

Resumo

Este trabalho trata de uma análise parcial do desempenho do SAMU-Bauru/SP, a modelagem matemática utiliza o modelo hipercubo de filas. O sistema SAMU-Bauru/SP atua regionalmente atendendo dezessete cidades da região, o estudo foi realizado utilizando dados são referentes aos anos de 2012 e 2013. Tal estudo se mostra de grande importância para a sociedade, objetivando fornecer um serviço de qualidade para a população considerando as limitações de recursos do sistema. Foram feitas análises estatísticas dos dados fornecidos obtendo as medidas de desempenho no período de pico do sistema, verificou-se que as cidades menores compunham individualmente sistemas isolados, como contam com apenas uma ambulância foram utilizados modelos de filas simples M/M/1 e M/G/1. A cidade de Bauru será alvo de fase posterior a este trabalho. Estudos das extensões do modelo hipercubo foram testadas em exemplos de menor escala, sendo possível explanar sobre suas particularidades e aderência à realidade.

Palavras-chaves: Teoria das Filas, Serviços de Atendimento Médico Emergencial, prioridade em fila, aleatoriedade no despacho

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 E FERNANDES, 1999).

O SAMU foca cinco grandes ações: organizar o atendimento de urgência nos prontos-atendimentos, unidades básicas de saúde e nas equipes do programa saúde da família; estruturar o atendimento pré-hospitalar móvel (SAMU 192); reorganizar as grandes urgências e os prontos-socorros em hospitais; criar a retaguarda hospitalar para os atendimentos nas urgências; reestruturar o atendimento pós-hospitalar (LOPES E FERNANDES, 1999).

Os Serviços de Atendimentos 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 SAEs em saúde caracterizam um grande desafio para todas as nações e somente com rigorosa organização é possível oferecer um serviço de boa qualidade (SOUZA, 2010).

Atualmente o SAMU está em processo de regionalização, com o objetivo de prestar de socorro de forma regionalizada. A meta da Secretaria de Estado de Saúde (SES) é criar núcleos nas cidades-pólo do estado, para que nenhum município fique sem assistência imediata a casos de emergência. Na regionalização do Samu está previsto o uso de helicópteros para transporte de vítimas de uma cidade a outra, além do uso de motos para agilizar o socorro.

O presente trabalho tem por objetivo, primeiramente, verificar, por meio de análises estatísticas de bancos de dados, as medidas de desempenho do sistema como *workloads*, tempos de viagem, tempo em fila, tempo de resposta, tempo de serviço, e se as hipóteses para o uso do modelo hipercubo para filas espacialmente distribuídas são aceitas para aplicação do modelo. Segundo, aplicar a modelagem matemática para o sistema, e buscar extensões do modelo hipercubo que consigam representar melhor as condições do sistema do SAMU-Bauru/SP.

O uso de teoria das filas se mostra bastante útil para estudos de SAEs. Para sistemas mais simples, modelos simples como M/M/1 e M/G/1 já conseguem trazer resultados satisfatórios quanto ao entendimento dos sistemas descritos em casos com apenas um servidor. O modelo hipercubo, proposto originalmente por Larson (1974), baseado na teoria de filas espacialmente distribuídas, tem se mostrado eficiente e preciso para analisar SAE's, como foi analisado, por exemplo, Burwell et al. (1993), e Larson e Odoni (2007), Gonçalves et al. (1995), Mendonça e Morabito (2001), Chiyoshi et al. (2000), Takeda et al. (2007), Iannoni (2005). 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 (LARSON e ODONI, 2007).

Este artigo está organizado da seguinte maneira: na seção 2 será apresentado o SAMU-Bauru/SP alvo do estudo, na seção 3 será mostrado o modelo hipercubo clássico proposto por Larson (1974), na seção 4 serão feitas considerações acerca dos resultados e futuros estudos a serem realizados.

2. SAMU-Bauru/SP

O SAMU do município de Bauru/SP. Em 2010 o Samu-Bauru/SP integrava 17 cidades da região numa parceria com prefeituras. A sede de atendimento deverá receber os chamados e distribuí-los de acordo com a gravidade dos casos e de cada região. O Serviço contava com sete novas bases, ligadas à central de Bauru. Eram aproximadamente 90 profissionais envolvidos,

dentre eles 35 condutores e 32 auxiliares, o serviço contava com 25 ambulâncias entre avançadas e básicas (Revista Emergência, 2010).

