

Avaliação e Análise de Cenários para o SAMU-Uberaba/MG

Dra. Regiane Máximo de Souza¹ (FEB, UNESP/Bauru) regiane@feb.unesp.br
Ana Carolina Rodrigues de Lucena (DMS, UFTM) acrlucena@gmail.com
Ms. Fernanda Carolina Camargo (DMS, UFTM) fernandaccamargo@yahoo.com.br
Dra. Helena Hemiko Iwamoto (DMS, UFTM) helena.iwamoto@gmail.com

Resumo:

O SAMU tem a finalidade de prestar socorro emergencial à população com qualidade e rapidez, neste serviço um minuto pode significar a vida de uma pessoa. O objetivo deste trabalho é avaliar e propor cenários alternativos para o SAMU-Uberaba/MG por meio da aplicação do modelo hipercubo de filas espacialmente distribuídas. A partir dos dados secundários coletados, foi avaliado a frequência dos chamados durante o ano de observação e encontrado o período de pico para o sistema. Todas as hipóteses de aplicação do modelo hipercubo foram avaliadas. Os resultados do modelo foram comparados com a amostra, foram avaliados quatro cenários alternativos. Mostrou-se que a descentralização das ambulâncias melhora significativamente os tempos de viagem no sistema, em especial para o Distrito Sanitário III. Também foi avaliado o aumento de uma ambulância no sistema descentralizado, verificou-se que há uma diminuição significativa dos tempos de espera na fila para todas as classes de usuários.

Palavras chave: Serviços Médicos de Emergência, SAMU, modelo hipercubo.

Assessment and Scenario Analysis for the SAMU-Uberaba/MG

Abstract

The SAMU is intended to provide emergency aid to the population with quality and speed, this service one minute can mean the life of a person. The objective of this study is to evaluate and propose alternative scenarios for the SAMU-Uberaba / MG through the application of the hypercube model spatially distributed queues. The collected secondary data, was evaluated the frequency of calls during observation and found the peak period for the system. All cases of application of the hypercube model were evaluated. The model results were compared with the sample were evaluated four alternative scenarios. It was shown that the decentralization of ambulances significantly improves travel times in the system, especially for the Sanitary District III. Also evaluated was the increase of an ambulance in the decentralized system, it was found that there is a significant reduction in waiting time in the queue for all user classes.

Key-words: Emergency Medical Services, SAMU, hypercube model.

1. Introdução

As condições de saúde da população estão diretamente ligadas ao acesso aos serviços de saúde. Em áreas urbanas, há um grande número de acidentes e outras ocorrências de urgência e emergência, como infarto, intoxicação, queimadura, afogamento e queda acidental (SOUZA, 2010). O serviço de atendimento móvel de urgências (SAMU) é um programa do governo federal que tem a finalidade de prestar socorro emergencial às pessoas e garantir a qualidade

no atendimento. O serviço funciona 24 horas por dia e é composto por profissionais da saúde: médicos, enfermeiros, auxiliares de enfermagem e socorristas. esse serviço presta o atendimento em qualquer local, residências, locais de trabalho e vias públicas. o socorro é feito após uma ligação telefônica gratuita ao número 192. nesse contexto, os SAMU'S têm um papel importante na sociedade (LOPES & FERNANDES, 1999).

Os Serviços de Atendimento Emergenciais (SAE's), como os SAMU's, são caracterizados essencialmente por incertezas quanto a disponibilidade, localização, tempo de serviço dos servidores, demanda ao longo da região e tempo de resposta para atendimento aos usuários. Os sistemas de atendimento a emergências em saúde caracterizam um grande desafio para todas as nações, pois independentemente do tipo de urgência envolvida, somente com uma rigorosa organização é possível oferecer um serviço de boa qualidade (SOUZA, 2010). Proposto originalmente por Larson (LARSON, 1974), o modelo hipercubo, baseado na teoria de filas espacialmente distribuídas, tem se mostrado eficiente e preciso para analisar SAE's, como foi analisado, por exemplo, nos Estados Unidos Chelst & Barlach (1981), Brandeau & Larson (1986), Burwell et.al. (1993), Sacks & Grief (1994), Swersey (1994) e Larson & Odoni (2007), e no Brasil, Mendonça & Morabito (2001), Oliveira (2003), Chiyoshi et. al. (2000), Costa (2004), Figueiredo & Lorena (2005), Luque (2006), Takeda et. al. (2007), Iannoni (2005), Souza et. al. (2013), Souza et. al. (2014). A aplicação original do modelo hipercubo foi desenvolvida para o problema de patrulhamento policial, mas depois o modelo passou a ser aplicado em vários sistemas de emergência, como empresas de segurança, bombeiros, ambulâncias, reparos em redes de energia elétrica, etc Larson & Odoni (2007).

O modelo hipercubo tem por objetivo avaliar a configuração e estimar as medidas de desempenho para SAE's, como, por exemplo, os SAMU's, possibilitando um planejamento adequado e melhores níveis de serviço oferecido. Em sua forma original, trata-se de um modelo descritivo utilizado para analisar e planejar um sistema emergencial. Algumas medidas de desempenho mais relevantes para um sistema de atendimento de urgência podem ser divididas em: medidas externas, do ponto de vista do usuário, como o tempo médio de resposta a um chamado, o tempo médio de viagem para cada área da cidade (referida neste estudo como átomo) e a frequência de chamadas atendidas em um tempo inferior a um limite determinado; e medidas internas, do ponto de vista do gerente do sistema, como a carga de trabalho das ambulâncias, as frequências de despacho das ambulâncias para os átomos, a fração de atendimentos realizados fora da área de cobertura de cada ambulância e o tempo médio de viagem para cada ambulância (LARSON & ODONI, 2007).

