos, foram excluídos desta análise.

TABELA 7.4 – Resumo dos melhores TR encontrados nos cenários 1, 4, 5 e 6 no período madrugada

| Cenário | Nº máx de ambulâncias por base (Q) | Período   | Melhor tempo de resposta (TR) | Bases Instaladas (j) | Ambulâncias Básicas Instaladas (w <sub>1</sub> ) | Ambulâncias Avançadas Instaladas (w <sub>2</sub> ) |
|---------|------------------------------------|-----------|-------------------------------|----------------------|--|--|
| 1       | 2                                  | Madrugada | 13'                           | 10                   | 20   | 5  |
| 4       | 2                                  | Madrugada | 13'                           | 11                   | 22   | 5  |
| 5       | 2                                  | Madrugada | 11'                           | 11                   | 22   | 5  |
| 6       | 2                                  | Madrugada | 8'                            | 22                   | 22   | 5  |
| 1       | 3                                  | Madrugada | 13'                           | 7                    | 20   | 5  |
| 4       | 3                                  | Madrugada | 13'                           | 8                    | 22   | 5  |
| 5       | 3                                  | Madrugada | 11'                           | 8                    | 22   | 5  |
| 6       | 3                                  | Madrugada | 8'                            | 22                   | 22   | 5  |
| 1       | 5                                  | Madrugada | 13'                           | 4                    | 20   | 5  |
| 4       | 5                                  | Madrugada | 13'                           | 5                    | 22   | 5  |
| 5       | 5                                  | Madrugada | 11'                           | 5                    | 22   | 5  |
| 6       | 5                                  | Madrugada | 8'                            | 22                   | 22   | 5  |

No período da madrugada (00:00 as 06:00), conforme em destaque na tabela 7.4, independente do número máximo de ambulâncias por base, o cenário 6 apresentou uma configuração viável para um tempo de resposta de 8 minutos. Nota-se que neste cenário, as 22 bases de operação e as 27 ambulâncias foram instaladas.

TABELA 7.5 – Resumo dos melhores TR encontrados nos cenários 1, 4, 5 e 6 no período manhã

| Cenário | N° máx de ambulâncias por base (Q) | Período | Melhor tempo de resposta (TR) | Bases Instaladas (j) | Ambulâncias Básicas Instaladas (w <sub>1</sub> ) | Ambulâncias Avançadas Instaladas (w <sub>2</sub> ) |
|---------|------------------------------------|---------|-------------------------------|----------------------|--|--|
| 1       | 2                                  | Manhã   | 21'                           | 10                   | 20   | 5  |
| 4       | 2                                  | Manhã   | 21'                           | 11                   | 22   | 5  |
| 5       | 2                                  | Manhã   | 15'                           | 11                   | 22   | 5  |
| 6       | 2                                  | Manhã   | 15'                           | 22                   | 22   | 5  |
| 1       | 3                                  | Manhã   | 21'                           | 7                    | 20   | 5  |
| 4       | 3                                  | Manhã   | 21'                           | 8                    | 22   | 5  |
| 5       | 3                                  | Manhã   | 15'                           | 8                    | 22   | 5  |
| 6       | 3                                  | Manhã   | 15'                           | 22                   | 22   | 5  |
| 1       | 5                                  | Manhã   | 21'                           | 4                    | 20   | 5  |
| 4       | 5                                  | Manhã   | 21'                           | 5                    | 22   | 5  |
| 5       | 5                                  | Manhã   | 15'                           | 5                    | 22   | 5  |
| 6       | 5                                  | Manhã   | 15'                           | 22                   | 22   | 5  |

TABELA 7.6 – Resumo dos melhores TR encontrados nos cenários 1, 4, 5 e 6 no período tarde

| Cenário | N° máx de ambulâncias por base (Q) | Período | Melhor tempo de resposta (TR) | Bases Instaladas (j) | Ambulâncias Básicas Instaladas (w <sub>1</sub> ) | Ambulâncias Avançadas Instaladas (w <sub>2</sub> ) |
|---------|------------------------------------|---------|-------------------------------|----------------------|--|--|
| 1       | 2                                  | Tarde   | 21'                           | 10                   | 20   | 5  |
| 4       | 2                                  | Tarde   | 21'                           | 11                   | 22   | 5  |
| 5       | 2                                  | Tarde   | 15'                           | 11                   | 22   | 5  |
| 6       | 2                                  | Tarde   | 15'                           | 22                   | 22   | 5  |
| 1       | 3                                  | Tarde   | 21'                           | 7                    | 20   | 5  |
| 4       | 3                                  | Tarde   | 21'                           | 8                    | 22   | 5  |
| 5       | 3                                  | Tarde   | 15'                           | 8                    | 22   | 5  |
| 6       | 3                                  | Tarde   | 15'                           | 22                   | 22   | 5  |
| 1       | 5                                  | Tarde   | 21'                           | 4                    | 20   | 5  |
| 4       | 5                                  | Tarde   | 21'                           | 5                    | 22   | 5  |
| 5       | 5                                  | Tarde   | 15'                           | 5                    | 22   | 5  |
| 6       | 5                                  | Tarde   | 15'                           | 22                   | 22   | 5  |

As tabelas 7.5 e 7.6 trazem os períodos da manhã (06:00 as 12:00) e da tarde (12:00 as 18:00). Os tempos de resposta observados nos cenários 5 e 6, de 15 minutos, demonstram uma redução considerável quando comparados aos cenários 1 e 4 (de 21 minutos). Nos cenários 5 e 6 foram instaladas 27 ambulâncias, sendo 22 básicas e 5 avançadas.

TABELA 7.7 – Resumo dos melhores TR encontrados nos cenários 1, 4, 5 e 6 no período noite

| Cenário | N° máx de ambulâncias por base (Q) | Período | Melhor tempo de resposta (TR) | Bases Instaladas (j) | Ambulâncias Básicas Instaladas (w <sub>1</sub> ) | Ambulâncias Avançadas Instaladas (w <sub>2</sub> ) |
|---------|------------------------------------|---------|-------------------------------|----------------------|--|--|
| 1       | 2                                  | Noite   | 17'                           | 10                   | 20   | 5  |
| 4       | 2                                  | Noite   | 17'                           | 11                   | 22   | 5  |
| 5       | 2                                  | Noite   | 13'                           | 11                   | 22   | 5  |
| 6       | 2                                  | Noite   | 13'                           | 22                   | 22   | 5  |
| 1       | 3                                  | Noite   | 17'                           | 7                    | 20   | 5  |
| 4       | 3                                  | Noite   | 17'                           | 8                    | 22   | 5  |
| 5       | 3                                  | Noite   | 13'                           | 8                    | 22   | 5  |
| 6       | 3                                  | Noite   | 13'                           | 22                   | 22   | 5  |
| 1       | 5                                  | Noite   | 17'                           | 4                    | 20   | 5  |
| 4       | 5                                  | Noite   | 17'                           | 5                    | 22   | 5  |
| 5       | 5                                  | Noite   | 13'                           | 5                    | 22   | 5  |
| 6       | 5                                  | Noite   | 13'                           | 22                   | 22   | 5  |

No último período (noite, de 18:00 as 00:00), os cenários 5 e 6 alcançaram um tempo de resposta de 13 minutos. Ambos com 27 ambulâncias instaladas e o número de bases de operação variando em função do cenário e em função do número máximo de ambulâncias permitido por base.

A partir dos resultados observados na otimização, verificou-se que os cenários 5 e 6 apresentam uma redução no tempo de resposta bastante significativa. Principalmente, quando verifica-se que o cenário 5 contou com a instalação de um número inferior de bases de operação, mas apresentou um tempo de resposta idêntico ao cenário 6.