Foram coletados dados de 2012 e 2013 sendo que, para análise dos dados foi feita a separação dos meses de acordo com o número de chamados afim de se encontrar os meses de pico, a um nível de significância $\alpha=0,05$, utilizando Análise de Variância e Teste de Tukey realizados no software Minitab 16. Sendo o período de pico encontrado entre os meses de agosto e fevereiro, neste período foi sorteado o mês de setembro, além disso foram sorteados 10 dias deste mês para serem analisados.

O intervalo entre chamados ao longo das 24 horas não se encaixou em uma distribuição exponencial, sendo necessário encontrar um período de pico dentro dos dias, conforme mostra a Tabela 1 com os possíveis períodos de pico, as taxas médias de chegada ao longo dos 10 dias e a média deles e o desvio padrão (d-p).

Tabela 1 – Taxa média de chegada para possíveis períodos de pico (chegadas/minuto)

Período	DIA										média	d-p
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
13-18h	0,047	0,063	0,060	0,063	0,080	0,073	0,087	0,050	0,050	0,100	0,067	0,017
12-18h	0,044	0,069	0,053	0,064	0,078	0,069	0,083	0,053	0,050	0,092	0,066	0,016
13-19h	0,050	0,067	0,058	0,067	0,075	0,067	0,081	0,047	0,050	0,092	0,065	0,014
13-17h	0,042	0,071	0,067	0,063	0,096	0,075	0,079	0,050	0,042	0,092	0,068	0,019

O horário entre às 12 e 18h foi escolhido como pico, visto ter uma taxa alta e baixo desvio padrão. Os demais intervalos ao longo do dia mostraram taxas menores, ou seja, não podiam ser classificados como horário de pico. Dentro deste período, foi feita a análise dos intervalos entre chamados, a uma significância de 5%, não rejeitou a distribuição exponencial, como mostra da Figura 1, resultado da análise realizada no software Minitab®, atendendo assim uma das hipóteses para aplicação do modelo hipercubo.

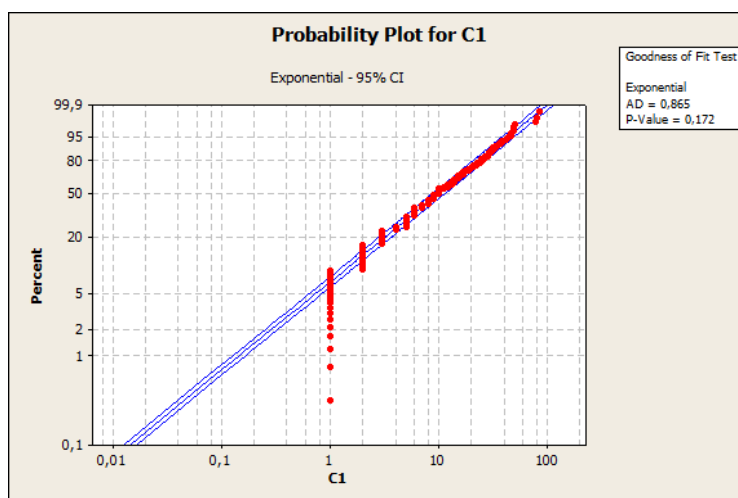


Figura 1 – Teste de aderência dos intervalos entre chamados a uma distribuição exponencial

2.1 Regionalização

Em 2010 o Samu-Bauru/SP integrava 17 cidades da região numa parceria com prefeituras. A sede de atendimento deverá receber os chamados e distribuí-los de acordo com a gravidade dos casos e de cada região. O Serviço contava com sete novas bases, ligadas à central de Bauru. Eram aproximadamente 90 profissionais envolvidos, dentre eles 35 condutores e 32 auxiliares, o serviço contava com 25 ambulâncias entre avançadas e básicas (Revista Emergência, 2010). O mapa e a localização das bases está exposta na Figura 2, juntamente com o número de ambulâncias em cada local.