O município de Uberaba apresenta-se como território vulnerável para ocorrência de acidentes e mortes violentas (CAMARGO, 2011). Observa-se que em Uberaba-MG, do período de junho de 2006 a junho 2007, ocorreram 2102 acidentes de trânsito (automobilístico, motociclístico, atropelamento e ciclístico), com um total de 2547 vítimas, com a média de 1,21 vítimas por acidente (SILVA *et. al.*, 2010). Frente a esta realidade os serviços de saúde são chamados a se orientarem as práticas assistenciais, principalmente os atendimentos as urgências e emergências em saúde (BRASIL, 2008). Nos Sistemas de Atendimento de Emergência (SAE's), de forma geral, o tempo médio de resposta ao usuário é de fundamental importância, pois a demora no atendimento pode significar a vida ou a morte de uma pessoa. Assim, é um grande desafio oferecer um SAE de qualidade e resolutividade para a população.

Assim, para o desempenho dos SAE's é necessário um compromisso (*trade-off*) entre investimentos, custos operacionais e o nível de serviço oferecido aos usuários. Dessa maneira, é importante analisar estes sistemas considerando suas particularidades e seus recursos a fim de diminuir o tempo de resposta ao usuário. Nos últimos 50 anos, vem aumentando o

interesse de pesquisadores em estudos de sistemas emergenciais em serviços urbanos (SIMPSON & HANCOCK, 2009). Nesse contexto, a organização dos atendimentos emergenciais ganham maior relevância e causam forte impacto ao setor saúde. A resposta rápida a tal demanda é fundamental para minimizar possíveis sequelas decorrentes no quadro dos pacientes.

2. Método

O trabalho utilizou o método modelagem/simulação, aplicando o modelo hipercubo modificado por Souza *et. al.* (2013, 2014) para analisar o desempenho e cenários alternativos para o SAMU-Uberaba/MG. Os dados foram coletados a partir do controle dos chamados do próprio SAMU, é importante enfatizar que esta pesquisa foi aprovada pelo comitê de ética da Universidade Federal do Triângulo Mineiro com protocolo número 2379.

2.1. O SAMU-Uberaba/MG

O SAMU de Uberaba/MG conta com 1 veículo de suporte avançado (VSA), 2 veículos de suporte básicos (VSB) e um veículo de apoio aos VSB's (chamado Águia), que são despachados, dependendo da gravidade do chamado e da sua localização. Estes veículos estão centralizados em uma base de atendimento no município, situadas no distrito sanitário I. Os veículos diferem-se basicamente com relação aos equipamentos e a equipe enviada ao chamado. O VSA é constituído por uma equipe formada por um médico, um enfermeiro e um motorista, e os equipamentos são mais sofisticados a fim de que haja melhor atendimento e seja possível estabilizar o paciente até a sua chegada ao hospital. Os VSB's são constituídos por uma equipe formada por um auxiliar de enfermagem e um motorista, que são enviados preferencialmente para atender casos urgentes, mas também atendem emergências quando o VSA está ocupado. A Águia é um veículo que atende a chamados urgentes e é constituído apenas pelo motorista.

O SAMU-Uberaba/MG não divide a cidade em regiões, assim para fins de modelagem, dividimos a cidade em três regiões: Distrito Sanitário I, Distrito Sanitário II, Distrito Sanitário III (Figura 1), as ambulâncias estão em uma base no Distrito Sanitário I. O SAMU-Uberaba/MG atende mais de uma classe de chamados emergenciais de usuários, as urgências são divididas em duas classes: moderada (chamados da classe *b*), como fraturas expostas, bronquites, quadros pneumônicos, choques cardiogênicos, entre outros; e leve (chamados da classe *c*), situações em que o paciente apresenta um quadro menos preocupante como, lombalgias, febres, dores de cabeça, entre outros. Para um chamado caracterizar uma emergência (chamados da classe *a*), é necessário que haja risco de vida ao paciente.

2.2. O modelo hipercubo

Trata-se de uma pesquisa de avaliação e análise de cenários alternativos do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) no município de Uberaba/MG, por meio da aplicação do modelo hipercubo. O modelo hipercubo é um modelo analítico que representa cada servidor individualmente, considerando políticas de despacho complicadas do sistema. A solução do modelo é dada partindo-se da construção de um conjunto de equações de equilíbrio (*steady state*) e os resultados baseiam-se nos valores das probabilidades de estado de equilíbrio do sistema, possibilitando o cálculo de diversas medidas de desempenho, tais como: cargas de trabalho dos servidores, tempo médio de resposta do sistema ou de cada servidor, entre outras. O modelo baseia-se na divisão da região atendida pelo sistema em átomos geográficos (a área é dividida em regiões de demanda), cada átomo é considerado uma fonte de chamados pontual e independente das demais e o atendimento a cada átomo é realizado por servidores que estão distribuídos na região. A localização dos servidores deve ser conhecida ou estimada por meio de técnicas de probabilidade geométrica. Se um servidor estiver ocupado, outros servidores poderão atender ao chamado, mesmo que estejam fora de

sua região preferencial do chamado, prevalecendo a cooperação entre os servidores (SOUZA *et. al.*, 2013).

