



LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE RESGATE EM BELO HORIZONTE.

Renato Xavier Jardim (UFMG) jardimbh@ig.com.br

Samuel Vieira Conceição (UFMG) svieira@dep.ufmg.br

Abstract

This article presents the application of the P-medium to investigate the location of units of ransom. The emergency medical services (EMS) in Belo Horizonte it is responsible for more than 15.000 occurrences a year. The system assists clinical cases and traumas. In the emergency attendance the time is crucial factor. The strategic location has the objective of minisum of the distances between the servers and the demand points. It was accomplished a case study that suggests an otimization of the system with the new location of the units of ransom.

Words key: Location, Facilities, Medical Emergency.

1. Introdução.

O tempo é fator crucial no atendimento de emergência. Segundo Brown (1994), existe uma associação positiva entre a demora da ambulância e a proporção de casos fatais e graves. Vários estudos tem demonstrado o relacionamento entre a redução do tempo resposta e a correspondente redução da mortalidade. O tempo que o socorro leva para chegar até a vítima é das variáveis mais importante no atendimento pré hospitalar - APH. Esse espaço de tempo, conhecido como tempo-resposta, é um dos principais indicadores da eficiência do sistema.

A quantidade de ambulância e a sua localização no sistema são duas decisões estratégicas que estão diretamente relacionadas com a eficiência do serviço. Desta forma existem duas abordagens que podem ser desenvolvidas para melhoria do sistema.

O estado da arte relacionado ao problema de localização de ambulâncias teve uma grande evolução nos últimos 30 anos. Este período foi marcado pelo desenvolvimento sem precedentes das tecnologias computacionais, modelos e algoritmos, programas matemáticos associados a softwares que auxiliam em vários níveis de decisão. A literatura para o problema de localização apresentava inicialmente modelos que propunham programação linear inteira simples, que foram desenvolvendo características mais realistas e técnicas para soluções mais refinadas. A maioria dos modelos inicialmente eram de natureza determinística segundo, Cronk et al.(1986), Reville et al.(1995), Goodman et al.(1986) e foram importantes para análise do planejamento e investigação, ignorando as considerações estocásticas do problema. Uma revisão dos modelos de localização foi descrita por Geoffrion et al.(1995) e Brandeau et al.(1985) que descreve os principais modelos, relacionando os objetivos com as variáveis de decisão. Uma revisão dos modelos específicos de localização para emergência médica é abordada por Brotcorne et al (2003). A existência de servidores com serviços distintos é uma característica que foi considerada no modelo desenvolvido por, Charnes et al.(1980). Alguns modelos para localização de facilidades utilizam a relaxação e métodos de busca Beasley et al.(1982) para redução do tempo computacional juntamente com heurísticas que possibilitam a divisão de um macro-problema complexo em sub-problemas Mcleer et al. (1994).

Vários modelos probabilísticos foram desenvolvidos considerando a natureza estocástica dos eventos como o fato das ambulâncias operarem como servidores em um sistema de filas e algumas vezes não

〈 XXXVI - SBPO 〉

estão disponíveis para operação como aconteceu no estudo de caso realizado por Goldberg et al. (1990), Ching (1997) e Tavakoli et al.(2003). A aplicação de modelos matemáticos robustos para garantir condições de incerteza utilizando modelos probabilísticos para solução de problema de localização e dimensionamento de veículos é proposto por Beraldi et al.(2002) garantindo o nível de serviço e minimizando os custos globais do sistema.

A quantidade de servidores no sistema é analisada como um problema de filas conforme Jamil et al.. (1999), onde o nível de serviço desejado pode ser pré-determinado a priori com o objetivo de identificar a quantidade de ambulâncias que satisfaçam o nível de serviço do sistema. Na simulação é possível realizar e acompanhar a variação dos benefícios, redução do tempo médio de resposta esperado, associado a mudança a diversas variáveis do problema. Fitzsimmons et al.(1982), realizou uma combinação do modelo de simulação e heurística de roteirização para o problema. Um estudo de caso com simulação foi realizado na cidade de Taipei, Taiwan comparando as mudanças estratégicas do sistema de resgate identificando pontos críticos e melhorias para o modelo real (SYI SU 2003).

O modelo Hypercube (10) é bem conhecido para aplicação do problema de localização considerando as características operacionais do sistema. A probabilidade de uma ambulância estar ocupada no sistema, sua taxa de utilização, utilizando um sistema não linear de equações cujo tamanho depende do número de servidores, Galvão et al. (2003) realiza um estudo comparativo de modelos clássicos de localização (MEXCLP) e (MALP), desenvolvendo a extensão deste segundo modelo (EMALP) e comparando com o modelo (EMEXCLP).