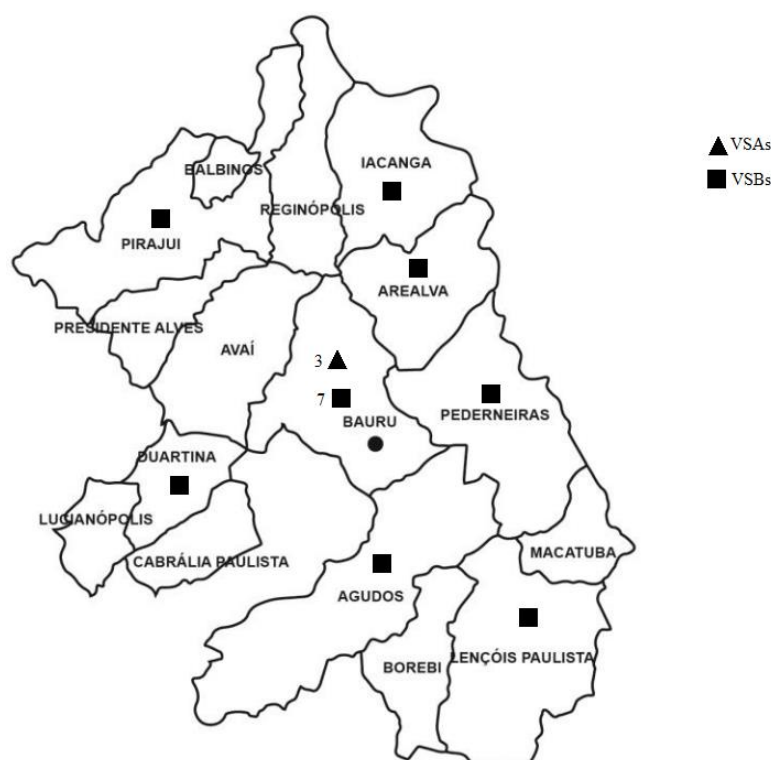


Figura 2 – Mapa das cidades atendidas pelo sistema SAMU-Bauru/SP

Vale notar, que embora Bauru possua 3 unidades de serviços avançado (VSAs), uma delas é disponibilizada exclusivamente para atender chamados graves de outras cidades. Os chamados são classificados conforme a gravidade da ocorrência e são dadas cores para cada classe: azul, verde, amarelo e vermelho (dos mais simples aos mais graves).

Utilizando o software Excel®, os chamados foram separados de acordo com sua localização de origem, a cidade de Bauru teve suas subdivisões (átomos geográficos) desconsideradas, visto que a intenção era averiguar a comunicação entre as cidades do sistema, no período de pico.

Foram calculadas medidas de desempenho como: tempo médio de preparação, tempo médio de resposta, tempo médio serviço, tempo médio de viagem, assim como em Takeda (2004) (para cada ambulância e entre cada átomo) . Os tempos médios de viagem têm influência

sobre uma das hipóteses do modelo hipercubo (apresentada na seção seguinte), e como o sistema pode ter viagens entre municípios, ele pode não ser considerado como de segunda ordem, sendo necessário realizar uma calibração do tempo médio de atendimento, conforme apresentada em Larson (1974).

Observou-se que não há a necessidade da aplicação do modelo hipercubo para analisar as cidades ao entorno de Bauru, visto que, embora haja uma ambulância disponibilizada para realizar a movimentação entre os municípios (átomos), não foi observada tal movimentação no sistema. Sendo assim, as cidades podem ser consideradas sistemas individuais e isolados. Mesmo com as cidades contendo poucos chamados foi realizado o teste de aderência, utilizando o software Minitab®, com os resultados contidos na Figura 3. Optou-se pela utilização de modelos de filas simples M/M/1 e M/G/1, conforme presente em Arenales (2006) e utilizando os conceitos da Lei de Little (1961). A taxa de chegada de chamados das cidades foi calculada dividindo o número total de chamados pelo tempo total analisado.