A disponibilidade dos servidores é representada por meio do espaço de estados dos servidores, um estado particular do sistema sem fila é dado pela lista dos servidores que estão livres ou ocupados. Considere um sistema com apenas $m = 3$ servidores e sejam $\{000\}$, $\{001\}$, $\{010\}$, ..., $\{111\}$ os $2^3 = 8$ possíveis estados do sistema, em que os 0's e 1's indicam se cada um dos três servidores está livre ou ocupado, respectivamente. Por exemplo, o estado $\{011\}$ representa o estado em que o servidor 1 está livre e os servidores 2 e 3 estão ocupados (note que $\{011\}$ descreve o estado dos servidores da esquerda para a direita). Assim, o espaço de estados desse sistema com três servidores pode ser representado por um cubo; no caso de haverem mais de três servidores, temos um hipercubo (SOUZA *et. al.*, 2013). A Figura 1 ilustra o espaço de estados desse sistema com três servidores. O modelo hipercubo trata tanto sistemas em que não é permitida a formação de fila, como aqueles em que quando todos os servidores estão ocupados, os chamados que chegam esperam em uma fila por meio da qual os usuários são atendidos à medida em que os servidores tornam-se desocupados segundo a disciplina FCFS. Souza *et. al.* (SOUZA *et. al.*, 2014) expandem o modelo de forma a considerar prioridade na fila, neste trabalho utilizamos esta extensão para analisar o SAMU-Uberaba/MG. Os demais estados $S_4, S_5, S_6, \dots$, da Figura 2 representam os estados com 1, 2, 3, ..., usuários na fila de espera do sistema.

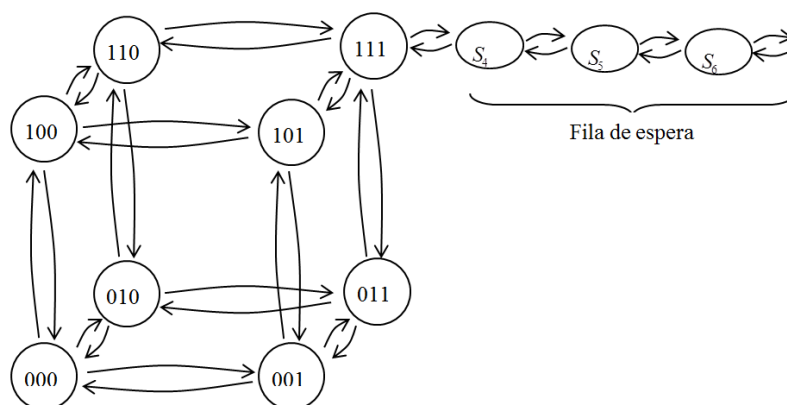


Figura 1 – Estados do sistema com três servidores.

No caso dos m servidores serem homogêneos, com mesma taxa de atendimento, o modelo hipercubo, que considera os m servidores distinguíveis, possui uma relação direta com o modelo clássico de fila $M/M/m$, que considera os m servidores indistinguíveis. Existem nove hipóteses principais que devem ser verificadas para a aplicação do modelo hipercubo (LARSON & ODONI, 2007): (1) A região deve ser dividida em N_A átomos; (2) As solicitações por serviço em cada átomo j ($j = 1, 2, \dots, N_A$) chegam independentemente e de acordo com uma distribuição de Poisson; (3) Os tempos de viagem de um átomo i para um átomo j ($i, j = 1, \dots, N_A$) devem ser conhecidos ou estimados; (4) O sistema opera com m servidores espacialmente distribuídos, homogêneos ou não, que podem se deslocar para atender qualquer um dos átomos; (5) Quando disponíveis, a localização dos servidores deve ser conhecida, ao menos probabilisticamente; (6) Apenas um servidor é despachado para atender cada chamado. Quando chamados estiverem esperando em fila, a escolha do chamado a ser atendido utiliza a disciplina FCFS; (7) Há uma lista de preferências de despacho de servidores para cada átomo; (8) O tempo total de atendimento de um chamado é exponencialmente distribuído e composto pela somatória dos seguintes tempos: tempo de preparo do servidor (*setup time*), tempo de viagem do servidor até o local da ocorrência, tempo de execução do serviço junto ao usuário (tempo em cena) e o tempo de viagem de

retorno à base; (9) Variações no tempo total de atendimento devido às variações no tempo de viagem são consideradas de segunda ordem, quando comparadas às variações dos tempos em cena e/ou tempo de preparação da equipe.

Diversas medidas de desempenho podem ser calculadas a partir das probabilidades do sistema estar em cada estado, obtidas pela solução das equações de equilíbrio do sistema. Essas medidas auxiliam na configuração e análise do sistema sob a hipótese de que o sistema esteja em equilíbrio. Alguns exemplos são: Carga de trabalho (*workload*): é a fração de tempo em que o servidor está ocupado e é calculada somando-se as probabilidades dos estados em que este servidor estiver ocupado; A frequência de despacho: indica a fração de despachos no sistema que é atendida pelo servidor i ($i = 1, 2, \dots, m$) no átomo j ($j = 1, 2, \dots, N_A$); O tempo médio de viagem no sistema; O tempo médio de viagem ao átomo j ; O tempo médio de viagem do servidor i .

