

ANÁLISE DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO EMERGENCIAL MÓVEL ATRAVÉS DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO FORNECIDAS PELO MODELO HIPERCUBO DE FILAS UTILIZANDO CENÁRIOS ALTERNATIVOS NA DETERMINAÇÃO DE DIVISÕES GEOGRÁFICAS DE ATENDIMENTO

Alessandra Memari Pavanelli

Universidade Federal Paraná (UFPR)
CP19081 – Curitiba,PR; CEP 81531-990
alessandramemari@gmail.com

Deise Maria Bertholdi Costa

Universidade Federal Paraná (UFPR)
Departamento de Expressão Gráfica
CP19081 – Curitiba,PR; CEP 81531-990
deise@ufpr.br

Paulo Henrique Siqueira

Universidade Federal Paraná (UFPR)
Departamento de Expressão Gráfica
CP19081 – Curitiba,PR; CEP 81531-990
paulohs@ufpr.br

Genival Pavanelli

Universidade Federal Paraná (UFPR)
CP19081 – Curitiba,PR; CEP 81531-990
genivalpavanelli@gmail.com

RESUMO

Com o objetivo de criar uma metodologia de avaliação do Sistema de Atendimento Emergencial móvel, o presente trabalho utilizou o modelo hipercubo de filas juntamente com uma metodologia baseada no *Ant Colony Optimization* (ACO), que neste caso tem a finalidade de gerar átomos independentes. O modelo hipercubo de filas tem por essência fornecer medidas de desempenho para cada cenário sugerido. Com isso, no intuito de analisar as configurações desse sistema de atendimento, foram implementados cenários alternativos quanto a divisão geográfica da cidade. Para cada cenário proposto, calcularam-se diversas medidas de desempenho. O modelo proposto foi implementado através de um estudo de caso. Os resultados mostraram que o modelo é adequado para este tipo de serviço. Constatou-se, ainda, que as mudanças propostas no algoritmo baseado no ACO apresentaram cenários cujos resultados nas medidas de desempenho mostraram significativas reduções nos tempos de resposta.

PALAVRAS CHAVE. Modelo Hipercubo de Filas, Ant Colony Optimization, Medidas de Desempenho.

Área principal: MP- Modelos Probabilísticos, AO- Outras Aplicações em PO, PM – Programação Matemática

ABSTRACT

Aiming to create an assessment methodology of Care Emergency mobile system, this study used the hypercube queuing model, along with a methodology based on Ant Colony Optimization (ACO), which, in this case, is intended to generate independent atoms. The hypercube queuing model provides performance measures for each scenario suggested. Thus, in order to examine the settings for the service system, alternative scenarios were implemented, concerning the geographical mapping of the city. For each proposed scenario, several performance measures were calculated. The proposed

model was implemented through a case study. The results showed that the model is suitable for this type of service. It was also found that the proposed changes in the algorithm based on the ACO presented scenarios with results in performance measures that obtained significant reductions in response times.

KEYWORDS: Hypercube queuing model, Ant Colony Optimization, Performance measurements.

Main area: PM - Probabilistic models, OA - Other applications in OR, MP - Mathematical Programming

1. Introdução

Um dos maiores problemas em muitos países é a falta de acesso à saúde de boa qualidade. Segundo a ONU (Organização das Nações Unidas, 2013), o Brasil, dentre todos os países da América Latina, encontra-se com o maior índice de insatisfação no que diz respeito à qualidade e ao atendimento do serviço emergencial. Um serviço de saúde de baixa qualidade é uma das grandes causas da pobreza de um país (ONU, 2013). Acredita-se que ao melhorar o serviço de atendimento emergencial é possível que se tenha uma melhor qualidade de vida para toda a população.

No caso do Serviço de Atendimento Emergencial (SAE) móvel, a satisfação do usuário está ligada à rapidez e eficiência do atendimento. Contudo, à medida que a população aumenta, crescem também os desafios em manter e até mesmo em melhorar este atendimento. Para atender a esta nova demanda é necessário uma melhor reorganização dos atendimentos emergenciais móveis a fim de se obter respostas mais rápidas e eficientes às chamadas dos usuários. Tudo isso com o único objetivo de aumentar as chances de salvar vidas.

Os SAE apresentam um alto grau de incertezas quanto ao chamado, localização, tipo de chamado e até mesmo o horário do chamado. Com isso, o tempo de resposta deverá ser o menor possível. Para otimizar esse serviço, é importante que se analise o desempenho atual do sistema e se proponha mudanças que gerem melhores resultados. Afinal, a eficiência desse serviço será medida, entre outras variáveis, pelo tempo de resposta.

Dessa forma, com a finalidade de analisar o SAE móvel, buscaram-se os dados em uma empresa particular de Curitiba. Sua principal finalidade é realizar atendimentos às solicitações de socorro, fora do ambiente hospitalar, com o principal objetivo de reduzir qualquer tipo de sequelas decorrentes da falta de socorro precoce. Seu funcionamento é de 24 horas por dia, todos os dias da semana. Cada equipe que atende a um chamado é composta por um médico especializado, um enfermeiro e um motorista que também é socorrista. Essa equipe presta atendimento em toda Curitiba e região metropolitana.