Goodness of Fit Test Exponential AD = 0,320 P-Value = 0,765	Goodness of Fit Test Exponential AD = 0,268 P-Value = 0,813	Goodness of Fit Test Exponential AD = 1,076 P-Value = 0,041	Goodness of Fit Test Exponential AD = 0,257 P-Value = 0,811	Goodness of Fit Test Exponential AD = 0,711 P-Value = 0,252	Goodness of Fit Test Exponential AD = 0,219 P-Value = 0,924	Goodness of Fit Test Exponential AD = 0,324 P-Value = 0,736
Agudos	Arealva	Duartina	Iacanga	Lençóis Paulista	Pederneiras	Pirajuí

Figura 3 – Testes de aderência para os chamados das cidades com base

As taxas de entrega ou de serviço (μ) foram calculadas invertendo o tempo médio em serviço $E(S)$, e também calculando a variância do tempo de serviço $V(S)$. Os dados foram computados na Tabela 2, incluindo as taxas de chegada, de serviço, tempo médio de serviço e variância do tempo de serviço e probabilidades de estado, sendo que todas as taxas são horárias, e não por minuto.

Tabela 2 – Dados dos sistemas individuais e probabilidades de estado

Cidade	λ	μ	ρ	$E(S)$	$V(S)$	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Agudos	0,217	2,113	0,103	0,473	0,597	0,8974	0,0920	0,0094	0,0010	0,0001	0,0000
Arealva	0,083	1,091	0,076	0,917	13,708	0,9236	0,0706	0,0054	0,0004	0,0000	0,0000
Duartina	0,050	1,500	0,033	0,667	10,317	0,9667	0,0322	0,0011	0,0000	0,0000	0,0000
Iacanga	0,067	1,727	0,039	0,579	2,771	0,9614	0,0371	0,0014	0,0001	0,0000	0,0000
Lençóis Paulista	0,317	1,810	0,175	0,553	2,232	0,8250	0,1444	0,0253	0,0044	0,0008	0,0002
Pederneiras	0,267	1,330	0,201	0,752	11,464	0,7994	0,1603	0,0322	0,0064	0,0013	0,0003
Pirajuí	0,133	1,469	0,091	0,681	1,725	0,9092	0,0826	0,0075	0,0007	0,0001	0,0000

O sistema foi limitado em 5 estados, visto que a máxima probabilidade com tal número de usuários no sistema é de 0,0003, podendo ser considerada baixa. Por se tratarem de sistemas com apenas um servidor, a *workload* é exatamente igual ao ρ .

A seguir foram aplicados os modelos M/M/1 e M/G/1 e seus resultados foram comparados entre si e com as medidas retiradas diretamente dos dados do SAMU-Bauru/SP, conforme presente na Tabela 3, com as medidas de número médio de chamados no sistema (sem fila e em fila) e tempo médio no sistema (total e em fila), lembrando que os dados são em horas.

Como os únicos dados conseguidos diretamente da amostra foram os tempos de espera em fila e total no sistema. Nota-se que, embora a amostra fosse pequena para utilizar o modelo exponencial, foi ele que teve os menores desvios em relação à amostra, o que mostra uma tendência dos sistemas individuais a se comportarem exponencialmente.

Tabela 3 – Comparação dos resultados dos modelos M/M/1 e M/G/1 e SAMU

Cidade	M/M/1					M/G/1				
	E(Ls)	E(Lq)	E(L)	E(Wq)	E(W)	E(Ls)	E(Lq)	E(L)	E(Wq)	E(W)
Agudos	0,103	0,012	0,114	0,054	0,527	0,103	0,021	0,124	0,099	0,572
Arealva	0,076	0,006	0,083	0,076	0,992	0,076	0,055	0,131	0,656	1,573
Duartina	0,033	0,001	0,034	0,023	0,690	0,033	0,014	0,047	0,278	0,945
Iacanga	0,039	0,002	0,040	0,023	0,602	0,039	0,007	0,046	0,108	0,687
Lençóis Paulista	0,175	0,037	0,212	0,117	0,670	0,175	0,154	0,329	0,487	1,040
Pederneiras	0,201	0,050	0,251	0,189	0,941	0,201	0,535	0,736	2,006	2,758
Pirajuí	0,091	0,009	0,100	0,068	0,749	0,091	0,021	0,112	0,160	0,841