Outras medidas de desempenho podem ser definidas e calculadas, como a fração de despachos do servidor i como *backup*, a fração de despachos de *backup* para o átomo j e a fração total de despachos *backup* no sistema (LARSON & ODoni, 2007).

3. Resultados

3.1 Descrição dos chamados no sistema

Para analisar possíveis variações da frequência dos chamados, foi realizado o levantamento do número e distribuição dos atendimentos ao longo de dezessete meses de operação do sistema SAMU-Uberaba/MG a fim de verificar se houve diferenças significativas no número de solicitações, por exemplo, em períodos de férias escolares. Ocorreram 18.579 chamados no período com média de 1093 chamados/mês, sendo os meses de maior número de ocorrências Abril/2011(1238 chamados), Maio/2011(1243 chamados), Março/2012 (1176 chamados) e Abril/2012 (1186 chamados) com desvio Padrão igual a 118 e coeficiente de variação de 0,11. Para verificar se o número médio de atendimentos foi estatisticamente igual em todos os meses analisados, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) com nível de significância $\alpha = 0,05$, verificou-se que há diferença entre as médias dos meses considerados. Os meses de abril, maio e junho de 2012 foram os meses que houveram maior número de chamados, escolhemos o mês de abril para análise pois este foi o mês com maior número de chamados com média de 41,3 atendimentos por dia.

Foi verificado se houve diferenças estatísticas significativas (por exemplo, finais de semana) em relação ao número de atendimentos em cada mês, não verificamos diferenças significativas em todos os meses deste ano. Dez dias de abril de 2012 foram escolhidos aleatoriamente para verificar diferenças com relação ao número de chamados ao longo do dia. Foi feita a análise estatística do número médio de atendimentos destes dez dias, e o resultado mostrou que não houve diferenças significativas do número médio de chamados, com $\alpha = 5\%$ de significância.

3.2 Análise do Período de pico

A análise dos períodos de pico foi feita com os dados obtidos a partir do controle dos chamados do SAMU-Uberaba/MG. A Tabela 1 mostra a taxa média de chegada (número de chamados, em minutos) para vários períodos do dia, durante os 10 dias estudados. Foram analisados períodos de diferentes tamanhos, e o período de pico foi identificado pela análise feita a partir da média e do desvio padrão da taxa de chegada. O período escolhido, das 17:00 às 21:00, foi o que apresentou maior taxa média de chegada (penúltima coluna da Tabela 1) e, em caso de empate, o menor desvio-padrão (última coluna) (TAKEDA, 2007 e SOUZA *et. al.*, 2013).

15 - 19	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,02	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,01255
---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------------	----------------

16 - 20	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,06	0,06	0,04	0,01115
17 - 21	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,05	0,04	0,01090
18 - 22	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,07	0,04	0,03	0,04	0,07	0,04	0,01392
19 - 23	0,03	0,03	0,03	0,06	0,02	0,07	0,03	0,03	0,04	0,07	0,04	0,01976

Tabela 1 – Análise do período de pico no SAMU-Uberaba/MG.

Foi feita a análise da adequação das hipóteses do modelo hipercubo para o SAMU-Uberaba/MG da seguinte forma:

i) Área dividida em átomos geográficos e processo de chegada

Há várias maneiras de se fazer a representação da área estudada em átomos geográficos, como divisão política, bairros, setores policiais, entre outros (TAKEDA *et. al.* 2007). Neste trabalho optou-se por utilizar a divisão pelos distritos sanitários, definido pela prefeitura da cidade: Distritos Sanitários I, Distritos Sanitários II e Distritos Sanitários III (Figura 2). Cada átomo geográfico foi dividido em três subátomos, um para cada classe de usuários (grave (a), moderada (b) e leve (c)), totalizando nove subátomos no sistema: Distritos Sanitários I a (1a), Distritos Sanitários I b (1b), Distritos Sanitários I c (1c), Distritos Sanitários II a (2a), Distritos Sanitários II b (2b), Distritos Sanitários II c (2c), Distritos Sanitários III a (3a), Distritos Sanitários III b (3b), Distritos Sanitários III c (3c). Conforme Larson e Odoni (2007) e Takeda *et al.* (2007), esta estratégia de dividir átomos em subátomos (chamada “layering”), é utilizada para diferenciar classes de usuários com a função de que o modelo hipercubo considere prioridade no despacho das ambulâncias para cada classe, quando o sistema não se encontra com todas as ambulâncias ocupadas. Conforme Souza *et. al.* (2013, 2014), esta abordagem torna-se uma aproximação em sistemas congestionados que permitam a formação de filas de espera, pois o modelo hipercubo original considera fila com disciplina de atendimento FCFS (i.e., não considera explicitamente prioridades na fila).

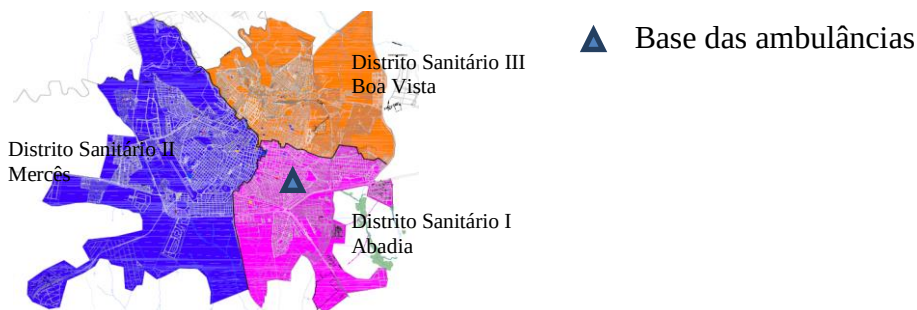


Figura 2 – Distritos Sanitários considerados como átomos geográficos em Uberaba/MG.