Como os cenários 5 e 6 apresentaram, a partir da nova localização geográfica de algumas bases de operação, reduções de tempo bastante significativas no serviço de atendimento de urgência, decidiu-se implementar as configurações geradas pelo otimizador no modelo de SED. Espera-se, dessa forma, verificar se existe convergência nos resultados, quando se compara as respostas verificadas na otimização com os resultados da simulação.

Os parâmetros de entrada que serão utilizadas na SED (localização das bases de operação e distribuição das 27 ambulâncias existentes) são provenientes do período da manhã gerados pelo modelo de otimização. Este horário representa o pico de demanda, onde existe a maior utilização de ambulâncias e do sistema como um todo.

O modelo de simulação de eventos discretos a ser utilizado nesta parte do estudo é uma adaptação do modelo desenvolvido por Silva (2010), tendo alteradas as localizações das bases de operação (que agora segue as configurações determinadas pelo modelo de otimização) e a distribuição das bases e das ambulâncias.

TABELA 7.8 – Comparativo dos melhores TR – Otimização versus Simulação (período manhã – pico de demanda)

| <b>Cenário</b> | <b>N° máx de ambulâncias por base (Q)</b> | <b>Bases Instaladas (j)</b> | <b>Ambulâncias Básicas Instaladas (<math>w_1</math>)</b> | <b>Ambulâncias Avançadas Instaladas (<math>w_2</math>)</b> | <b>Tempo de Resposta Otimização (min)</b> | <b>Tempo de Resposta Simulação (min)</b> |
|----------------|---|-----------------------------|--|--|---|--|
| Cenário 5      | 2   | 11                          | 22   | 5  | 15  | 17,45                                    |
|                | 3   | 7                           | 22   | 5  | 15  | 19,08                                    |
|                | 5   | 5                           | 22   | 5  | 15  | 19,96                                    |
| Cenário 6      | 2   | 22                          | 22   | 5  | 15  | 16,75                                    |
|                | 3   | 22                          | 22   | 5  | 15  | 16,92                                    |
|                | 5   | 22                          | 22   | 5  | 15  | 16,92                                    |

A tabela 7.8 traz um resumo dos cenários 5 e 6, considerando número máximo de ambulâncias instaladas por base, o número de bases e ambulâncias (básicas e avançadas) instaladas, o tempo de resposta verificado na otimização e o tempo de resposta encontrado no modelo de simulação.

Em uma primeira análise, observa-se que existe uma variação entre os tempos de resposta encontrados nas modelagens via otimização e simulação. Essa variação ocorre, dentre outros fatores, em virtude da aleatoriedade inerente da simulação e em função do tempo de atendimento da central de regulação (que é o tempo que precede o despacho da ambulância).

Na modelagem via otimização este tempo foi fixado em 2 minutos, partindo do pressuposto que esta etapa acontece de forma ágil e quase que instantânea. Já na modelagem via simulação esse valor varia em torno de uma média (com valores entre 0,50 a 52,66 minutos).

Outra questão relevante está no nível de detalhamento utilizado nas diferentes modelagens. Na otimização, a cidade foi dividida em 71 pontos de demanda e por períodos – manhã, tarde, noite e madrugada – considerando diferentes velocidades de deslocamento. No modelo de simulação, a demanda ficou concentrada em apenas 9 regionais (não considerando os períodos do dia) e a velocidade média foi fixada em 25 km/h entre 08 as 20:00 e em 50 km/h entre as 20:00 e 08:00 horas.

Ainda, analisando a tabela 7.8, no cenário 5, o número de ambulâncias ficou fixado em 27 (22 básicas e 5 avançadas). O número de bases instaladas variou em 11, 7 e 5 para um valor de Q (que é o número máximo de ambulâncias permitido por base) variando de 2, 3 e 5, respectivamente. Os tempos encontrados no modelo de simulação variaram de 17,45 minutos até 19,96 minutos, dependendo do número de bases instaladas.

É importante salientar que neste cenário 5, um tempo de resposta de 15 minutos foi viável na otimização contando com um número menor de bases de operação instaladas. Esse fator pode

ser importante na viabilização econômica desta configuração. Outro fato relevante observado na leitura da tabela 7.8 é a maior sensibilidade do modelo de simulação a diminuição do número de bases de operação. À medida que esse número fica menor, o tempo de resposta aumenta significativamente. Na otimização esse fenômeno não foi observado.

O cenário 6 também apresentou, no modelo de otimização, um tempo de resposta de 15 minutos, considerando a instalação de 22 bases de operação e ainda a instalação das 27 ambulâncias disponíveis (22 básicas e 5 avançadas). Neste cenário, os valores verificados no modelo de simulação foram bastante próximos, com média de 16,86 minutos e variação percentual de 12,4% na média.

A partir das configurações geradas para os cenários 5 e 6, ambos se candidatam a ser foco de um estudo de viabilidade econômica e operacional mais detalhado. Neste detalhamento devem-se considerar mais elementos de ordem prática (ligados a rotina de operação do serviço oferecido pelo SAMU) como também, outras questões não consideradas neste estudo.

Para fins de ilustração, as configurações listadas na tabela 7.9, relativas aos cenários 5 e 6 serão detalhadas.

TABELA 7.9 – Cenários mais competitivos para implementação futura

| <b>Cenário</b> | <b>Nº máx de ambulâncias por base (Q)</b> | <b>Bases Instaladas (j)</b> | <b>Ambulâncias Básicas Instaladas (w<sub>1</sub>)</b> | <b>Ambulâncias Avançadas Instaladas (w<sub>2</sub>)</b> | <b>Tempo de Resposta Otimização (min)</b> | <b>Tempo de Resposta Simulação (min)</b> | <b>Varição Otimização vs Simulação</b> |
|----------------|---|-----------------------------|---|---|---|--|--|
| Cenário 5      | 2   | 11                          | 22  | 5   | 15  | 17,45                                    | 16%                                    |
| Cenário 6      | 2   | 22                          | 22  | 5   | 15  | 16,75                                    | 12%                                    |

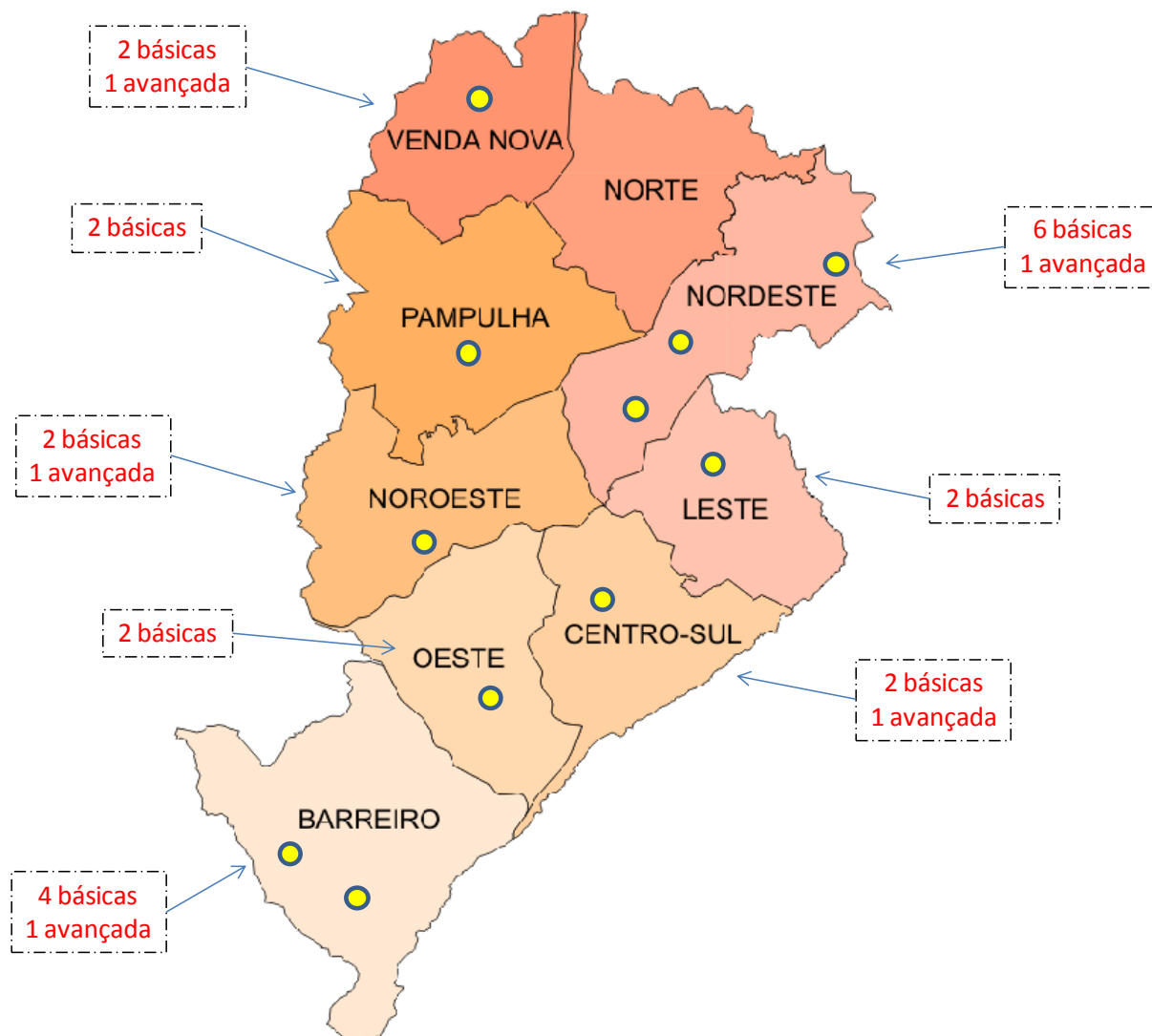
No cenário 5, destacado na tabela 7.9, existe uma configuração onde 27 ambulâncias são distribuídas em 11 bases de operação. A tabela 7.10 traz essa configuração, detalhando o posicionamento das ambulâncias do tipo básico e do tipo avançado.