Cidade	Amostra		Comparação dos modelos referente à amostra			
	E(Wq)	E(W)	E(Wq)		E(W)	
			M/M/1	M/G/1	M/M/1	M/G/1
Agudos	0,081	0,560	33,0%	-22,7%	5,8%	-2,2%
Arealva	0,070	0,987	-8,3%	-837,6%	-0,6%	-59,4%
Duartina	0,133	0,800	82,8%	-108,7%	13,8%	-18,1%
Iacanga	0,129	0,708	82,0%	16,6%	15,0%	3,0%
Lençóis Paulista	0,080	0,632	-46,9%	-510,1%	-5,9%	-64,4%
Pederneiras	0,452	1,204	58,3%	-343,8%	21,9%	-129,1%
Pirajuí	0,106	0,790	36,0%	-51,0%	5,3%	-6,4%
Média dos desvios			33,8%	-265,3%	7,9%	-39,5%
Desvio Padrão			0,47612	3,1685	0,09609	0,479369

Vale ressaltar que a cidade de Bauru, sede do sistema não foi analisada por meio dessa ferramenta, porque se trata de um sistema mais complexo. Possui nove ambulâncias, sendo duas voltadas para atendimentos avançados e sete voltadas para atendimentos básicos. Além disso, por conta a existência de várias regiões de onde surgem os chamados, é preciso utilizar modelos de filas espacialmente distribuídas, como o modelo hipercubo, por exemplo. Por conta disso, o modelo será apresentado a seguir afim de explicar sobre sua construção, suas particularidades e adaptações necessárias à aplicação para o estudo de caso SAMU-Bauru/SP.

3. Modelo hipercubo

O modelo hipercubo foi apresentado primeiramente por Larson (1974), trata-se de um modelo analítico que expande o espaço de estados de um sistema de fila $M/M/m$ a fim de representar cada servidor individualmente, desta maneira podendo considerar políticas de despacho mais complicadas no sistema. A solução do modelo é dada partindo-se da construção de um conjunto de equações de equilíbrio (*steady state*) para o sistema. Os resultados baseiam-se nos valores das probabilidades de estado de equilíbrio do sistema, possibilitando o cálculo de diversas medidas de desempenho, tais como: *workload* dos servidores, tempo médio de resposta do sistema ou de cada servidor, frequência de atendimento de cada servidor em cada região, entre outras. (SOUZA, 2012)

O modelo baseia-se na divisão da região atendida pelo sistema em átomos geográficos (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, 2012)

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 (0) ou ocupados (1), ou seja, duas possibilidades por servidor. Dessa maneira, pode-se concluir que para um sistema com N servidores, o número de estados possíveis será 2^N , o que torna esse tipo de sistema particularmente difícil de realizar aplicações computacionais para um número elevado de servidores, visto o grande número de estados possíveis. 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, 2012).

Segundo Larson e Odoni (2007), existem nove hipóteses críticas que devem ser verificadas para a aplicação do modelo hipercubo clássico, como: divisão da área em átomos, independência entre os chamados de cada átomo, conhecer os tempos de viagem entre átomos, ter servidores com localização conhecida e que podem se deslocar entre átomos seguindo uma lista de preferência de despacho, entre outras. Contudo, essas hipóteses normalmente não são obedecidas nos sistemas reais, sendo necessário realizar adaptações à sua forma clássica, surgindo, assim, suas extensões.

A seguir, serão apresentados exemplos simples do modelo hipercubo e suas extensões, como prioridade em fila, aleatoriedade no despacho e *backup* parcial, cada um com alterações nas hipóteses apresentadas acima para que representem melhor o sistema descrito pelo modelo.

3.1 Exemplos

As várias extensões do modelo hipercubo clássico são melhorias ao modelo original que buscam aumentar a adequação do modelo com a realidade. Isso porque os sistemas normalmente não obedecem todas às 9 hipóteses mostradas, ou seja, elas precisam ser adaptadas, alguns exemplos são mostrados a seguir.

3.1.1 Hipercubo clássico

Na literatura existem vários exemplos de aplicação simples do modelo hipercubo original, assim como em Chiyoshi et. al (2000), Larson (1974), entre outros, que podem ser procurados para melhor entendimento do modelo original.