Para se verificar se o processo de chegada de chamadas pode ser considerado como um processo de Poisson, foram realizados testes de aderência utilizando-se o *software* BestFit®. Esses testes mostraram que, com um nível de significância de 5%, não se pode rejeitar a hipótese de que os intervalos entre chegadas sucessivas tenham distribuição exponencial nos três períodos do dia.

As distribuições dos chamados são exponenciais com p-valor 0.2937, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov do *software* BestFit®. A Tabela 2 mostra os números de chamados, as proporções de chegadas destes chamados e as taxas médias de chegada (chamados por hora) em cada subátomo do SAMU-Uberaba/MG.

Átomos	Quantidade de chamados	Proporção	Taxa de chegada
1a	6	0,0588	0,174270
1b	12	0,1176	0,348540
1c	12	0,1176	0,348540

2a	9	0,0882	0,261405
2b	15	0,1471	0,435676
2c	16	0,1569	0,464721
3a	6	0,0588	0,174270
3b	14	0,1373	0,406630
3c	12	0,1176	0,348540
Total	102	1,0000	2,962594

Tabela 2 – Quantidade de chamados, proporção e taxa de chegada em cada subátomo do SAMU-Uberaba/MG.

ii) Tempos de viagem e localização dos servidores

Os tempos de viagem dos servidores foram obtidos a partir dos dados coletados do próprio SAMU-Uberaba/MG. Conforme mencionado, o SAMU-Uberaba/MG é composto por uma frota de quatro ambulâncias distintas: uma águia, duas VSB's e um VSA. Estas ambulâncias estão centralizadas, localizadas no Distrito Sanitário I, podendo deslocar-se para qualquer átomo do sistema para realizar um atendimento. Por conveniência, a seguir o VSA é chamado de veículo 1, enquanto os VSB's são chamados de veículos 2 e 3 e a águia é o veículo 4.

iii) Política de despacho dos servidores

O SAMU-Uberaba/MG envia apenas uma equipe para atender um chamado, que é um dos requisitos para a aplicação do modelo hipercubo. O VSA pode atender apenas chamados de emergência, enquanto os VSB's podem atender a qualquer tipo de chamado. Nos experimentos realizados com o modelo hipercubo, simplificamos esta característica do sistema considerando que todos os servidores podem atender qualquer tipo de chamado, porém o VSA é sempre o último a ser escolhido em um chamado de urgência. As frequências de despacho do VSA para chamados do tipo *b* e *c* são: 0,1186, 0,0751. A política de despacho dos servidores depende da distribuição espacial e da localização dos servidores, implementada por meio de listas de preferência de despachos. A escolha do servidor preferencial no SAMU-Uberaba/MG é feita analisando a origem e a gravidade do chamado. Se o chamado for do tipo *a*, o VSA é imediatamente enviado ao local da ocorrência. Caso o VSA esteja ocupado, o VSB é enviado. Se o chamado for de qualquer um dos tipos *b* ou *c*, um VSB ou a águia é enviado (escolhido aleatoriamente). Caso todos os servidores da área do chamado estiverem ocupados, é escolhido aleatoriamente o primeiro servidor *backup* disponível da lista de despacho. Todos os servidores podem se deslocar para qualquer átomo, caso todos os servidores estiverem ocupados o chamado entra em fila e fica aguardando por um servidor disponível (BURWELL *et. al.*, 1993).

iv) Tempos de atendimento dos servidores

Os tempos de serviço foram obtidos a partir do intervalo de tempo entre a saída e retorno à base, esses valores estão disponíveis nas fichas de regulação médica. Os tempos de atendimento incluem o tempo de viagem até o local da ocorrência, o tempo em cena e o tempo de viagem de retorno à base. Para verificar a hipótese do modelo hipercubo de que os tempos de atendimento sejam exponencialmente distribuídos, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov do *software* BestFit. Esta hipótese foi rejeitada com $\alpha = 5\%$. Desta maneira, a utilização de tempos de atendimento com distribuições exponenciais no modelo hipercubo é uma simplificação que pode comprometer os resultados da análise, que é estudado na seção 5.1. Para que o modelo hipercubo possa ser aplicado, os tempos médios de viagem devem ser suficientemente pequenos em relação aos tempos médios de serviço para cada ambulância, as variações nos tempos de serviço em relação às variações nos tempos de viagem devem ser consideradas como sendo de segunda ordem, se comparadas com as variações dos tempos de atendimento ⁽⁹⁾. A Tabela 3 mostra o tempo médio de serviço, o

tempo médio de viagem e a relação entre o tempo médio de serviço e o tempo médio de viagem para cada servidor. Pode-se notar que os tempos médios de viagem são relativamente pequenos com relação aos tempos médios de serviço.