TABELA 7.10 – Detalhamento da localização geográfica das bases de operação e ambulâncias para o cenário 5

| <b>Regional</b> | <b>Coordenada</b> |              | <b>Tipo de Ambulância</b> |                 |
|-----------------|-------------------|--------------|---------------------------|-----------------|
|                 | <b>UTM X</b>      | <b>UTM Y</b> | <b>Básica</b>             | <b>Avançada</b> |
| Barreiro        | 602739,96         | 7788778,63   | 2                         |                 |
| Barreiro        | 605124,38         | 7790101,58   | 2                         | 1               |
| Centro Sul      | 612314,10         | 7796592,16   | 2                         | 1               |
| Leste           | 614481,28         | 7798990,56   | 2                         |                 |
| Nordeste        | 610288,82         | 7798748,39   | 2                         |                 |
| Nordeste        | 613241,83         | 7802407,69   | 2                         |                 |
| Nordeste        | 615381,72         | 7804909,71   | 2                         | 1               |
| Noroeste        | 606496,84         | 7798480,81   | 2                         | 1               |
| Oeste           | 607652,60         | 7795591,42   | 2                         |                 |
| Pampulha        | 604483,20         | 7802482,64   | 2                         |                 |
| Venda Nova      | 609636,86         | 7808116,69   | 2                         | 1               |

Analisando as bases instaladas, pode-se observar que a regional Norte não recebeu nenhuma base de operação. Dentre as 22 ambulâncias básicas, para cada base foram instaladas 2 unidades. As ambulâncias avançadas, cada uma das cinco unidades foram instaladas nas regionais Venda Nova, Centro-Sul, Barreiro, Nordeste e Noroeste. A figura 7.1 traz o mapa da cidade com a distribuição geográfica das bases e das ambulâncias.

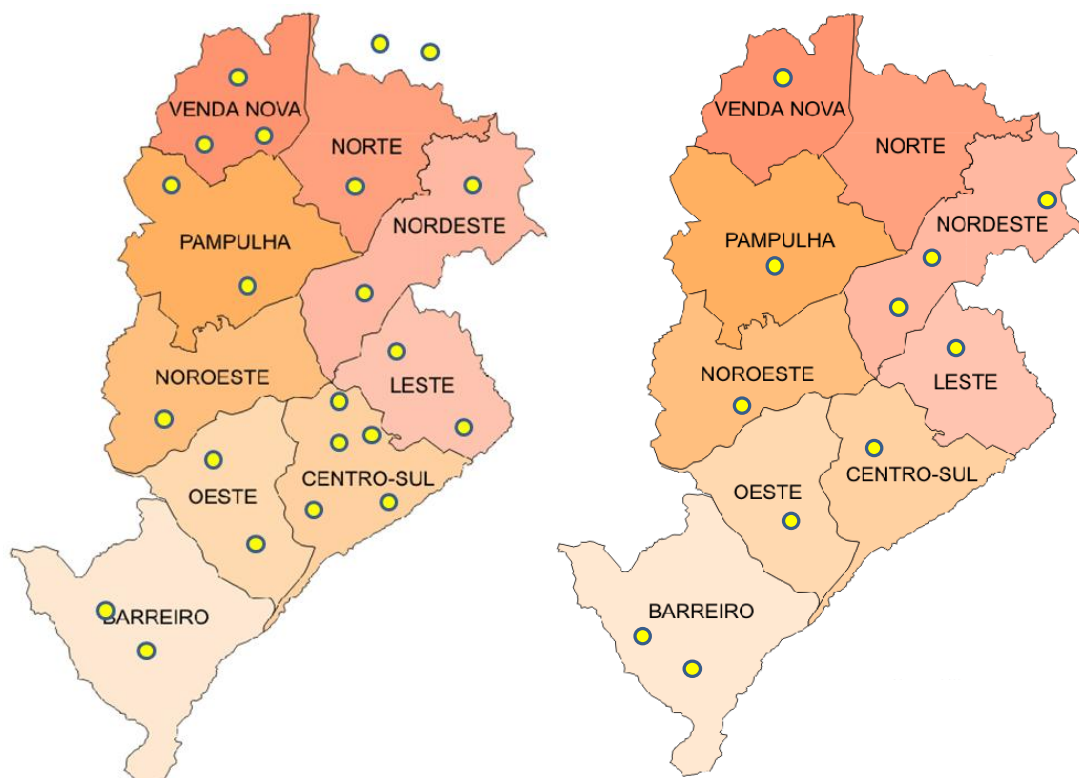




**FIGURA 7.1 – Localização geográfica das bases e ambulâncias a serem instaladas pelo cenário 5**

Fonte: Adaptado Prodabel (2009)

Quando se compara a configuração atual prevista do SAMU (cenário SAMU 2011) e o cenário proposto 5, percebe-se uma diferença no posicionamento das bases e também no número distribuído pelas regionais. A figura 7.2 mostra 2 mapas da cidade de Belo Horizonte e a localização das bases por regional, sendo o da esquerda o cenário previsto para 2011 e o da direita o cenário 5.