3.1.2 Hipercubo com prioridade em fila e aleatoriedade no despacho

Visto as diferentes urgências entre chamados em um SAE é importante criar uma variação do modelo hipercubo aonde os chamados recebam importâncias diferentes de acordo com sua gravidade, ou seja, dar prioridade à chamados emergenciais. Para tanto, pode-se utilizar a técnica de *layering*, assim como visto em Takeda (2007), Souza (2010 e 2012). A técnica consiste em separar um átomo em camadas, aonde cada camada tem uma prioridade diferente, mas possui a mesma localização, geograficamente falando. Além disso, é importante separar os chamados por tipo de urgência na fila, para que os mais urgentes sejam realmente atendidos primeiro, o que vai contra a disciplina FCFS do modelo original.

Outro ponto importante é que normalmente os SAEs não possuem uma matriz de despacho, sendo os servidores escolhidos conforme sua disponibilidade, assim como explicitado por Chiyoshi (2011). Para poder representar essa particularidade é preciso que quando um chamado seja recebido, todos os servidores tenham a mesma chance de serem escolhidos para envio.

Propõe-se para o exemplo um sistema composto por 3 átomos, sendo que existem dois tipos de chamados (a e b) de cada átomo, sendo a prioridade dos subátomos a maior que do os subátomos b . As taxas de chegada do sistema estão presentes na Tabela 4. Além disso, o sistema possui 3 servidores homogêneos, que podem ser enviados a quaisquer ocorrências independente

da prioridade e localização, sem haver preferência de despacho. Suas taxas de entrega de serviços também estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Taxas de chegada e de entrega (chamados/hora)

Taxa de chegada	Taxa de Entrega
$\lambda_{1a} = 0,1$	$\mu_1 = 1,5$
$\lambda_{1b} = 0,4$	
$\lambda_{2a} = 0,1$	$\mu_2 = 1,5$
$\lambda_{2b} = 0,4$	
$\lambda_{3a} = 0,2$	$\mu_3 = 1,5$
$\lambda_{3b} = 0,8$	
Totais	$\lambda = 2$ $\mu = 4,5$

A partir desses dados e sabendo-se que o sistema aceita até 3 pessoas em fila se pode construir os estados possíveis desse sistema. Posteriormente é possível construir as equações de equilíbrio para cada estado igualando as taxas de saída e de entrada e, com isso, encontrar, através de um sistema linear, encontrar as probabilidades de cada estado. Isso está presente na Tabela 5.

Tabela 5 – Conjunto de estados possíveis, suas probabilidades e equações de equilíbrio

Estados	Probabilidades	Saída	Entrada
000	$P_{000} = 0,2560$		$\lambda * P_{000} = \mu_1 * P_{001} + \mu_2 * P_{010} + \mu_3 * P_{100}$
001	$P_{001} = 0,1138$		$(\lambda + \mu_1) * P_{001} = \lambda/3 * P_{000} + \mu_2 * P_{011} + \mu_3 * P_{101}$
010	$P_{010} = 0,1138$		$(\lambda + \mu_2) * P_{010} = \lambda/3 * P_{000} + \mu_1 * P_{011} + \mu_3 * P_{110}$
100	$P_{100} = 0,1138$		$(\lambda + \mu_3) * P_{100} = \lambda/3 * P_{000} + \mu_1 * P_{101} + \mu_2 * P_{110}$
011	$P_{011} = 0,0759$		$(\lambda + \mu_1 + \mu_2) * P_{011} = \lambda/2 * (P_{001} + P_{010}) + \mu_3 * P_{111}$
101	$P_{101} = 0,0759$		$(\lambda + \mu_1 + \mu_3) * P_{101} = \lambda/2 * (P_{001} + P_{100}) + \mu_2 * P_{111}$
110	$P_{110} = 0,0759$		$(\lambda + \mu_2 + \mu_3) * P_{110} = \lambda/2 * (P_{010} + P_{100}) + \mu_1 * P_{111}$
111	$P_{111} = 0,1012$		$(\lambda + \mu) * P_{111} = \lambda * (P_{011} + P_{101} + P_{110}) + \mu * (P_a + P_b)$
a	$P_a = 0,0065$		$(\lambda + \mu) * P_a = \lambda_a * P_{111} + \mu * P_{aa}$
b	$P_b = 0,0384$		$(\lambda + \mu) * P_b = \lambda_b * P_{111} + \mu * (P_{ab} + P_{bb})$
aa	$P_{aa} = 0,0004$		$(\lambda + \mu) * P_{aa} = \lambda_a * P_a + \mu * P_{aaa}$
ab	$P_{ab} = 0,0043$		$(\lambda + \mu) * P_{ab} = \lambda_a * P_b + \lambda_b * P_a + \mu * P_{aab}$
bb	$P_{bb} = 0,0152$		$(\lambda + \mu) * P_{bb} = \lambda_b * P_b + \mu * (P_{abb} + P_{bbb})$
aaa	$P_{aaa} = 0,0000$		$\mu * P_{aaa} = \lambda_a * P_{aa}$
aab	$P_{aab} = 0,0005$		$\mu * P_{aab} = \lambda_a * P_{ab} + \lambda_b * P_{aa}$
abb	$P_{abb} = 0,0029$		$\mu * P_{abb} = \lambda_a * P_{bb} + \lambda_b * P_{ab}$
bbb	$P_{bbb} = 0,0054$		$\mu * P_{bbb} = \lambda_b * P_{bb}$