Ambulância	Tempo médio de Serviço (min.)	Desvio Padrão (min.)	Taxa de serviço (chamados/hora)	Tempo médio de viagem (min.)	Desvio Padrão (min.)	Relação Tempo de viagem/Tempo de serviço
1	50,2	19,9	1,1952	7,4	6,5	0,1474
2	51,7	25,3	1,1605	11,1	8,5	0,2147
3	51,7	25,3	1,1605	11,1	8,5	0,2147
4	44,4	9,7	1,3514	7,4	3,2	0,1667
Total	49,5	20,1	1,2169	9,3	6,7	0,1859

Tabela 3 – Tempo médio de serviço, de viagem e relação entre tempo de viagem e serviço para cada servidor.

3.4. Aplicação do modelo hipercubo

O modelo hipercubo envolve a solução de um sistema linear de 2^n (n é o número de servidores), as variáveis são as probabilidades de equilíbrio para cada estado do sistema. O modelo hipercubo implementado para este trabalho é o mesmo que em Souza *et. al.* (2012), que utilizou a estratégia de “layering” que incorpora prioridade nos estados do hipercubo e para chamados em fila. A partir das probabilidades de equilíbrio obtidas da solução deste sistema linear é possível estimar medidas de desempenho do sistema (LARSON & ODONI, 2007).

3.4.1 Resultados para o SAMU-Uberaba/MG

A Figura 3 mostra a localização das ambulâncias na base do SAMU-Uberaba/MG e a Tabela 4 mostra o comportamento das cargas de trabalho (*workloads*) de todas as ambulâncias. Os dados que se apresentara incompletos ou inconsistentes (como, por exemplo, tempos de viagem excessivamente pequenos ou grandes - *outliers*) do controle dos chamados ou do controle de tráfego foram eliminados da amostra, de forma que a comparação dos *workloads* do modelo e da amostra não pôde ser realizada sem prejuízo da análise.

Ambulância	Workload
1	0,54
2	0,63
3	0,63
4	0,61
VSA	0,54
VSB	0,63
Águia	0,61

Tabela 4 – *Workload* das ambulâncias do SAMU-Uberaba/MG.

A probabilidade de encontrar o sistema vazio, a probabilidade de todos os servidores estarem ocupados e a probabilidade de fila no sistema foram calculadas e os valores foram de 0.0809, 0.1185 e 0.1687, respectivamente. Os tempos médios de viagem para cada ambulância foram calculados a partir do modelo e comparados com a amostra (Tabela 5), pode-se verificar que o maior desvio encontrado é pequeno, 0.19 minutos.

Ambulância	Modelo	Amostra	Desvio
1	8,2	8,1	0,09
2	8,2	8,4	-0,19
3	8,2	8,4	-0,19
4	8,6	8,4	0,19
Total	8,3	8,3	-0,02

Tabela 5 – Comparação dos tempos médios de viagem para cada ambulância obtidos pelo modelo hipercubo com a amostra dos chamados do SAMU-Uberaba/MG.

A Tabela 6 mostra os resultados dos tempos médios de viagem para cada subátomo, obtidos pelo modelo e pela amostra. Em geral os desvios do modelo em relação a amostra são relativamente baixos, tipicamente menores que 1.3 minutos.

Subátomos	Modelo	Amostra	Desvio
1a	7,3	6,5	0,78
1b	7,3	7,2	0,11
1c	7,3	7,7	-0,39
2a	6,9	5,2	1,70
2b	6,9	7,2	-0,32
2c	6,9	7,0	-0,10
3a	11,0	9,7	1,30
3b	11,0	10,6	0,34
3c	11,0	9,5	1,47
Sistema	8,3	8,2	0,10

Tabela 6 – Comparação dos tempos médios de viagem para cada subátomo obtidos pelo modelo hipercubo com a amostra dos chamados do SAMU-Uberaba/MG.

A Tabela 7 mostra os resultados dos tempos médios de espera na fila para cada classe de usuários, obtidos pelo modelo e pela amostra. Os desvios do modelo em relação a amostra são relativamente baixos, menores que 0.47 minutos.

Tempo médio de espera na fila	Modelo	Amostra	Desvio
a	4,3	3,8	0,54
b	7,8	8,3	-0,47
c	12,5	12,8	-0,28
Sistema	7,3	7,4	-0,11

Tabela 7 – Comparação dos tempos médios de espera na fila para cada classe de usuários obtidos pelo modelo hipercubo com a amostra dos chamados do SAMU-Uberaba/MG.

3.4.2 Cenários Alternativos

Foram realizados quatro cenários alternativos para verificar o comportamento do sistema com relação às modificações de localização e quantidade de ambulâncias. No Cenário 1 considerou: o VSA, a águia e um VSB no átomo 1 e a possibilidade de um VSB ser localizado no átomo 2. O Cenário 2 analisa: o VSA, a águia e um VSB no átomo 1 e a possibilidade de um VSB ser localizado no átomo 3. O Cenário 3 analisa: o VSA e a águia no átomo 1 e a possibilidade de um VSB ser localizado no átomo 2 e um VSB localizado no átomo 3. Nestes cenários, foi mantido o VSA e a águia no átomo 1. No cenário 4 foi analisado o aumento de uma ambulância VSB no sistema, foi considerado o Cenário 3 com um VSB a mais no átomo 1. A Tabela 8 mostra o *workload* de cada ambulância em cada um dos cenários analisados, pode-se notar variação apenas no cenário 4, com o aumento de um VSB no sistema.