**FIGURA 7.2 – Localização geográfica das bases de operação dos cenários 2011 (esquerda) e cenário 5 (direita)**

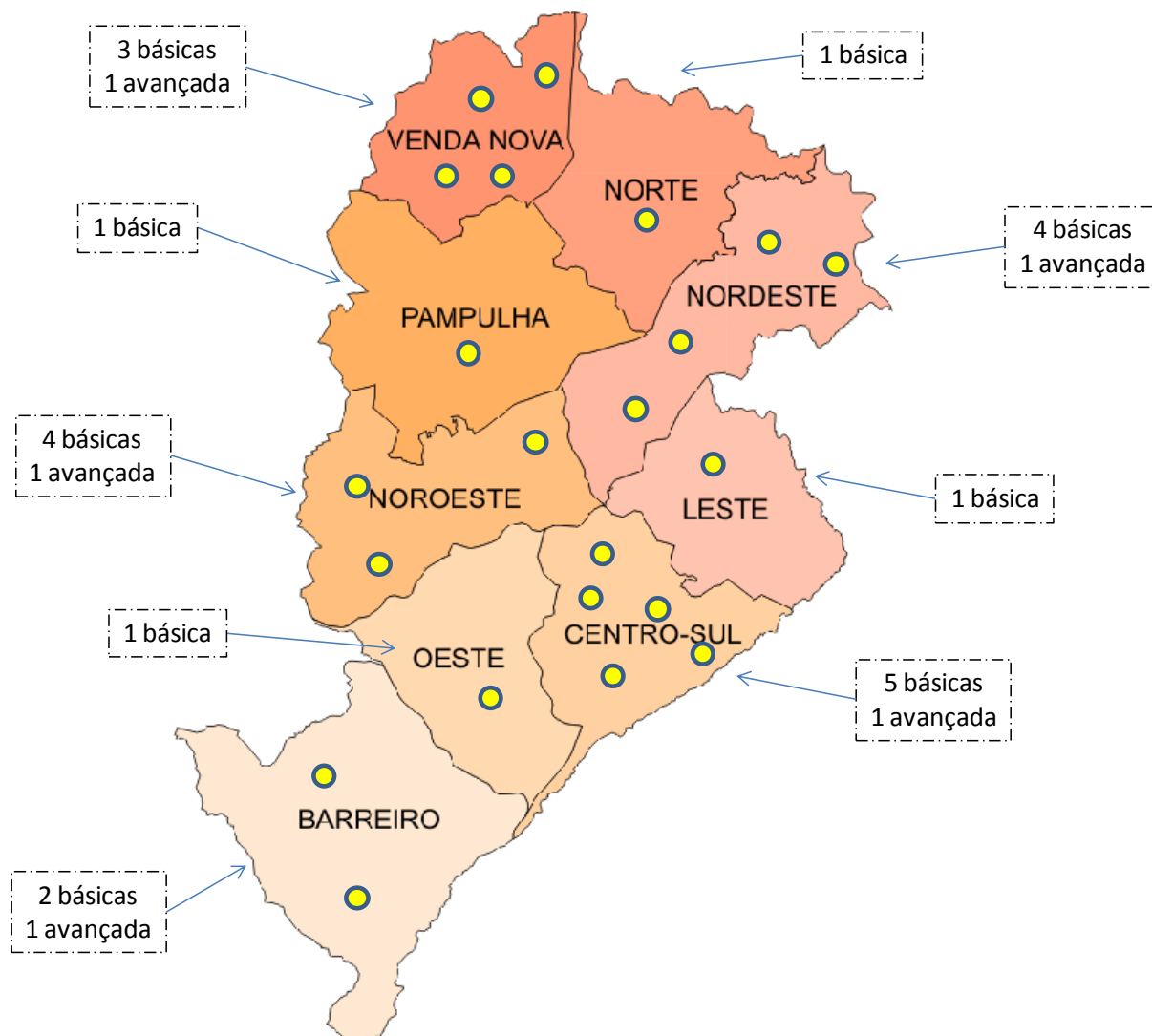
**Fonte: Adaptado Prodabel (2009)**

Já no 6º cenário (também destacado na tabela 7.9), 22 bases de operação devem ser instaladas e estas receberão as 27 ambulâncias disponíveis no sistema. A tabela 7.11 traz de forma resumida a distribuição de bases por regional, e para cada uma o número de ambulâncias básicas e avançadas instaladas.

TABELA 7.11 – Detalhamento da localização geográfica das bases de operação e ambulâncias para o cenário 6

| Regional   | Coordenada |            | Tipo de Ambulância |          |
|------------|------------|------------|--------------------|----------|
|            | UTM X      | UTM Y      | Básica             | Avançada |
| Barreiro   | 602739,96  | 7788778,63 | 1                  |          |
| Barreiro   | 605124,38  | 7790101,58 | 1                  | 1        |
| Centro Sul | 611687,50  | 7795581,79 | 1                  |          |
| Centro Sul | 612314,10  | 7796592,16 | 1                  |          |
| Centro Sul | 612471,63  | 7796753,97 | 1                  | 1        |
| Centro Sul | 611192,10  | 7796602,71 | 1                  |          |
| Centro Sul | 610397,52  | 7792051,92 | 1                  |          |
| Leste      | 614481,28  | 7798990,56 | 1                  |          |
| Nordeste   | 610288,82  | 7798748,39 | 1                  |          |
| Nordeste   | 613241,83  | 7802407,69 | 1                  |          |
| Nordeste   | 615381,72  | 7804909,71 | 1                  | 1        |
| Nordeste   | 611336,57  | 7800864,56 | 1                  |          |
| Noroeste   | 607816,43  | 7797622,15 | 1                  |          |
| Noroeste   | 615959,59  | 7804909,71 | 2                  | 1        |
| Noroeste   | 606496,84  | 7798480,81 | 1                  |          |
| Norte      | 611598,04  | 7804814,99 | 1                  |          |
| Oeste      | 607652,60  | 7795591,42 | 1                  |          |
| Pampulha   | 604483,20  | 7802482,64 | 1                  |          |
| Venda Nova | 610267,00  | 7808237,40 | 1                  |          |
| Venda Nova | 609015,67  | 7808665,39 | 1                  |          |
| Venda Nova | 609636,86  | 7808116,69 |                    | 1        |
| Venda Nova | 608880,59  | 7807871,33 | 1                  |          |

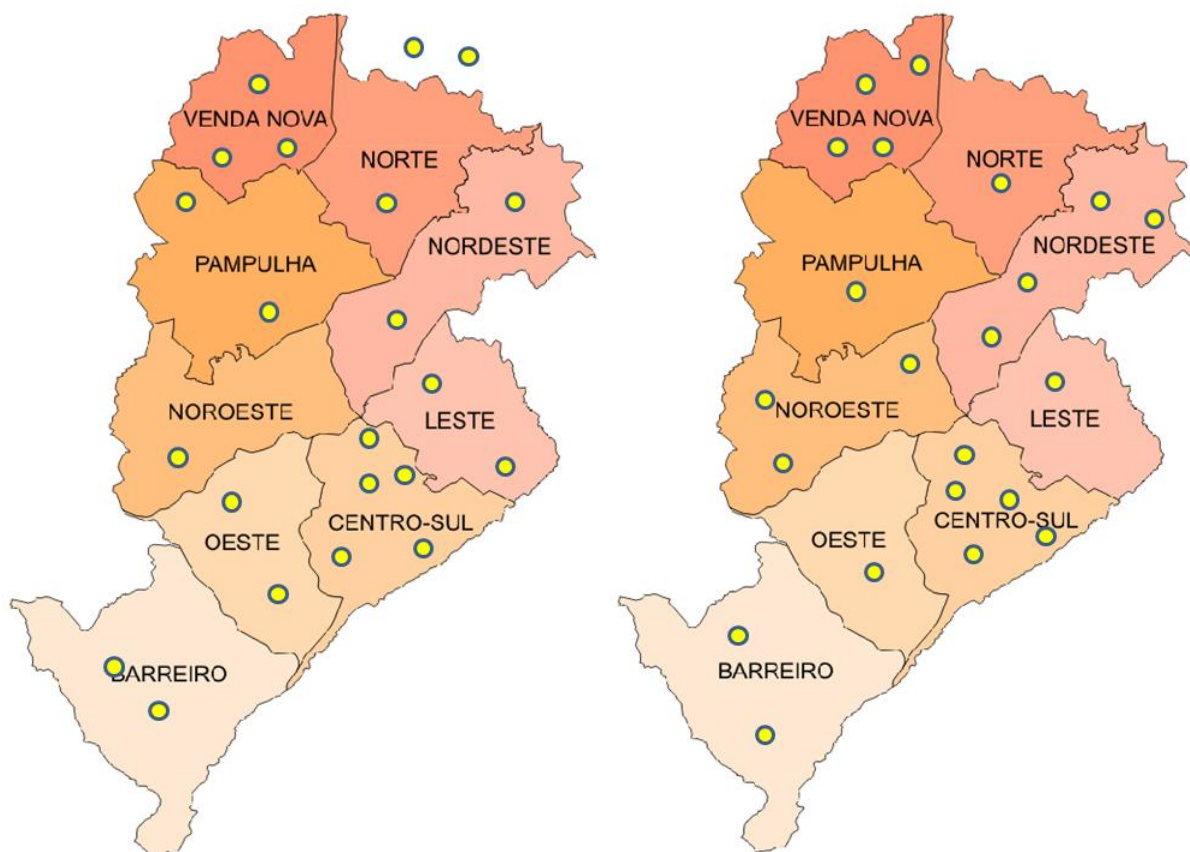
Ao analisar as bases instaladas, pode-se observar que existe pelo menos uma base em cada regional da cidade. Dentre as 22 ambulâncias básicas, apenas em uma base foram instaladas 2 unidades. Das ambulâncias avançadas, as cinco unidades foram instaladas nas regionais Venda Nova, Centro-Sul, Barreiro, Nordeste e Noroeste. A figura 7.3 traz o mapa da cidade com a distribuição geográfica das bases e das ambulâncias.