Modelos dinâmicos são mais recentes e determinam a re-alocação da ambulância no mesmo dia para aumentar a cobertura do sistema conforme estudo no Estochen et al.(1998), envolvem sistemas avançados de localização GIS, (Sistema de Informação Geográfica) para avaliar o sistema em tempo real. O problema de localização para unidades de resgate é de natureza dinâmica, sendo fundamental conhecer o sistema e suas características para uma intervenção eficaz.

2 Características do serviço médico de emergência.

O Serviço de Atendimento Móvel de Urgência SAMU é caracterizado por possuir um arranjo de pessoas, instalações e equipamentos para um coordenado e efetivo serviço médico em condições de emergência e é responsável em prestar um primeiro nível de atenção, aos portadores de quadros agudos, de naturezas clínicas, traumáticas ou psiquiátricas. A estrutura física requer central de regulação médica das urgências, com fácil acesso ao público, por via telefônica (192), em sistema gratuito, e o envolvimento de outros profissionais não oriundos da área de saúde, como: telefonistas, rádios-operadores e condutores de veículos de urgência.

No aspecto do transporte das vítimas, o SAMU atende a população com dois tipos de veículos, denominados unidade de suporte básico (USB) e unidade de suporte avançado (USA). A USB: veículo destinado ao transporte inter-hospitalar de pacientes com risco de vida conhecido e ao atendimento pré-hospitalar de pacientes com risco de vida desconhecido, não classificado com potencial de necessitar de intervenção médica no local e ou durante transporte até o serviço de destino. A USA: veículo destinado ao atendimento e transporte de pacientes de alto risco em emergências pré-hospitalares e ou de transporte inter-hospitalar que necessitam de cuidados médicos intensivos.

⟨ XXXVI - SBPO ⟩

O atendimento do sistema pode ser descrito com a seqüência das atividades a seguir;

- (1) Atendente recebe a ligação e pega informações básicas como nome de quem ligou e sua relação com a vítima, nome da vítima, endereço da ocorrência, bairro, ponto de referência e telefone.
- (2) Médico regulador solicita informações sobre o paciente. Já nesse momento podem ser sugeridos procedimentos emergenciais. De acordo com os resultados, unidades móveis serão acionadas.
- (3) Atendimento telemédico: não havendo necessidade do envio de uma unidade, o chamado é registrado na base de dados do SAMU.
- (4) Atendimento móvel: sendo necessário, uma unidade móvel é imediatamente enviada para o local. Pode ser enviada uma USB, para remoção ou tratamento de casos simples, ou uma unidade avançada, USA com toda a aparelhagem para atendimento a emergências no local. Ambos são deslocados com uma equipe de enfermeiro e motorista, na equipe USA existe a presença de um médico.
- (5) No evento: em alguns casos o atendimento é realizado no local e, de acordo com o diagnóstico do médico, o paciente é imediatamente liberado.
- (6) No hospital: não sendo possível o atendimento no local, o paciente é levado para o pronto-socorro mais próximo, onde todas as informações da ocorrência são passadas para a equipe responsável.
- (7) Concluído o atendimento, todas as informações da ocorrência são registradas. Elas serão utilizadas para posteriores análises estatísticas de atendimento.

A figura 1 abaixo representa o processo de resgate e os intervalos de tempo entre cada etapa.