Ambulância	Modelo	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
1	0,54	0,54	0,54	0,54	0,33
2	0,63	0,63	0,63	0,63	0,33
3	0,63	0,63	0,63	0,63	0,32
4	0,61	0,61	0,61	0,61	0,43
5	----	----	----	----	0,43
VSA	0,54	0,54	0,54	0,54	0,33
VS	0,63	0,63	0,63	0,63	0,33

Água	0,61	0,61	0,61	0,61	0,43
------	------	------	------	------	------

Tabela 8 – Comparação do *workload* do cenário atual e dos cenários alternativos do SAMU-Uberaba/MG.

A Tabela 9 mostra o tempo médio de viagem para cada ambulância no cenário atual e nos cenários considerados. Pode-se notar que não há grandes diferenças com a mudança da localização de ambulâncias e o cenário 4.

Ambulância	Modelo	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
1	8,2	8,2	8,2	8,2	8,4
2	8,2	8,2	8,1	8,3	9,1
3	8,2	7,2	7,9	7,2	7,0
4	8,5	8,2	8,6	8,6	7,7
5	----	----	----	----	8,0
Total	8,3	7,9	8,2	8,1	8,0

Tabela 9 – Comparação do tempo médio de viagem para cada ambulância do cenário atual e dos cenários alternativos do SAMU-Uberaba/MG.

A Tabela 10 mostra o tempo médio de viagem para cada subátomo no sistema para o cenário atual e os cenários considerados. Pode-se notar que com a descentralização das ambulâncias o tempo médio de viagem no átomo 3 diminui consideravelmente.

Átomos	Modelo	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
1a	7,3	7,3	7,5	7,8	8,5
1b	7,3	7,3	7,7	8,6	9,1
1c	7,3	7,3	8,7	8,3	9,1
2a	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
2b	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
2c	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
3a	11,0	10,8	10,8	9,8	10,0
3b	11,0	9,6	9,6	8,3	7,5
3c	11,0	10,5	10,5	9,2	9,2
Sistema	8,3	7,9	8,2	8,0	8,1

Tabela 10 – Comparação do tempo médio de viagem para cada subátomo do cenário atual e dos cenários alternativos do SAMU-Uberaba/MG.

A Tabela 11 mostra o tempo médio de tempo médio de espera na fila para o cenário atual e os cenários alternativos. Pode-se notar que com a descentralização das ambulâncias não há variação no tempo médio de espera na fila, enquanto que com o aumento de uma ambulância o tempo médio de espera na fila diminui consideravelmente.

Tempo médio de espera na fila	Modelo	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
A	4,3	4,3	4,3	4,3	0,4
b	7,8	7,8	7,8	7,8	0,5
c	12,5	12,5	12,5	12,5	0,7
Sistema	7,3	7,2	7,2	7,2	0,5

Tabela 11 – Comparação do tempo médio de espera na fila para cada classe de usuários do cenário atual e dos cenários alternativos do SAMU-Uberaba/MG.

A partir das análises das medidas de desempenho do sistema SAMU-RP, é possível determinar múltiplas alternativas de configuração de localização de ambulâncias, possibilitando a melhora do sistema tanto o desempenho do sistema do ponto de vista dos usuários (medidas externas), como o desempenho do ponto de vista das medidas internas da gerência do sistema.

4. Conclusões

Neste trabalho, avaliou-se o SAMU-Uberaba/MG utilizando o modelo hipercubo, foram

calculadas as medidas de desempenho e comparadas com a amostra. Além da configuração do sistema SAMU- Uberaba/MG, foram também estudados alguns cenários alternativos para se avaliar diferentes aspectos desse sistema. Na configuração estudada do SAMU-Uberaba/MG, o sistema opera com 4 ambulâncias centralizadas no Distrito Sanitário I, são 1 VSA e 2 VSB's e 1 Águia. Os resultados obtidos pelo modelo hipercubo com a análise dos cenários alternativos mostraram o quanto o SAMU-Uberaba/MG pode melhorar o desempenho em função das principais medidas de desempenho. Em especial o Cenário 3, mostra que a descentralização das ambulâncias diminui consideravelmente o tempo médio de viagem no Distrito Sanitário 3. O Cenário 4 mostra que com um VSB a mais no sistema, o tempo médio de espera na fila de todas as classes de usuários é diminuído consideravelmente.

O modelo hipercubo não indica a configuração ótima para o sistema, mas é uma ferramenta importante de gestão, pois possibilita a avaliação do sistema por meio das principais medidas de desempenho. Há também a possibilidade de análise de cenários alternativos do sistema, indicando o quanto as medidas de desempenho melhoram ou pioram com as modificações propostas. Nesta pesquisa, foi mostrado que com a descentralização das ambulâncias, há uma melhora significativa nos tempos médios de viagem das ambulâncias. Em especial, o cenário 3 indicou uma diminuição dos tempos de viagem para o Distrito Sanitário 3 de Uberaba. O Cenário 4 avaliou o desempenho do SAMU descentralizado e com o aumento de uma ambulância, pode-se mostrar que os tempos de espera na fila diminuem significativamente em todas as classes de usuários. Uma pesquisa interessante a partir deste estudo seria analisar cenários considerando a regionalização do sistema. Outro estudo interessante seria a aplicabilidade do modelo hipercubo em outros serviços de atendimento móvel de urgência no Brasil.