**FIGURA 7.3 – Localização geográfica das bases e ambulâncias a serem instaladas pelo cenário 6**

Fonte: Adaptado Prodabel (2009)

Quando se compara a configuração atual prevista do SAMU (cenário SAMU 2011) e o cenário 6, percebe-se uma diferença no posicionamento das bases e também no número distribuído pelas regionais. A figura 7.4 mostra 2 mapas da cidade de Belo Horizonte e a localização das bases por regional, sendo o da esquerda o cenário 2011 e o da direita o cenário 6.



**FIGURA 7.4 – Localização geográfica das bases de operação dos cenários 2011 (esquerda) e cenário 6 (direita)**

Fonte: Adaptado Prodabel (2009)

Tomando como base o cenário 2011, previsto para ser implementado em março de 2011, será realizada uma análise econômica preliminar, buscando verificar o montante inicial necessário para implementação dos cenários 5 e 6, selecionados anteriormente.

A tabela 7.12 traz a descrição das regionais do município e a localização geográfica das bases de operação, bem como o número de ambulâncias de cada tipo que serão instaladas em cada local.

TABELA 7.12 – Distribuição das bases de operação e ambulâncias nos cenários 2011, 5 e 6

| Previsto 2011 |           |                    |        |          | Cenário 5  |           |                    |        |          | Cenário 6  |           |                    |        |          |
|---------------|-----------|--------------------|--------|----------|------------|-----------|--------------------|--------|----------|------------|-----------|--------------------|--------|----------|
| Coordenada    |           | Tipo de Ambulância |        |          | Coordenada |           | Tipo de Ambulância |        |          | Coordenada |           | Tipo de Ambulância |        |          |
| Regional      | UTM X     | UTM Y              | Básica | Avançada | Regional   | UTM X     | UTM Y              | Básica | Avançada | Regional   | UTM X     | UTM Y              | Básica | Avançada |
| Barreiro      | 603253,19 | 7791095,84         | 1      |          | Barreiro   | 602739,96 | 7788778,63         | 2      |          | Barreiro   | 602739,96 | 7788778,63         | 1      |          |
| Barreiro      | 602739,96 | 7788778,63         | 2      | 1        | Barreiro   | 605124,38 | 7790101,58         | 2      | 1        | Barreiro   | 605124,38 | 7790101,58         | 1      | 1        |
| Centro Sul    | 610402,96 | 7791325,68         | 1      |          | Centro Sul | 612314,10 | 7796592,16         | 2      | 1        | Centro Sul | 611687,50 | 7795581,79         | 1      |          |
| Centro Sul    | 610855,97 | 7797518,67         | 1      |          | Leste      | 614481,28 | 7798990,56         | 2      |          | Centro Sul | 612314,10 | 7796592,16         | 1      |          |
| Centro Sul    | 612314,1  | 7796592,16         | 1      | 1        | Nordeste   | 610288,82 | 7798748,39         | 2      |          | Centro Sul | 612471,63 | 7796753,97         | 1      | 1        |
| Centro Sul    | 612471,63 | 7796753,97         | 1      |          | Nordeste   | 613241,83 | 7802407,69         | 2      |          | Centro Sul | 611192,10 | 7796602,71         | 1      |          |
| Centro Sul    | 611687,5  | 7795581,79         | 1      |          | Nordeste   | 615381,72 | 7804909,71         | 2      | 1        | Centro Sul | 610397,52 | 7792051,92         | 1      |          |
| Leste         | 614481,28 | 7798990,56         | 1      |          | Noroeste   | 606496,84 | 7798480,81         | 2      | 1        | Leste      | 614481,28 | 7798990,56         | 1      |          |
| Leste         | 611821,57 | 7797705,74         | 1      |          | Oeste      | 607652,60 | 7795591,42         | 2      |          | Nordeste   | 610288,82 | 7798748,39         | 1      |          |
| Nordeste      | 613241,83 | 7802407,69         | 1      | 1        | Pampulha   | 604483,20 | 7802482,64         | 2      |          | Nordeste   | 613241,83 | 7802407,69         | 1      |          |
| Nordeste      | 610288,82 | 7798748,39         | 1      |          | Venda Nova | 609636,86 | 7808116,69         | 2      | 1        | Nordeste   | 615381,72 | 7804909,71         | 1      | 1        |
| Noroeste      | 607816,43 | 7797622,15         | 1      |          |            |           |                    |        |          | Nordeste   | 611336,57 | 7800864,56         | 1      |          |
| Norte         | 611598,04 | 7804814,99         | 1      |          |            |           |                    |        |          | Noroeste   | 607816,43 | 7797622,15         | 1      |          |
| Oeste         | 608882,58 | 7796808,42         | 1      |          |            |           |                    |        |          | Noroeste   | 615959,59 | 7804909,71         | 2      | 1        |
| Oeste         | 605601,01 | 7792252,49         | 1      |          |            |           |                    |        |          | Noroeste   | 606496,84 | 7798480,81         | 1      |          |
| Pampulha      | 604483,2  | 7802482,64         | 1      |          |            |           |                    |        |          | Norte      | 611598,04 | 7804814,99         | 1      |          |
| Pampulha      | 608887,03 | 7803872,68         |        | 1        |            |           |                    |        |          | Oeste      | 607652,60 | 7795591,42         | 1      |          |
| Santa Luzia   | 618428,72 | 7814553,46         | 1      |          |            |           |                    |        |          | Pampulha   | 604483,20 | 7802482,64         | 1      |          |
| Santa Luzia   | 611166,52 | 7811706,68         | 1      |          |            |           |                    |        |          | Venda Nova | 610267,00 | 7808237,40         | 1      |          |
| Venda Nova    | 609015,67 | 7808665,39         | 1      |          |            |           |                    |        |          | Venda Nova | 609015,67 | 7808665,39         | 1      |          |
| Venda Nova    | 609636,86 | 7808116,69         | 1      | 1        |            |           |                    |        |          | Venda Nova | 609636,86 | 7808116,69         |        | 1        |
| Venda Nova    | 610267    | 7808237,4          | 1      |          |            |           |                    |        |          | Venda Nova | 608880,59 | 7807871,33         | 1      |          |

Conforme pode ser verificado, ao analisar mais atentamente a tabela 7.12, percebe-se que existem posições comuns das bases de operação do cenário previsto 2011 com os cenários em estudo 5 e 6. Isto significa, que em uma possível implementação do cenário 5 ou do cenário 6, nem todas as bases seriam novas e algumas delas podem ser “reaproveitadas” da configuração atual.