Observando-se as características básicas do SAE, a ferramenta mais adequada neste trabalho, a fim de analisar algumas medidas de desempenho, é o modelo hipercubo de filas, proposto inicialmente por Larson, em 1974. Utilizada inicialmente no patrulhamento policial nos Estados Unidos e estendeu-se para serviços emergenciais da saúde. Segundo alguns pesquisadores como Mendonça e Morabito (2000), Chiyoshi e Galvão (2000), Costa (2003), Takeda (2004), Iannoni (2005), Luque (2007), Souza (2010), Souza et al. (2013), entre outros, é a ferramenta que melhor se adéqua ao problema.

O modelo hipercubo de filas é uma poderosa ferramenta matemática que tem por essência fornecer medidas de desempenho. É um modelo descritivo e não fornece a configuração ótima, pois não é um modelo de otimização. Porém, fornece condições de avaliar o sistema a cada mudança sugerida de possíveis cenários alternativos. Esse modelo torna-se uma ferramenta ainda mais robusta quando aplicado em conjunto com uma ferramenta de otimização. Ainda são poucos os trabalhos

apresentados na literatura utilizando essa junção. Entre eles, destacam-se Chiyoshi *et al.* (2003), Galvão *et al.* (2003) e Galvão e Morabito (2008).

Para que seja possível aplicar o modelo proposto nessa pesquisa, é necessário que a região estudada seja passível de ser dividida. No caso, a cidade de Curitiba foi dividida em quatro átomos geográficos (quatro regiões) de duas formas distintas: a primeira, de acordo com a divisão do Batalhão da Polícia Militar (BPM), divisão usual do sistema e a segunda divisão, de acordo com o algoritmo proposto neste trabalho, baseado no *Ant Colony Optimization* (ACO). A fim de obter uma nova divisão geográfica, foi proposta uma mudança no algoritmo baseado na meta-heurística ACO.

O principal objetivo desse trabalho consiste em criar uma metodologia de avaliação do Sistema Atendimento Emergencial (SAE) móvel, através das análises das medidas de desempenho relevantes fornecidas pelo modelo hipercubo de filas, de duas formas distintas: A primeira através da divisão já existente na região e a segunda divisão, através da mudança proposta pelo novo algoritmo baseado no *Ant Colony Optimization* (ACO), tendo por base os dados de uma empresa de Curitiba, PR.

2. Descrição do problema

Neste trabalho, a fim de construir uma metodologia de avaliação do SAE móvel, serão analisados dados dos serviços de atendimento de urgência e emergência prestados por uma empresa que iniciou suas atividades na América Latina no ano de 1984, na cidade de Rosário, Argentina. A empresa começou a operar em Curitiba-PR no ano de 1992, em 1996 passou a atuar também em Porto Alegre, RS. Seus sistemas operam com políticas de despacho pré-determinadas. O sistema possui uma informatização que agiliza o processamento das chamadas, mas não existem avaliações periódicas que indicam o desempenho do sistema.

A empresa conta com uma central de atendimento que recebe os chamados. Os atendentes fazem algumas perguntas ao usuário quanto ao seu problema para poder classificar inicialmente o tipo da emergência. Após a triagem inicial, a chamada é transferida para um médico regulador e este dará um parecer clínico mais preciso. Neste momento, classifica-se o chamado quanto à sua gravidade em: grave; não tão grave; ou leve. O tempo de atendimento é computado desde o momento da chamada, tempo de preparação da equipe, o tempo de espera na fila, o tempo de viagem, o tempo de atendimento (em cena) e o tempo de retorno à base, denominado tempo de resposta.

2.1 Pesquisa de campo

A pesquisa de campo foi iniciada no ano de 2012. Na época o sistema operava com 19 veículos, divididos em três categorias a citar: UTIs (tipo D), remoção (tipo B) e unidades de apoio (carros). Dentre todos os veículos, apenas oito veículos foram utilizados no trabalho, pois o estudo foi dedicado ao atendimento de serviços considerados emergenciais. Desses oito veículos, quatro são destinados aos casos graves e quatro para casos não tão graves.

Os veículos destinados ao atendimento de casos graves, eventualmente poderão atender a outros chamados, não tão graves, desde que os veículos destinados ao atendimento de casos não tão graves estejam ocupados. O mesmo vale para os veículos destinados ao atendimento de casos não tão graves. Verifica-se que 50% dos chamados são considerados emergência e urgência. Destes, aproximadamente 8% são casos emergentes e 92% casos urgentes. Apesar dos casos de emergência, acontecerem em menor escala, podem levar a óbito rapidamente se não forem atendidos com muita rapidez.

A fim de definir regiões distintas de atendimento, condição necessária para a aplicação do modelo hipercubo de filas, a grande Curitiba foi dividida em quatro átomos (regiões) de duas formas independentes. Inicialmente a divisão foi realizada segundo os Batalhões da Polícia Militar (BPM) de Curitiba, divisão usual no sistema. São elas: 12º BPM, 13º BPM, 20º BPM, 23º BPM. Na sequência a divisão ocorreu através de uma meta-heurística baseada no *Ant Colony Optimization* (ACO). Nesta segunda divisão, inicialmente todos os átomos tinham o mesmo número de pontos (chamadas), posteriormente a divisão foi realizada com número de pontos diferentes para cada átomo. O ACO

original foi criado por Dorigo (1992), inicialmente com o objetivo de ser aplicado ao problema do caixeiro viajante. Nas duas divisões geográficas, BPM e ACO, cada átomo foi particionado conforme características da empresa para atendimento de urgência e emergência, totalizando dessa forma oito subátomos. Analisou-se também neste trabalho dois intervalos de tempo, um no período da manhã e outro no período da tarde. O objetivo de criar cenários diferentes foi o de realizar uma comparação nas medidas de desempenho obtidas através do modelo hipercubo de filas, uma vez que para cada divisão geográfica o modelo fornece diferentes medidas de desempenho e com isso novas análises do SAE móvel podem ser realizadas.