Um importante ponto desse modelo é observar que para servidores homogêneos com aleatoriedade de despacho as probabilidades de estarem ocupados são iguais para todos, já que têm os mesmos tempos de serviço e a mesma chance de receberem um chamado.

Isso resolve a construção do modelo, contudo, vale lembrar que ele apresenta medidas de desempenho para avaliar criteriosamente a situação, contudo isto foge ao escopo desse trabalho que visa, por agora, explicar a construção e resolução dos modelos de exemplo.

3.1.3 Hipercubo com *backup* parcial e sem fila

A aleatoriedade e prioridade são muito importantes para a construção de modelos fidedignos à realidade. Contudo, ainda não englobam outra situação possível, onde nem todos ou nenhum servidor atende a todas áreas do sistema, por causa das distâncias, por exemplo. Além disso há casos aonde não se aceita a formação de filas, visto que normalmente as ocorrências são graves necessitando atendimento imediato. Esses dois aspectos podem ser observados em sistemas de rodovias, como mostrado por Iannoni (2005). Neste caso é preciso a criação de uma matriz de preferência de despacho (ao contrário de quando há aleatoriedade).

Tendo em vista estas particularidades, propõe-se um sistema com a mesma divisão de átomos e subátomos proposta no exemplo anterior e mantendo as taxas de chegada de chamados e de entrega de serviços. Todavia, é necessária a criação de uma matriz de preferência de despacho, mostrada na Tabela 6, e ressaltar a ausência de fila.

Tabela 6 – Matriz de preferência de despacho

Subátomos	Servidores		
	1	2	3
1a	1º	2º	-
1b	2º	1º	-
2a	3º	1º	2º
2b	2º	3º	1º
3a	2º	-	1º
3b	1º	-	2º

A matriz mostra, por exemplo, que o servidor 2 não atende ao átomo 3, aonde o primeiro servidor a ser enviado é o 3 e o segundo o 1.

A construção das equações de equilíbrio se dão de forma semelhante ao modo original. É importante deixar claro, que mesmo quando o sistema não está saturado pode haver perdas de chamados, por exemplo, caso haja uma ocorrência no átomo 1 sendo que os servidores 1 e 2 estão ocupados. Isso gera as mudanças referentes ao método tradicional. As equações de equilíbrio podem ser observadas na Tabela 7, juntamente com a resposta ao sistema.