Esta questão é extremamente importante, pois além de significar uma redução de despesas de instalação, significa também, um menor impacto do ponto de vista operacional no SAMU. A tabela 7.13 traz, em destaque as bases que são comuns entre o cenário 2011 e cenário 5, e a tabela 7.14 destaca as bases comuns entre os cenários 2011 e 6.

TABELA 7.13 – Análise comparativa dos cenários 2011 e cenário 5

| Previsto 2011     |                  |                   |                    |          | Cenário 5  |            |            |                    |          |
|-------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------|------------|------------|------------|--------------------|----------|
| Regional          | Coordenada       |                   | Tipo de Ambulância |          | Regional   | Coordenada |            | Tipo de Ambulância |          |
|                   | UTM X            | UTM Y             | Básica             | Avançada |            | UTM X      | UTM Y      | Básica             | Avançada |
| Barreiro          | 602739,96        | 7788778,63        | 2                  | 1        | Barreiro   | 602739,96  | 7788778,63 | 2                  |          |
| Centro Sul        | 612314,1         | 7796592,16        | 1                  | 1        | Centro Sul | 612314,10  | 7796592,16 | 2                  | 1        |
| Leste             | 614481,28        | 7798990,56        | 1                  |          | Leste      | 614481,28  | 7798990,56 | 2                  |          |
| Nordeste          | 610288,82        | 7798748,39        | 1                  |          | Nordeste   | 610288,82  | 7798748,39 | 2                  |          |
| Nordeste          | 613241,83        | 7802407,69        | 1                  | 1        | Nordeste   | 613241,83  | 7802407,69 | 2                  |          |
| Pampulha          | 604483,2         | 7802482,64        | 1                  |          | Pampulha   | 604483,20  | 7802482,64 | 2                  |          |
| Venda Nova        | 609636,86        | 7808116,69        | 1                  | 1        | Venda Nova | 609636,86  | 7808116,69 | 2                  | 1        |
| Barreiro          | 603253,19        | 7791095,84        | 1                  |          | Barreiro   | 605124,38  | 7790101,58 | 2                  | 1        |
| Centro Sul        | 610402,96        | 7791325,68        | 1                  |          | Nordeste   | 615381,72  | 7804909,71 | 2                  | 1        |
| Centro Sul        | 610855,97        | 7797518,67        | 1                  |          | Noroeste   | 606496,84  | 7798480,81 | 2                  | 1        |
| <b>Centro Sul</b> | <b>612471,63</b> | <b>7796753,97</b> | <b>1</b>           |          | Oeste      | 607652,60  | 7795591,42 | 2                  |          |
| <b>Centro Sul</b> | <b>611687,5</b>  | <b>7795581,79</b> | <b>1</b>           |          |            |            |            |                    |          |
| Leste             | 611821,57        | 7797705,74        | 1                  |          |            |            |            |                    |          |
| <b>Noroeste</b>   | <b>607816,43</b> | <b>7797622,15</b> | <b>1</b>           |          |            |            |            |                    |          |
| <b>Norte</b>      | <b>611598,04</b> | <b>7804814,99</b> | <b>1</b>           |          |            |            |            |                    |          |
| Oeste             | 608882,58        | 7796808,42        | 1                  |          |            |            |            |                    |          |
| Oeste             | 605601,01        | 7792252,49        | 1                  |          |            |            |            |                    |          |
| Pampulha          | 608887,03        | 7803872,68        |                    | 1        |            |            |            |                    |          |
| Santa Luzia       | 618428,72        | 7814553,46        | 1                  |          |            |            |            |                    |          |
| Santa Luzia       | 611166,52        | 7811706,68        | 1                  |          |            |            |            |                    |          |
| <b>Venda Nova</b> | <b>609015,67</b> | <b>7808665,39</b> | <b>1</b>           |          |            |            |            |                    |          |
| <b>Venda Nova</b> | <b>610267</b>    | <b>7808237,4</b>  | <b>1</b>           |          |            |            |            |                    |          |

Na primeira comparativa, pode-se observar que o cenário 5 considerou a instalação de 11 bases de operação. Dentre estas, sete bases coincidem em localização com as bases já instaladas atualmente. Desta forma, para implementação deste cenário, seria necessário a instalação de apenas 4 bases de operação, relativas às regionais Barreiro, Nordeste, Noroeste e Oeste.

Partindo de um custo estimado para instalar cada base de operação de aproximadamente R\$ 350.000,00, neste cenário 5, seria necessário um investimento da ordem de R\$ 1.400.000,00.

Na segunda comparação, entre o cenário previsto para 2011 e o cenário 6, também existem bases que coincidem em sua localização geográfica. Ao analisar a tabela 7.14 em detalhes, verifica-se que existem 13 bases coincidentes e 9 a serem instaladas (1 na regional Barreiro, 2 na Centro-Sul, 2 na Nordeste, 2 na Noroeste e na Oeste e Venda Nova, 1 para cada).

TABELA 7.14 – Análise comparativa dos cenários 2011 e cenário 6

| Previsto 2011 |            |            |                    |          | Cenário 6  |            |            |                    |          |
|---------------|------------|------------|--------------------|----------|------------|------------|------------|--------------------|----------|
| Regional      | Coordenada |            | Tipo de Ambulância |          | Regional   | Coordenada |            | Tipo de Ambulância |          |
|               | UTM X      | UTM Y      | Básica             | Avançada |            | UTM X      | UTM Y      | Básica             | Avançada |
| Barreiro      | 602739,96  | 7788778,63 | 2                  | 1        | Barreiro   | 602739,96  | 7788778,63 | 1                  |          |
| Centro Sul    | 611687,5   | 7795581,79 | 1                  |          | Centro Sul | 611687,50  | 7795581,79 | 1                  |          |
| Centro Sul    | 612314,1   | 7796592,16 | 1                  | 1        | Centro Sul | 612314,10  | 7796592,16 | 1                  |          |
| Centro Sul    | 612471,63  | 7796753,97 | 1                  |          | Centro Sul | 612471,63  | 7796753,97 | 1                  | 1        |
| Leste         | 614481,28  | 7798990,56 | 1                  |          | Leste      | 614481,28  | 7798990,56 | 1                  |          |
| Nordeste      | 613241,83  | 7802407,69 | 1                  | 1        | Nordeste   | 613241,83  | 7802407,69 | 1                  |          |
| Nordeste      | 610288,82  | 7798748,39 | 1                  |          | Nordeste   | 610288,82  | 7798748,39 | 1                  |          |
| Noroeste      | 607816,43  | 7797622,15 | 1                  |          | Noroeste   | 607816,43  | 7797622,15 | 1                  |          |
| Norte         | 611598,04  | 7804814,99 | 1                  |          | Norte      | 611598,04  | 7804814,99 | 1                  |          |
| Pampulha      | 604483,2   | 7802482,64 | 1                  |          | Pampulha   | 604483,20  | 7802482,64 | 1                  |          |
| Venda Nova    | 610267     | 7808237,4  | 1                  |          | Venda Nova | 610267,00  | 7808237,40 | 1                  |          |
| Venda Nova    | 609015,67  | 7808665,39 | 1                  |          | Venda Nova | 609015,67  | 7808665,39 | 1                  |          |
| Venda Nova    | 609636,86  | 7808116,69 | 1                  | 1        | Venda Nova | 609636,86  | 7808116,69 |                    | 1        |
| Barreiro      | 603253,19  | 7791095,84 | 1                  |          | Barreiro   | 605124,38  | 7790101,58 | 1                  | 1        |
| Centro Sul    | 610402,96  | 7791325,68 | 1                  |          | Centro Sul | 611192,10  | 7796602,71 | 1                  |          |
| Centro Sul    | 610855,97  | 7797518,67 | 1                  |          | Centro Sul | 610397,52  | 7792051,92 | 1                  |          |
| Leste         | 611821,57  | 7797705,74 | 1                  |          | Nordeste   | 615381,72  | 7804909,71 | 1                  | 1        |
| Oeste         | 608882,58  | 7796808,42 | 1                  |          | Nordeste   | 611336,57  | 7800864,56 | 1                  |          |
| Oeste         | 605601,01  | 7792252,49 | 1                  |          | Noroeste   | 615959,59  | 7804909,71 | 2                  | 1        |
| Pampulha      | 608887,03  | 7803872,68 |                    | 1        | Noroeste   | 606496,84  | 7798480,81 | 1                  |          |
| Santa Luzia   | 618428,72  | 7814553,46 | 1                  |          | Oeste      | 607652,60  | 7795591,42 | 1                  |          |
| Santa Luzia   | 611166,52  | 7811706,68 | 1                  |          | Venda Nova | 608880,59  | 7807871,33 | 1                  |          |

No cenário 6, a partir de uma demanda de instalação de 9 bases, o custo total seria da ordem de R\$ 3.150.000,00.