2.1.1 Cenário 1

A divisão da região realizada de acordo com o BPM, será chamada de cenário 1. Nesta divisão, os veículos, quando disponíveis, ficam localizados em apenas três átomos. Neste caso excetuando o átomo 23º BPM (em amarelo), onde não há base de emergência. O sistema admite fila de espera de um chamado por veículo. A (FIGURA 2.1) mostra a divisão da grande Curitiba em seus quatro átomos (BPM) e os respectivos bairros que o compõem.

2.1.2 Cenário 2

O cenário 2 apresenta a divisão dos átomos geográficos através na nova heurística baseada no ACO. Da mesma forma, nessa nova divisão, as bases são fixas. A (FIGURA 2.2) mostra um exemplo ilustrativo da divisão da cidade de Curitiba, em quatro átomos (A, B, C e D), todos com o mesmo número de pontos, de acordo com os chamados decorrentes de sete dias analisados.



Figura 2.1 Divisão de Curitiba (BPM)

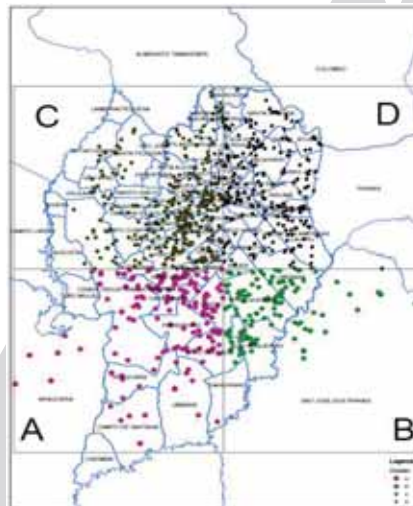


Figura 2.2 Divisão de Curitiba de acordo com a Meta-Heurística Baseada no ACO

2.2 Obtenção dos dados

Realizou-se a coleta de dados em dois momentos distintos. No primeiro momento analisou-se a quantidade e tipos de atendimentos ocorridos por mês ao longo do ano. Em seguida, coletou-se uma amostra de sete dias para validar as hipóteses do modelo hipercubo de filas. Essa amostra contém todas as informações dos atendimentos, para cada um dos veículos, tais como: horário das chamadas, local do atendimento, tempo de preparação da equipe, tempo de deslocamento na ida, tempo de atendimento, tempo de retorno à base, características da doença, veículo que prestou o atendimento. A escolha dessa amostra foi aleatória.

Segundo dados estatísticos da empresa verificou-se que não existe diferença significativa entre os meses com relação ao número de chamadas, exceto em meses de férias. Constatou-se que existem diferenças no tipo e na quantidade dos chamados entre os dias úteis e nos finais de semanas, bem

como em feriados prolongados, entretanto, essas diferenças, ainda segundo os dados estatísticos, permanecem dentro de um padrão de normalidade.

Quanto à segunda parte da coleta de dados, o objetivo foi o de analisar uma amostra aleatória de um determinado mês do ano, a fim de verificar se os chamados se comportam de maneira semelhante. O mês escolhido foi fevereiro do ano de 2013 e a amostra contém sete dias. Através da amostra, verificou-se que existem picos de chamada em determinados períodos do dia em todos os átomos. Um desses períodos estava por volta das 10 horas e outro período em torno das 18 horas para cada dia, conforme apresentado na (FIGURA 2.3).

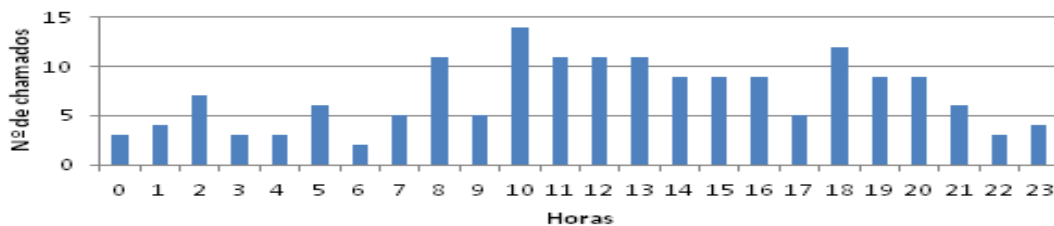


Figura 2.3 - Distribuição do Número de Chamadas ao Longo de um Dia

Buscando encontrar o período de pico, ou seja, maior taxa média de chegada de chamados no sistema por intervalo de tempo, com o qual se pretendia trabalhar, dividiu-se inicialmente o dia em três turnos: manhã (das 9 às 16 horas), tarde (das 17 às 23 horas) e noite (0 às 8 horas). Posteriormente, dividiu-se cada turno do dia em intervalos de horas, calculando a média e o desvio padrão para cada um destes intervalos.