Agradecimento: Os autores agradecem ao SAMU-Uberaba/MG pela colaboração com esta pesquisa e à FAPEMIG e à FAPESP pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- BRANDEAU M., LARSON R.C.** (1986) Extending and applying the hypercube queueing model to deploy ambulances in Boston. In: SWERSEY A.J, INGNALL E.J.(eds). *Delivery of Urban Services. TIMS Studies in the Management Science* 22, Elsevier, 121-153.
- BRASIL.** Ministério das cidades. Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito. **Brasília. DF**, 2008. Disponível em [HTTP://www2.cidades.gov.br/renaest/inicio](http://www2.cidades.gov.br/renaest/inicio). Acesso em 17 nov 2009.
- BURWELL, T.H. JARVIS, J.P. McKNEW, M.A.** Modeling co-located servers and dispatch ties in the hypercube model. *Computers & Operations Research* 20(2), 113-119, 1993.
- CAMARGO, F. C.** Evolução espaço-temporal dos óbitos por causas violentas e seu impacto em Minas Gerais. 88f. [dissertação] Mestrado em Atenção à Saúde. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Uberaba-MG, 2011.
- CHELST, K. R., BARLACH, Z.** Multiple unit dispatches in emergency services: models to estimate system performance. *Management Science* 27(12), p.1390-1409, 1981.
- CHIYOSHI, F. GALVÃO, R.D. MORABITO, R.** O uso do modelo hipercubo na solução de problemas de localização probabilísticos. *Gestão & Produção* 7(2), p.146-174, 2000.
- COSTA, D.M.** Uma metodologia iterativa para determinação de zonas de atendimento de serviços emergenciais. Universidade Federal de Santa Catarina. *Tese* (doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, 2004.
- FIGUEIREDO, A. P. S. LORENA, L. A. N.** Localização de ambulâncias: uma aplicação para a cidade de São José dos Campos. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, INPE, p.1965-1972, 2005.

- GONÇALVES, M. B. NOVAES, A. G. ALBINO, J. C. C.** Modelos para localização de serviços emergenciais em rodovias. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional 26, Florianópolis, SC, 1994. *Anais*. Florianópolis, p.591-596, 1994.
- GONÇALVES, M. B. NOVAES, A. G. SCHMITZ R.** Um modelo de otimização para localizar unidades de serviço emergenciais em rodovias. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes 9, São Carlos, SP, 1995. *Anais*, 1995.
- IANNONI, A. P.** Otimização da configuração e operação de sistemas médico emergenciais em rodovias utilizando o modelo hipercubo. Universidade Federal de São Carlos. *Tese* (doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, 2005.
- LARSON, R.C.** Hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services. *Computers and operations research* 1, 67-95, 1974.
- LARSON, R.C. ODONI, A.R.** *Urban Operations Research*. 2 ed. Dynamic Ideas, Belmont, Massachusetts, 2007.
- LOPES, S. L. B. FERNANDES, R. J.** Uma breve revisão do atendimento médico pré-hospitalar. Simpósio: *Trauma II*, Medicina, Ribeirão Preto 32, p. 381-387, 1999.
- LUQUE, L.** Análise da aglutinação de estados em cadeias de markov do modelo hipercubo de filas com servidores co-localizados. Dissertação de Mestrado. INPE – São José dos Campos, 2006.
- MENDONÇA, F. MORABITO, R.** Analysing emergency medical service ambulance deployment on a Brazilian highway using the hypercube model, *Journal of the Operational Research Society* 52, p.261-270, 2001.
- OLIVEIRA, L. K. (2003)** Uma aplicação do modelo hipercubo de filas para avaliação do centro de emergência da polícia militar de Santa Catarina. Florianópolis. *Dissertação* (Mestrado em Engenharia de Produção) Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Prefeitura de Uberaba.** Em: <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,11365>. Acesso em 2012.
- SACKS, S. R. GRIEF, S.** Orlando Police Department uses OR/MS methodology, new software to design patrol districts. *OR/MS Today*, Baltimore, p.30-32, 1994.
- SILVA, D. P. BARBOSA, M. H. CHAVAGLIA, S. R. R.** Utilização de equipamentos de segurança entre vítimas de acidentes no município de Uberaba-MG. *Revista Eletrônica de Enfermagem* 12(1), p. 83-88, 2010.
- SIMPSON, N.C. HANCOCK, P.G.** Fifty years of operational research and emergency response. *Journal of the Operational Research Society* 60, p. 126-139, 2009.
- SOUZA, R. M.** Análise da configuração de SAMU utilizando modelo hipercubo com prioridade na fila e múltiplas alternativas de localização de ambulâncias. Universidade Federal de São Carlos. *Tese* (doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, 2010.
- SOUZA, R. M. MORABITO, R. CHIYOSHI, F. Y. IANONNI, A. P. (2012b)** Extensão do modelo hipercubo para análise de sistemas de atendimento médico emergencial com prioridade na fila. Artigo aceito para publicação na Revista Produção, 2013.
- SOUZA, R. M. MORABITO, R. CHIYOSHI, F. Y. IANONNI, A. P.** Análise da configuração de SAMU utilizando múltiplas alternativas de localização de ambulâncias. Artigo aceito para publicação na revista *Gestão & Produção*, 2014.
- SWERSEY, A.J.** *Handbooks in OR/MS*. Amsterdam: Elsevier Science B.V., v. 6, p.151-200, 1994.
- TAKEDA, R.A. WIDMER, J.A. MORABITO, R.** Analysis of ambulance decentralization in an urban emergency medical service using the hypercube queueing model. *Computers & Operations Research* 34, p. 727-741, 2007.