Partindo apenas das análises preliminares realizadas anteriormente, o cenário 5 é, do ponto de vista econômico, a configuração que traria um melhor custo benefício para o SAMU de Belo Horizonte. A tabela 7.15 traz um resumo de algumas das configurações viáveis propostas ao longo deste estudo para reduzir o tempo de resposta do serviço oferecido.



TABELA 7.15 – Análise econômica preliminar das configurações analisadas neste estudo

| Item | Configuração  | Investimento Preliminar | Descrição do Investimento   | Redução do Tempo de Resposta (via otimização) | Redução do Tempo de Resposta (via simulação) |
|------|---|-------------------------|---|---|--|
| a    | Aumentando o número de ambulâncias (Cenário SAMU Hipotético I)  | R\$ 3.209.728,86        | Aquisição de 18 ambulâncias do tipo básico (sem considerar a contratação de mais equipes para operação e manutenção do sistema, além de instalação de novas bases de operação para receber os veículos) | na  | 35%  |
| b    | Aumentando o número de ambulâncias (Cenário SAMU Hipotético II) | R\$ 5.884.502,91        | Aquisição de 33 ambulâncias do tipo básico (sem considerar a contratação de mais equipes para operação e manutenção do sistema, além de instalação de novas bases de operação para receber os veículos) | na  | 46%  |
| c    | Cenário SAMU 2011 (Planejado)                                   | 0                       | Não é necessário investimentos além dos já realizados pelos SAMU de Belo Horizonte  | 0%  | 8%   |
| d    | Cenário 5   | R\$ 1.400.000,00        | Instalação de novas 4 bases de operação em regionais da cidade de Belo Horizonte (sem necessidade de adquirir novas ambulâncias ou equipes)   | 29%   | 17%  |
| e    | Cenário 6   | R\$ 3.150.000,00        | Instalação de novas 9 bases de operação em regionais da cidade de Belo Horizonte (sem necessidade de adquirir novas ambulâncias ou equipes)   | 29%   | 20%  |

É pertinente considerar que, nas configurações que prevêem aumento no número de ambulâncias (itens *a* e *b*), o investimento final será significativamente maior que os valores retratados na tabela anterior (em virtude da necessidade de infraestrutura adicional).

No item *c*, apesar de não haver investimento financeiro, também não foi observada uma redução significativa no tempo de resposta. Os itens *d* e *e* demonstraram a melhor relação custo benefício, conciliando uma redução significativa no tempo de resposta, com os menores montantes de investimentos.

Ainda é importante ressaltar que, a partir da modelagem realizada na otimização, não foram alcançadas configurações viáveis que reduzissem o tempo de resposta para índices inferiores a 15 minutos no pico de demanda, ficando assim, difícil estimar investimentos necessários para um cenário deste tipo.

Os tempos de resposta encontrados nas modelagens via otimização e via simulação apontam para uma redução do tempo do serviço ao localizar de forma mais otimizada as bases de operação. Entretanto, confrontar os tempos gerados pelas duas modelagens tem o único objetivo de criar um parâmetro de comparação, pois é sabido que apesar da base de dados ser a mesma e as premissas semelhantes, as modelagens têm características distintas e seria um erro considerar seus resultados iguais.

Desta forma, a diferença observada entre os tempos de resposta encontrados nas modelagens via otimização e simulação, conforme justificado anteriormente, se dá, dentre outros motivos, em virtude da característica aleatória dos dados da simulação, também em função do tempo de atendimento da central de regulação e pelo nível distinto de detalhamento verificado nas modelagens.

É importante também ressaltar que outros cenários foram testados, objetivando encontrar soluções que resultassem em tempos de resposta menores. Para todos os demais cenários, os resultados verificados ficaram aquém dos citados anteriormente ou se mostraram inviáveis.

## 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao estudar diversos cenários e analisar os mais pertinentes, é possível inferir que um eficiente serviço de atendimento móvel à urgências se dá em função da soma de diversos fatores, tais como: *i*) o número de ambulâncias de cada tipo (básica e avançada), *ii*) o número e o posicionamento das bases de operação do sistema, *iii*) os aspectos ambientais relacionados a clima, geografia, horário, trânsito e etc., *iv*) dentre outros.

Adquirir ambulâncias ou instalar bases de operação de forma arbitrária reflete em aplicar um montante significativo de recursos públicos, além de criar maiores dificuldades de gestão para o sistema, sem trazer melhorias relevantes.

À luz de tudo que foi tratado neste estudo, chegar a um número equilibrado de ambulâncias alocadas em bases de operação localizadas de forma otimizada contribui de forma decisiva para redução do tempo de resposta do SAMU. Em determinados períodos do dia (noite e madrugada) esta ação já parece ser suficiente para operar o sistema dentro dos parâmetros sugeridos pela OMS em Belo Horizonte.

Apesar disso, para outros períodos do dia (como manhã e tarde), este estudo demonstrou que apenas adquirir ambulâncias e/ou otimizar as bases de operação não são ações suficientes para reduzir o tempo de resposta do SAMU a níveis de padrão mundial.

Explorar de maneira mais detalhada a rotina do SAMU poderá ajudar na proposição de outras alternativas. De acordo com o estudo de Silva (2010), somente o tempo de atendimento de chamada (tempo que precede o despacho da ambulância) do SAMU de BH tem uma média de 6 minutos. Reduzir este tempo poderá contribuir decisivamente para melhora da performance do sistema e permitirá tempos de resposta menores.

Estudos (tais como Mendonça e Morabito (2000, 2001), Iannoni *et al* (2005) e Huang e Pan (2007)) também apontam que a utilização de sistemas de despacho integrados a sistemas de informação geográfica e ainda utilizando modelagens computacionais poderiam gerar configurações e cenários mais eficientes que colaborariam para uma redução ainda maior do tempo de resposta do serviço oferecido pelo SAMU.

Outra questão importante está na forma como o SAMU distribui as ambulâncias por base de operação. Atualmente o SAMU opera, quase que essencialmente, com 1 unidade básica em cada base. Ficou demonstrado neste estudo que é possível aumentar o número de ambulâncias

por base e com isso diminuir o número de bases instaladas, provocando uma diminuição de despesas, sem prejudicar a eficiência do sistema. Para esta medida ser implementada se deve preparar as bases de operação estratégicas para comportar um número maior de ambulâncias estacionadas (o que não é possível atualmente).

Considerar também as diferenças relativas a horário do dia na prestação do serviço realizado pelo SAMU se demonstrou muito importante. Estudos futuros podem reduzir ainda mais os períodos de análise, considerando, por exemplo, a variação da demanda de hora em hora. Isso acaba criando soluções mais específicas e adequadas ao serviço.