Dentre os intervalos selecionados observou-se que para o turno da manhã, o período de pico ficou caracterizado pelo horário compreendido entre às 10 e às 14 horas, uma vez que este período apresentou maior taxa de chegada dos chamados (número de chamados divididos pelo intervalo de tempo considerado), conseqüentemente a maior média, quando comparado com os outros intervalos. Todos os outros intervalos apresentaram médias inferiores.

A mesma análise foi realizada no turno da tarde e o período de pico ficou caracterizado pelo horário compreendido entre as 18 e 21 horas. O turno da noite apresentou a menor taxa de chegada de chamados. Com isso, nesse trabalho vamos considerar apenas o período de pico da manhã e tarde.

A amostra coletada conta com 1142 chamados, dos quais 3,32% não puderam ser georeferenciados por falta de dados no endereço. Trabalhou-se então com 1104 atendimentos no total, dos quais, segundo a divisão usual, 30,45% provem da região do 12º BPM, 22,5% da região do 13º BPM, 39,98% da região do 20º BPM e 7% da região do 23º BPM. A proporção dos chamados se manteve para o período de pico (manhã), onde ocorreram 239 chamados dos quais, 71 foram casos graves e o restante, 168 chamados, casos não tão graves, porém emergenciais.

3. Material e Métodos

Será feita uma introdução sobre o modelo hipercubo de filas desenvolvido por Larson (1974), relacionando com o caso em que o processo das chegadas dos chamados é uma distribuição de Poisson e há vários servidores com tempos de serviços de atendimento exponencialmente distribuídos. Também são estabelecidas algumas definições e conceitos sobre a meta-heurística *Ant Colony Optimization* (ACO). Finalmente, é proposto um algoritmo baseado na meta-heurística ACO, com o objetivo de gerar novos átomos geográficos e, com isso, comparar as medidas de desempenho obtidas por meio do modelo com as duas divisões: a primeira, estabelecida segundo os Batalhões da Polícia Militar (BPM) de Curitiba, e a divisão proposta com a utilização da heurística proposta neste trabalho.

3.1 Modelo Hipercubo de Filas

O Modelo Hipercubo de Filas (MHF) tem por essência a Teoria de Filas e baseia-se na teoria de Markov em tempo contínuo. O modelo não determina uma configuração ótima para o sistema, pois

não é um modelo de otimização, no entanto, pelo fato de ser uma ferramenta que permite calcular diversos indicadores de desempenho, fornece uma completa avaliação de desempenho de cada configuração sugerida pelo avaliador que podem auxiliar nas decisões operacionais do sistema. Foi desenvolvido por Larson (1974), e aperfeiçoado por diversos autores. Foi proposto para descrever sistemas em que servidores deslocam-se para oferecer algum tipo de serviço (server-to-customer service). É um modelo estocástico descritivo e considera toda a complexidade geográfica e temporal de um sistema.

O modelo hipercubo de filas baseia-se fundamentalmente na partição de uma região em átomos geográficos independentes, onde cada átomo se comporta como uma fonte individual e pontual. Na prática, a região a ser estudada deve ter condições de ser particionada em regiões menores, ou seja, um conjunto finito de áreas geradoras de demanda. O atendimento poderá ser realizado por diversos servidores (veículos) distribuídos ao longo de uma região. A localização dos servidores deverá ser conhecida, ao menos probabilisticamente (CHAIKEN, 1975).

Para esse modelo não basta apenas especificar a quantidade de servidores ocupados, mas conhecer a disponibilidade de cada um. Para isso, utiliza-se uma variável binária associada a cada servidor, com os valores 0 ou 1 representando os estados, livre ou ocupado, respectivamente, do servidor, num determinado instante. O atendimento é realizado preferencialmente pelo servidor principal. Caso esteja ocupado, o atendimento pode ser realizado pelo servidor que estiver disponível (*backup*). Caso não haja servidor disponível, o atendimento é perdido ou entra em fila de espera, dependendo do sistema.

3.1.1 Hipóteses do Modelo Hipercubo de Filas

Para que o MHF possa ser aplicado ao SAE móvel, as seguintes hipóteses, segundo Larson e Odoni (1981), devem ser satisfeitas:

- a. Divisão da área de atendimento em N_A átomos geográficos independentes;
- b. As solicitações por serviço geradas em cada átomo j ($j = 1, \dots, N_A$), devem chegar independentemente de acordo com uma distribuição de Poisson;
- c. Os tempos de viagem dos veículos do átomo i para o átomo j ($i, j = 1, \dots, N_A$) devem ser conhecidos ou estimados;
- d. O sistema deverá operar com servidores espacialmente distribuídos, que poderão se deslocar para atender a qualquer um dos átomos;
- e. A localização dos servidores deve ser conhecida, ao menos probabilisticamente;
- f. Despacho ou alocação de um servidor;
- g. Política de despacho dos servidores;
- h. Composição do tempo total de atendimento;
- i. Dependência de atendimento em relação ao tempo de viagem.

Em cada caso deve ser feita uma análise da complexidade do problema em questão para verificar a aplicabilidade do modelo (LARSON e ODONI, 1981).

3.1.2 Transições entre estados e equações de equilíbrio

O modelo hipercubo baseia-se na resolução de um sistema de equações lineares. São essas equações que fornecem as probabilidades de equilíbrio dos possíveis estados do sistema e as medidas de desempenho. O cálculo das medidas de desempenho para um sistema que opera com N servidores e não permite filas de espera, envolve uma solução de um sistema de 2^N equações lineares. Quanto maior o número de servidores, maior o número de equações podendo tornar inviável a solução computacional em relação ao tempo.