Tabela 7 – Conjunto de estados possíveis, suas probabilidades e equações de equilíbrio

Estados	Probabilidades	Saída	Entrada
000	$P_{000} = 0,2869$		$\lambda * P_{000} = \mu_1 * P_{001} + \mu_2 * P_{010} + \mu_3 * P_{100}$
001	$P_{001} = 0,1623$	$(\lambda + \mu_1) * P_{001} = (\lambda_{1a} + \lambda_{3b}) * P_{000} + \mu_2 * P_{011} + \mu_3 * P_{101}$	
010	$P_{010} = 0,0934$	$(\lambda + \mu_2) * P_{010} = (\lambda_{1b} + \lambda_{2a}) * P_{000} + \mu_1 * P_{011} + \mu_3 * P_{110}$	
100	$P_{100} = 0,1268$	$(\lambda + \mu_3) * P_{100} = (\lambda_{2b} + \lambda_{3a}) * P_{000} + \mu_1 * P_{101} + \mu_2 * P_{110}$	
011	$P_{011} = 0,0738$	$(\lambda_2 + \lambda_3 + \mu_1 + \mu_2) * P_{011} = (\lambda_1 + \lambda_{2a}) * P_{001} + (\lambda_1 + \lambda_{3b}) * P_{010} + \mu_3 * P_{111}$	
101	$P_{101} = 0,1327$	$(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_3) * P_{101} = (\lambda_{2b} + \lambda_3) * P_{001} + (\lambda_{1a} + \lambda_{2b} + \lambda_3) * P_{100} + \mu_2 * P_{111}$	
110	$P_{110} = 0,0484$	$(\lambda + \mu_2 + \mu_3) * P_{110} = (\lambda_2 + \lambda_{3a}) * P_{010} + (\lambda_{1b} + \lambda_{2a}) * P_{100} + \mu_1 * P_{111}$	
111	$P_{111} = 0,0756$		$\mu * P_{111} = (\lambda_2 + \lambda_3) * P_{011} + (\lambda_1 + \lambda_2) * P_{101} + \lambda * P_{110}$

Nota-se que mesmo se tratando de um sistema com as mesmas taxas de chegada e de entrega de serviço o sistema obteve resultados bastante diferentes do anterior, como a probabilidade de perda de chamados, as cargas de trabalho (*workloads*) não estão mais bem distribuídas e probabilidade do sistema estar vazio tenha ficado maior.

4. Considerações Finais

A maioria dos estudos utilizando teoria das filas e especialmente o modelo hipercubo abordam sistemas de cidades individualmente, como em Souza (2010, 2012), Takeda (2007), entre outros, assim, esse trabalho se diferencia, porque trata de um sistema aonde ocorre regionalização dos chamados, embora tenha sido constatado que as cidades atuam com sistemas individuais. Para o estudo e levantamento do desempenho do sistema é válido, até para sistemas simples como o mostrado na seção 2 aonde foi possível utilizar modelos M/M/1 e M/G/1, porém pode ser fator limitante quando se busca propostas de melhoria, ainda mais quando a integração de sistemas é algo desejável. No caso do sistema atual do SAMU-Bauru/SP as cidades vizinhas não estão conectadas à sede, o que pode ser um problema especialmente quando se fala em ocorrências de maior gravidade onde é necessária a remoção da vítima e envio imediato a um hospital. Por isso, é que se propõe para estudo futuro análise da aquisição de um helicóptero para auxiliar nesses atendimentos fora de Bauru.

Para poder construir um modelo que consiga representar a realidade dessa situação se mostra altamente importante a adoção das extensões mostradas. Todavia algumas das abordagens possuem conflitos entre si, como a aleatoriedade no despacho e o *backup* parcial, ou seja, logo se vê a necessidade de adaptação dessas partes afim de conseguir um modelo ideal para aplicação ao sistema e assim poder analisar as melhorias propostas.

5. Bibliografia

BURWELL, T.H. JARVIS, J.P. McKNEW, M.A. Modeling co-located servers and dispatch times in the hypercube model. *Computers & Operations Research* 20(2), 113-119, 1993.

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 10 jul 2012.

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.

CHIYOSHI F., IANNONI A. P., MORABITO R.. (2011) A tutorial on hypercube queueing models and some practical applications in emergency service systems. *Pesquisa Operacional* 31(2): 271-299

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 queueing 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.

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.

Revista Emergência. Data: 22/04/2010. Em : http://www.revistaemergencia.com.br/site/content/noticias/noticia_detalhe.php?id=AJy4Jy. Acesso em 2012.

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., CHIYOSHI F., IANNONI A. P. Análise da configuração de SAMU utilizando múltiplas alternativas de localização de ambulâncias (2012)

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.