Outra alternativa viável a ser testada, está em trabalhar com bases de operação intermitente, considerando um número menor de bases de operação nos períodos da noite e da madrugada, onde a demanda pelo serviço diminui significativamente. Isso implica em menores custos de operação e de manutenção do sistema.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BANKS, J.; CARSON, J.S. **Introduction to discrete event simulation**. Proceeding of the 1986 Winter Simulation Conference, p. 17-23, 1986.

BORRÁS, F.; PASTOR, J.T. **Modelos probabilísticos de localización por cubrimiento: una panorámica**. Centro de Investigación Operativa - Universidad Miguel Hernández de Elche, p. 1-17, 2004.

Ministério da Saúde do Brasil. **Urgências e Emergências**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2001. 28p.

Ministério da Saúde do Brasil, 2010. Disponível em <[http://portal.saude.gov.br/portal/saude/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=30273&janela=1](http://portal.saude.gov.br/portal/saude/visualizar_texto.cfm?idtxt=30273&janela=1)>, acesso em 28 de abril de 2010.

BROTCORNE, L.; LAPORTE, G.; SEMET, F. **Ambulance location and relocation models**. European Journal of Operational Research 147, p. 451-463, 2003.

Ministério da Saúde do Canadá, 2007. Disponível em <[http://www.dufferincounty.on.ca/documents/ambulance\\_wait\\_times\\_.pdf](http://www.dufferincounty.on.ca/documents/ambulance_wait_times_.pdf)>, acesso em 19 de maio de 2010.

CARSON II, J.S. **Introduction to modeling and simulation**. Proceeding of the 2005 Winter Simulation Conference, p. 16-23, 2005.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 2ª edição. São Paulo: Editora do Autor, 2007. 254 p.

CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA. **Resolução CFM nº 1451, de 10 de março de 1995**. Disponível em <[http://www.portalmedico.org.br/resolucoes/cfm/1995/1451\\_1995.htm](http://www.portalmedico.org.br/resolucoes/cfm/1995/1451_1995.htm)>, acesso em 20 de maio de 2010.

COOPER, L. **Location-allocation problems**. Operations Research 11, p. 331-343, 1963. Disponível em: <<http://www.jstor.org/pss/168022>>. Acesso em: 31 maio de 2010.

CURRIE, K.R.; ISKANDER, W.H.; LEONARD, M.; COBERLY, C.D. **Simulation Modeling in Health Care Facilities**. Proceeding of the 1984 Winter Simulation Conference, p. 713-717, 1984.

DESTRI JUNIOR, J. **Sistema de Apoio à Decisão Espacial no Serviço de Atendimento Móvel de Urgência em Vias de Trânsito**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

DE OLIVEIRA, M.J.F. **Uma Introdução à Simulação**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2001.

DREZNER, Z. **Facility Location: a survey a of applications and methods**. 1ª edição. New York: Springer, 1995. 571 p.

ENGLAND, W.; ROBERTS, S. D. **Applications of computer simulation in health care**. Proceeding of the 1978 Winter Simulation Conference, p. 665-677, 1978.

FIGUEIREDO, A. P. S.; LORENA, L. A. N.; CARCALHO, S. V. **Modelos de localização de ambulâncias**. III WORCAP, 2003, São José dos Campos. São José dos Campos, SP: INPE, 2003. 6 p.

FILHO, E. M.; TORRES, N. T.; MAGALHÃES, M. S.; DE OLIVEIRA, M.J.F. 2000. **Simulação a eventos discretos aplicada ao setor de triagem do hospital Antônio Pedro**. *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*, 2007.

FITZSIMMONS, J.A. **An emergency medical system simulation model**. Proceeding of the 1971 Winter Simulation Conference, p. 18-25, 1971.

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

GUEDES, E. P. **Uma metodologia integrada de simulação em um sistema de informações geográficas: aplicação no setor de carga aérea no Brasil**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

GOLDBERG, J. B. **Operations Research Models for the Deployment of Emergency Services Vehicles**. *EMS Management Journal* 1, p. 20-39, 2004.

HARREL, C. **Simulação otimizando sistemas**. São Paulo: IMAM, 2002.

HUANG, B.; PAN, X. **GIS coupled with traffic simulation and optimization for incident response**. *Computers, Environment and Urban Systems* 31, p. 116-132, 2007.

IANNONI, A.P.; MORABITO, R.; SAYDAM, C. **Analyzing the configuration and operation of emergency medical systems on highways using the hypercube model**. *Annals of Operations Research*, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores Sócio demográficos e de Saúde no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 152 p.

JARDIM, R.X.; CONCEIÇÃO, S. V.; CARVALHO, C. R. V. **Localização estratégica para o serviço de atendimento móvel de urgência na região metropolitana de Belo Horizonte**. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p. 2958-2965, 2004.

LORENA, L. A. N. **Análise espacial de redes com aplicações em sistemas de informações geográficas**. *Revista Produção (on line)* 3, n. 2, 2003.

MANDELL, M. B. **Covering models for two-tiered emergency medical services systems**. *Location Science* 6, p. 355-368, 1998.

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

MENDONÇA, F.C.; MORABITO, R. **Analyzing emergency service ambulance deployment on a Brazilian highway using the hypercube model**. *Journal of the Operation Research Society*, 52, 261-268, 2001.

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

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPAS). **Información y Análisis de Salud: Situación de Salud en las Américas: Indicadores Básicos 2009**. Washington, D.C., Estados Unidos de América, 2009.

OWEN, S.H.; DASKIN, M. S. **Strategic facility location: A review**. *European Journal of Operational Research* 111, p. 423-447, 1998.

PONS, P. T.; MARKOVCHICK, V. J. **Eighth minutes or less: Does the ambulance response time guideline impact trauma patient outcome?** The Journal of Emergency Medicine 23, p. 43–48, 2002.

PRODABEL, 2009. Disponível em: <<http://webmapa.pbh.gov.br/>>. Acesso em: 31 maio de 2010.

RAJAGOPALAN, H. K.; SAYDAM, C.; XIAO, J. **A multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances.** Computers & Operation Research 35, p. 814-826, 2008.

RE VELLE, C.; BIGMAN, D.; SCHILLING, D.; COHON, J.; CHURCH, R. **Facility location: A review of context-free and EMS models.** Health Services Research, p. 129-146, 1977.

ROBINSON, S. **Discrete-event simulation: from the pioneers to the present, what next?** Journal of the Operational Research Society 56, p. 619–629, 2005.

SABBADINI, F. S.; GONÇALVES, A. A. **A simulação como ferramenta de apoio a tomada de decisão em serviços de saúde.** REAH. Revista Eletrônica de Administração Hospitalar, v. 1, n. 4, 2005.

SAHIN, G. e SURAL, H. **A review of hierarchical facility location models.** Computers & Operation Research 34, p. 2310-2331, 2007.

SCHILLING, D.; ELZINGA, D.J.; COHON, J.; CHURCH, R.; RE VELLE, C. **The Team/Fleet Models for Simultaneous Facility and Equipment Siting.** Transportation Science 13, n. 2, p. 163-175, 1979.

SILVA, P. M. S. **Análise do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) de Belo Horizonte via Simulação.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

SNYDER, L. V. **Facility Location Under Uncertainty: A Review.** IIE Transactions 38, p. 537-554, 2006.

TAKEDA, R. A. **Uma contribuição para avaliar o desempenho de sistemas de transporte emergencial de saúde.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Paulo, 2000.

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

TAVAKOLI, A.; LIGHTNER, C. **Implementing a mathematical model for locating EMS vehicles in Fayetteville, NC.** Computers & Operation Research 31, p. 1549-1563, 2004.

UYENO, D.; VERTINSKY, I. **Emergency health care system models.** ACM SIGSIM Simulation Digest 10, p. 63-65, 1979.

WU, C.H.; HWANG, K.P. **Using a Discrete-event Simulation to Balance Ambulance Availability and Demand in Static Deployment Systems.** Society for Academic Emergency Medicine, p. 1359-1366, 2009.