A solução do modelo é dada pela construção das equações de equilíbrio do sistema, que são definidas supondo-se que o sistema atinja o equilíbrio. Assim, o fluxo que entra neste estado deve ser igual ao fluxo que sai deste estado. Em um sistema não saturado, com capacidade de fila infinita, as probabilidades de estado do modelo hipercubo são calculadas a partir das equações de balanço, construídas a partir dos possíveis estados.

3.2 Algoritmo *Ant Colony Optimization*

O algoritmo ACO, é uma meta-heurística inspirada no comportamento forrageiro das formigas em busca de alimento. ACO foi criado na década de 1990, Dorigo (1992). O sistema artificial e a análise probabilística do comportamento foram totalmente inspirados no modelo natural da trilha de feromônio das formigas. Um dos problemas que podem ser resolvidos com o ACO é o Problema do Caixeiro Viajante (PCV). O algoritmo do ACO é baseado no cálculo das probabilidades p_{ij}^k , que define a probabilidade da formiga k ir da cidade i para a cidade j . Segundo Dorigo e Stutzle (2004), esta probabilidade é calculada conforme equação 3.1.

Este estudo propõe uma mudança no algoritmo ACO, a fim de aplicá-lo ao Problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes (PMCV). Cada caixeiro irá definir um conjunto de pontos do espaço geográfico (rotas), e a esses conjuntos de pontos denominam-se átomos geográficos. O objetivo é fazer a adaptação do ACO com o intuito de obter novas divisões geográficas. Dessa forma, aplicando o modelo hipercubo de filas num cenário diferente, com novas divisões geográficas, tem-se novas medidas de desempenho do SAE móvel. Com isso, melhor será a avaliação do SAE por meio das diversas medidas de desempenho fornecidas pelo modelo hipercubo.

A implementação proposta neste trabalho consiste em estabelecer m rotas distintas, com m átomos, de maneira que cada rota possua pelo menos um nó do grafo e cada nó pertença a apenas uma das m rotas.

Para iniciar o algoritmo tem-se k conjuntos com m formigas cada, de tal forma que ao final do processo de construção das rotas sejam apresentados k conjuntos de rotas, cada qual com m rotas.

Por se tratar de um algoritmo de construção, cada uma das m rotas de cada um dos k conjuntos serão geradas, partindo de um nó inicial e incrementando a cada iteração deste processo um novo nó a cada rota, de maneira que cada nó só pertença a uma única rota do seu conjunto. O incremento de um novo nó à solução em construção dá-se pela seleção probabilística dos nós que ainda não fazem parte de nenhuma rota em construção. O algoritmo foi construído de forma que as formigas partam simultaneamente de pontos distintos e aleatórios da região. As formigas guardam "registros" das trilhas já percorridas por elas e por suas companheiras, a fim de que nenhum nó seja alocado em mais do que uma rota (lista tabu). Ao final deste processo construtivo, conforme dito anteriormente, cada um dos k conjuntos apresentará m rotas distintas, assim o algoritmo apresentará k soluções. São calculados os custos de cada uma das k soluções que é dado pela soma dos custos de cada uma das suas m rotas, finalizando assim a primeira iteração.

Para iniciar a próxima iteração deve-se atualizar a matriz de feromônios, conforme estabelecido na equação (3.1). Novamente, constrói-se k soluções e calculam-se seus custos. Lembrando que a cada iteração, todas as formigas partem simultaneamente de pontos distintos. Este procedimento é repetido até que um critério de parada seja atingido.

A implementação inicialmente foi realizada com k conjuntos, todos iguais, pois todos os átomos tinham mesmo número de pontos. Posteriormente, foi realizada uma mudança no algoritmo a fim de mudar o número de pontos dentro de cada rota, com átomos com número de pontos diferentes. A mudança visa melhorar a divisão geográfica de acordo com os chamados emergenciais.

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}, & j \in N_i^k \\ 0 & j \notin N_i^k \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\tau_{ij}^k \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij}^k + \sum \Delta\tau_{ij}, \quad \forall (i, j) \in A; \quad \rho \in [0,1] ; \quad \Delta\tau_{ij} = 1/L_k \quad (3.2)$$

4. Implementação e Resultados do Modelo Hipercubo de Filas com Divisão Geográfica Usual e com Divisão Baseada no ACO

O modelo hipercubo de filas e a meta-heurística baseada no ACO foram implementados computacionalmente em linguagem *Visual Basic* e executados em um computador com processador Intel Core I5-2400, de 64 Bits, CPU 3.10GHz, memória RAM 8GB e sistema operacional *Windows 7*.

A aplicação do modelo hipercubo de filas teve por objetivo, a análise descritiva do SAE móvel a partir das medidas de desempenho fornecidas pelo modelo. Para tanto, foram analisados dois períodos críticos ao longo do dia, um no turno da manhã e outro no turno da tarde. O modelo hipercubo foi aplicado em duas divisões geográficas. A primeira divisão, realizada pelo BPM (cenário 1); a segunda divisão – de fundamental importância para este trabalho por caracterizar a inovação da pesquisa obtida a partir da meta-heurística baseada no ACO – cenário 2. Para o cenário 2, foi feita uma subdivisão: inicialmente trabalhou-se com o mesmo número de pontos em cada átomo; posteriormente, foram definidos números diferentes.

4.1 Cenário 1: Período da manhã, das 10 às 14 horas

O modelo forneceu a probabilidade de encontrar o sistema vazio (p00000000) igual a 0,00507. A probabilidade de encontrar o sistema saturado (p11111111), com usuários aguardando para serem atendidos, foi de aproximadamente 0,1328. E a probabilidade de pelo menos um servidor encontrar-se ocupado é de 0,8671.

A seguir, são apresentadas algumas medidas de desempenho relevantes, fornecidas pelo modelo, tanto do ponto de vista do gerente como do ponto de vista do usuário do sistema. Algumas medidas de desempenho obtidas através do modelo hipercubo puderam ser comparadas com os dados fornecidos pelo sistema:

- a. *Workload* é a carga média de trabalho de cada veículo e representa a fração de tempo que um veículo permanece ocupado. É obtida através das somas das probabilidades dos estados em que o veículo está ocupado.

É uma importante medida de desempenho do ponto de vista do gerente do sistema, pois através dela é possível avaliar o quanto cada veículo está sendo solicitado ao longo do dia, com isso possibilita a elaboração de propostas de melhor distribuição.

Os resultados obtidos a partir do modelo hipercubo para a carga de trabalho dos veículos (*workload*) e para o tempo médio de resposta dos veículos, bem como o tempo médio de resposta dos veículos (preparação e viagem) obtidos na amostra coletada são apresentados na (TABELA 4.1).

Tabela 4.1 *Workload* do Veículos e os Tempos de Resposta

Veículos	<i>Workload</i>	Modelo (minutos)	Amostra (minutos)	Diferença minutos	Diferença %	Desvio Padrão
0	0,42	14,2	12,6	1,6	12,70	1,13
1	0,51	16,1	14,1	2	14,18	1,41
2	0,49	15,4	14	1,4	10,00	0,99
3	0,31	15,6	14,6	1	6,85	0,71
4	0,6	15,5	15	0,5	3,33	0,35
5	0,65	15,1	16	-0,9	-5,63	0,64
6	0,74	16,4	19	-2,6	-13,68	1,84
7	0,68	16,4	16	0,4	2,50	0,28
VSG	0,43	15,33	13,83	1,50	10,85	1,06
VSL	0,67	15,85	16,50	-0,65	-3,94	0,46
Total	0,55	15,59	15,16	0,42	2,80	0,30

A (TABELA 4.1) apresenta as diferenças em minutos, em porcentagem e também o desvio padrão. Pode-se observar que a diferença mais alta foi a do veículo 6, com 13,68%. Os demais resultados apresentaram-se bem próximos do resultado do sistema, o que valida a aplicação do modelo para o serviço. Quanto à carga de trabalho dos veículos, os resultados obtidos a partir do modelo confirmam os dados fornecidos inicialmente pelo sistema: os veículos que servem preferencialmente casos graves ficam menos tempo ocupados, em torno de 43%, enquanto os veículos que atendem a chamados leves tendem a ficar mais tempo ocupados, no caso 67%, o que fornece uma média global de 55%, compatível com o sistema.

b. A frequência de despacho f_{ij} que é a fração de todos os despachos do servidor i ao átomo j e pode ser decomposta em duas partes: $f_{ij}[1]$, que corresponde à fração de despachos de um servidor i para um átomo j que não implica tempo de espera em fila para o usuário; e $f_{ij}[2]$, que corresponde à fração de despachos de um servidor i para um átomo j sujeito à espera em fila.

A frequência de despachos fornecida através do modelo para o servidor i deslocar-se até o átomo j , é de 0,58 para a fração dentre todos os despachos que são interáreas de cobertura.

A fração dos despachos que são interáreas (*Backup*) de cobertura de cada um dos veículos encontra-se na (TABELA 4.2).

Tabela 4.2 Fração de Despachos de cada Veículo que são Interáreas de Cobertura

Veículos	Backup	Veículos	Backup
0	0,401	4	0,573
1	0,493	5	0,622
2	0,478	6	0,720
3	0,297	7	0,359
Média VSG	0,417		
Média VSL			0,568

Os veículos destinados ao atendimento de casos graves (VSG) são menos requisitados para atender a outros chamados (backup) do que os veículos que atendem preferencialmente casos leves (VSL). Os resultados obtidos através do modelo comprovam o que realmente acontece no SAE móvel.

Calculou-se também a frequência de despacho de cada veículo, ou seja, a frequência de atendimentos em sua área de cobertura primária e a frequência de atendimentos *backup*.

c. Os tempos médios de viagem são obtidos através da matriz dos tempos de viagem no próprio sistema; podem, porém, sofrer influência de diversos fatores no dia a dia. Portanto, o tempo de deslocamento de um átomo i até um átomo j poderá não ser igual ao do caminho inverso.

O tempo médio global de viagem é uma importante medida de desempenho do ponto de vista do usuário do sistema.

O modelo forneceu um tempo médio de deslocamento para chamadas na fila de espera, em minutos, de 15,61. O tempo médio global de resposta do deslocamento, independentemente do átomo gerador do chamado e da equipe que irá atender ao chamado é de 15,64 minutos. Na empresa, esse tempo foi calculado em aproximadamente 15,67 minutos, uma diferença que permite a conclusão de que o modelo hipercubo é uma boa aproximação para o SAE móvel.

O tempo médio de deslocamento de cada veículo ao átomo j é outro importante indicador, pois reflete o nível de serviço oferecido pelo sistema.

A (TABELA 4.3) apresenta os tempos médios de viagem para cada átomo do problema abordado no modelo hipercubo e na amostra coletada, considerando tempos iguais de viagem dentro de cada átomo para a amostra.

Tabela 4.3 Tempos Médios de Viagem para cada Átomo

Átomos	Modelo	Amostra	Dif (minutos)	Dif %	Desvio Padrão
1-12a	13,93	15,90	-1,97	-12,38	1,39
2-12b	16,50	15,90	0,60	3,77	0,42
3-13a	14,63	14,08	0,56	3,94	0,39
4-13b	16,72	15,08	1,65	10,91	1,16
5-20a	14,50	16,00	-1,50	-9,38	1,06
6-20b	14,10	16,00	-1,90	-11,88	1,34
7-23a	17,40	15,68	1,73	11,00	1,22
8-23b	17,06	15,68	1,39	8,84	0,98
Va	15,11	15,66	-0,55	-3,51	0,38
Vb	16,09	15,66	0,43	2,75	0,30
Total	15,60	15,66	-0,06	-0,38	0,04

Nessa tabela, a nomenclatura Va representa os veículos que atendem casos graves (átomo a) e Vb veículos que atendem casos básicos (átomo b). O modelo hipercubo de filas constitui uma ferramenta adequada ao problema, uma vez que as diferenças apresentadas foram pequenas, levando em consideração a imprecisão de alguns dados.

4.2 Comparação das medidas de desempenho dos cenários 1, 2 e 2.1

Todos os testes foram realizados para os demais cenários, e nos dois períodos. O período das 18 às 21 horas apresentou-se com menor congestionamento quando comparado ao período da manhã, logo não aparece na comparação a seguir.

Comparando os três cenários propostos neste estudo – a divisão usual (BPM), a divisão baseada no ACO com átomos com mesma quantidade de pontos (cenário 2) e a divisão também baseada na meta-heurística ACO com átomos com quantidade de pontos diferentes (cenário 2.1), no período da manhã –, conclui-se, conforme os dados apresentados na (TABELA 4.4), um melhor resultado no cenário 2. A tabela mostra a comparação das *workloads*.

 Tabela 4.4 Comparação das *Workloads* nas três divisões

Veículos	<i>Workload</i>	<i>Workload</i>	<i>Workload</i>
	BPM	ACO – Átomos iguais	ACO- Átomos diferentes
0	0,42	0,45	0,42
1	0,51	0,36	0,32
2	0,49	0,33	0,42
3	0,31	0,33	0,34
4	0,60	0,57	0,56
5	0,65	0,61	0,63
6	0,74	0,65	0,67
7	0,68	0,70	0,69
VG	0,43	0,37	0,38
VL	0,67	0,63	0,64
Total	0,55	0,50	0,51

A carga de trabalho dos veículos, mostrou-se mais adequada ao SAE móvel com as divisões geográficas efetuadas através da meta-heurística baseada no ACO.

Vale lembrar que todas as comparações foram realizadas. Em todas elas as divisões geográficas propostas neste trabalho mostrou-se mais eficiente para a divisão com átomos de tamanhos diferentes.

Com relação ao tempo médio de deslocamentos para chamadas na fila de espera, a nova metodologia mostrou que houve uma redução considerável tanto no tempo de espera quanto no tempo médio global de resposta do deslocamento, independentemente do átomo gerador do chamado e da equipe que atendeu ao chamado, conforme a (TABELA 4.5).

Tabela 4.5 Comparação nos tempos de espera na fila e tempo médio global nos três cenários

Tempo (minutos)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 2.1	Diferença% Cenários 1 e 2	Diferença% Cenários 1 e 2.1
Espera na fila	15,61	14,68	12,33	6,34	26,60
Médio Global	15,65	14,66	12,77	6,75	22,55
Amostra	15,67	15,67	15,67	-	-

Os tempos de espera na fila e o tempo médio global tiveram uma redução média de 6% na comparação do cenário usual em relação à divisão geográfica baseada na meta-heurística ACO com átomos iguais. Contudo, a redução significativa ocorreu na comparação do cenário usual em relação à divisão geográfica baseada na meta-heurística ACO com átomos diferentes: na fila de espera, a redução dos tempos foi de 26,60% e no tempo médio global, próxima de 22,6%.

Logo, conclui-se que a melhor divisão para o SAE móvel, com menores tempos de respostas, melhores distribuições das workload e frequências mais bem distribuídas é a divisão realizada conforme o cenário 2.1.

5. Conclusões e Propostas de Melhoramento

Este trabalho teve como objetivo analisar o SAE móvel, através do MHF e de um novo algoritmo construído, baseado no *Ant Colony Optimization* (ACO).

Com o objetivo de criar uma metodologia de avaliação para o SAE móvel, o modelo hipercubo de filas com prioridade foi aplicado em um estudo de caso, em uma empresa particular na cidade de Curitiba, PR, com a finalidade inicial de validar as 9 hipóteses do modelo, condições necessárias para utilização da ferramenta matemática.

Uma das hipóteses do modelo diz respeito a divisão da região em átomos geográficos independentes. Inicialmente a divisão da região foi a usual no sistema, com quatro átomos independentes segundo o critério do Batalhão da Polícia Militar (BPM) de Curitiba. Dentro de cada átomo houve uma subdivisão. Posteriormente, a divisão geográfica foi realizada através da construção de um novo algoritmo baseado no ACO. Essa segunda divisão aconteceu de duas formas distintas, a primeira com átomos com igual número de pontos e, posteriormente, com átomos com número de pontos diferentes.

Os resultados obtidos através da meta-heurística baseada no ACO mostram melhores resultados de maneira geral. Houve uma significativa redução nos tempos. A adaptação proposta no algoritmo ACO mostrou-se muito eficiente nos resultados das medidas de desempenho. Destaca-se, por exemplo, para o período da manhã, em que o tempo médio global de deslocamento dos veículos no modelo apresentou um valor igual a 15,65 minutos através da divisão pelo BPM, enquanto que na divisão pelo algoritmo baseado em ACO, átomos iguais, este resultado caiu para 14,66 minutos, o que caracteriza uma redução no tempo de quase 7%. Essa redução é maior ainda quando comparada com o algoritmo baseado em ACO, com átomos com número de pontos diferentes, pois o tempo é de 12,77 minutos, ou seja, 22,5% menor quando comparado com a divisão usual. Outra redução significativa foi observada nas *workloads*, que em média apresentaram 6% de redução, mostrando um melhor balanceamento entre as cargas de trabalho dos veículos.

As melhorias propostas na divisão dos átomos geográficos, obtidas a partir do algoritmo baseado na meta-heurística ACO, foram significativas. Pode-se comprovar que a heurística apresenta-se bem adequada ao problema.

Sugerem-se outros estudos híbridos envolvendo técnicas de otimização juntamente com o Modelo Hipercubo de Filas. Por exemplo, a criação de uma nova meta-heurística, baseada na nuvem de partículas, meta-heurística inspirada no voo dos pássaros, a fim de criar outras divisões geográficas e aplicá-la juntamente com o MHF adequando a prioridade.

Qualquer que seja a melhoria efetiva no SAE móvel, muito acrescentará ao sistema como um todo. A pesquisa operacional é uma área promissora, e acredita-se que há muito ainda a se explorar.

Referências

- Costa D. M. B.**, Uma metodologia iterativa para determinação de zonas de atendimento de serviços emergenciais. Tese (doutorado em engenharia de produção) - Departamento de Engenharia de Produção, UFSCar, 2003.
- Chaiken, J. M.** (1975) Transfer of Emergency Service Deployment Models to Operating Agencies. *Management Science*, v 24, p. 719-731.
- Chiyoshi F.; Galvão R. D.** (2000) A statistical analysis of simulated annealing applied to the p-median problem. *Annals of Operational Research* 96, p. 61-74.
- Chiyoshi F., Galvão R. D., Morabito R.** (2003) A note on solution to the maximal expected covering location problem. *Computers and Operations Research* 30 (1), p. 87-96.
- Dorigo, M.** Optimization, learning and natural algorithms. Tese de doutorado. Politecnico di Milano, Itália, 1992.
- Dorigo, M.; Stutzle, T.** (2004) *Ant Colony Optimization*. Cambridge. Massachusetts Institute of Technology, P.305.
- Galvão, R. D., Chiyoshi, F., Espejo, L. G. A., Rivas, M. P. A.** (2003) Solução do Problema de Localização de Máxima Disponibilidade Utilizando o Modelo Hiper cubo. *Pesquisa Operacional, SOBRAPO* 23 (1), p. 61-78.
- Galvão R. D.; Morabito, R.** (2008) Emergency Service Systems: The use of the Hypercube Queuing Model in the Solution of Probabilistic Location Problems. *International Transactions in Operational Research* 15, p. 1-25.
- Iannoni A. P.** Otimização da configuração e operação de sistemas médico emergenciais em rodovias utilizando o modelo hiper cubo. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.
- Larson, R.C.**, (1974) Hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services. *Computers and operations research* 1, 67-95.
- Larson R.C.; Odoni A.R.** *Urban Operations Research*. New Jersey, Prentice-hall, 1981.
- Luque, L.** Análise da Aglutinação de Estados em Cadeias de Markov do Modelo hiper cubo de Filas com Servidores Co-localizados. Dissertação (Mestrado), INPE, São José dos Campos, SP, 2007.
- Mendonça F.C., Morabito, R.** (2000) Analyzing emergency service ambulance deployment on a Brazilian highway using the hypercube model. *Journal of the Operation Research Society* 52, 261-268.
- Souza, R. M.**, Análise da configuração de SAMU utilizando Modelo Hiper cubo de filas com prioridades e múltiplas alternativas de localização de ambulâncias. Tese (doutorado em engenharia de produção) – UFSC, 2010.
- Souza, R. M.; Morabito, R.; Chiyoshii, F. Y.; Iannoni, A. P.** (2013) Análise da Configuração de SAMU Utilizando Múltiplas Alternativas de Localização de Ambulâncias. *Gestão de produção, São Carlos*, v.20, n.2, p.287-302.
- Takeda R.A.; Widmer, J. A.; Morabito, R.** (2004) Aplicação do modelo hiper cubo de filas para avaliar a descentralização de ambulâncias em um sistema urbano de atendimento médico de urgência. *Pesquisa Operacional* 24 (1), 39-72.