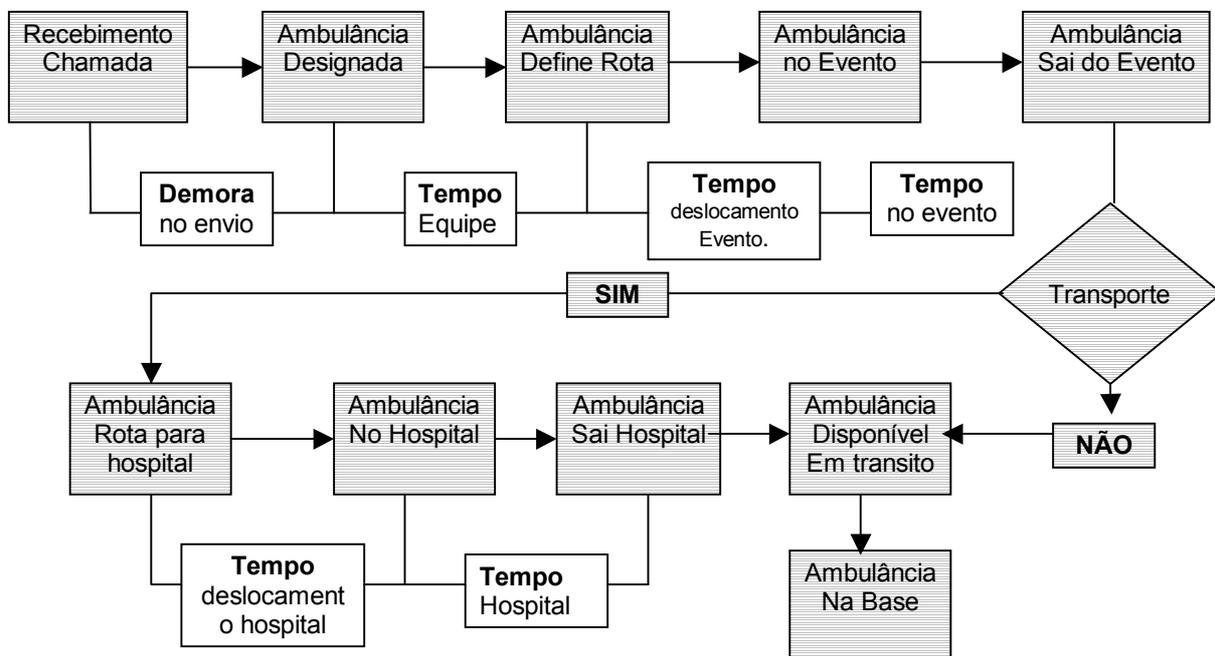


Figura 1 – Modelo do processo de resgate e intervalos de tempo.

3. Metodologia.

A metodologia utilizada foi o estudo de caso, que é o histórico passado e atual de um fenômeno, extraído das fontes múltiplas de evidência, segundo Voss et al. (2002). Para coletar as informações do sistema atual do SAMU foram realizadas visitas a base operacional do sistema e coleta da base de dados do sistema. Foi utilizada a modelagem quantitativa, cujo modelo pode ser expresso pelo seguinte problema de programação linear inteira

$$\text{Minimizar } DT = \sum_i \sum_j V_i d_{ij} X_{ij}$$

sujeito a :

$$\sum_j X_{ij} = Y_j \text{ (para todos os } i)$$

$$X_{ij} \leq X_{ij} \text{ (para candidatos } i, \text{ pares de } j)$$

$$\sum_j X_{ij} = p$$

$$X_{ij} = (0,1) \text{ (para todos os } i, \text{ pares de } j)$$

onde:

$$X_{i,j} = \begin{cases} 1, \text{ se o nó da demanda } i \text{ for atribuído à ambulância } j \\ 0, \text{ se de outra forma} \end{cases}$$

$$X_{j,i} = \begin{cases} 1, \text{ se a ambulância estiver localizada no nó } j \\ 0, \text{ se de outra forma} \end{cases}$$

DT = distância total do modelo.

i = ponto central da região de acidentes número até o total de N

j = base candidata (servidor) número até o total de M

V_i = volume da região de acidente i

d_{ij} = distância entre as regiões de acidentes i e base j

p = número de bases para localizar

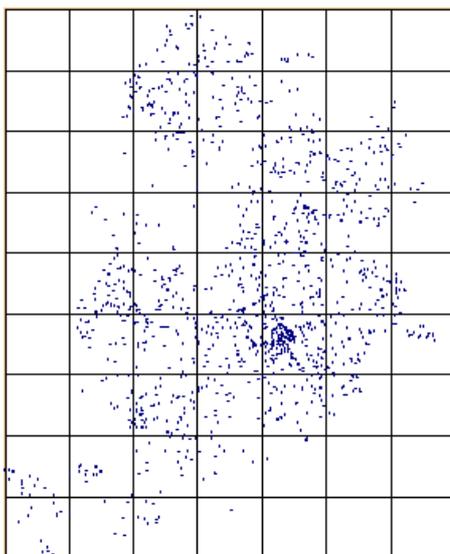


Figura 02 – distribuição espacial dos eventos.

		25	35	10		
	18	82	60	19	5	3
	1	24	24	62	56	17
	11	13	39	81	43	2
	71	58	70	97	55	22
	45	59	116	284	80	31
	24	86	46	69	26	
22	23	32	20	5		
23	15	11	1			

Figura 03 – volume de eventos por zona.

⟨ XXXVI - SBPO ⟩

A RMBH foi agrupada em áreas de ocorrência de evento. Os 63 quadrantes (9x7) geraram um total de 47 zonas de demanda tendo o seu volume (V) determinado pela quantidade de ocorrências de eventos.

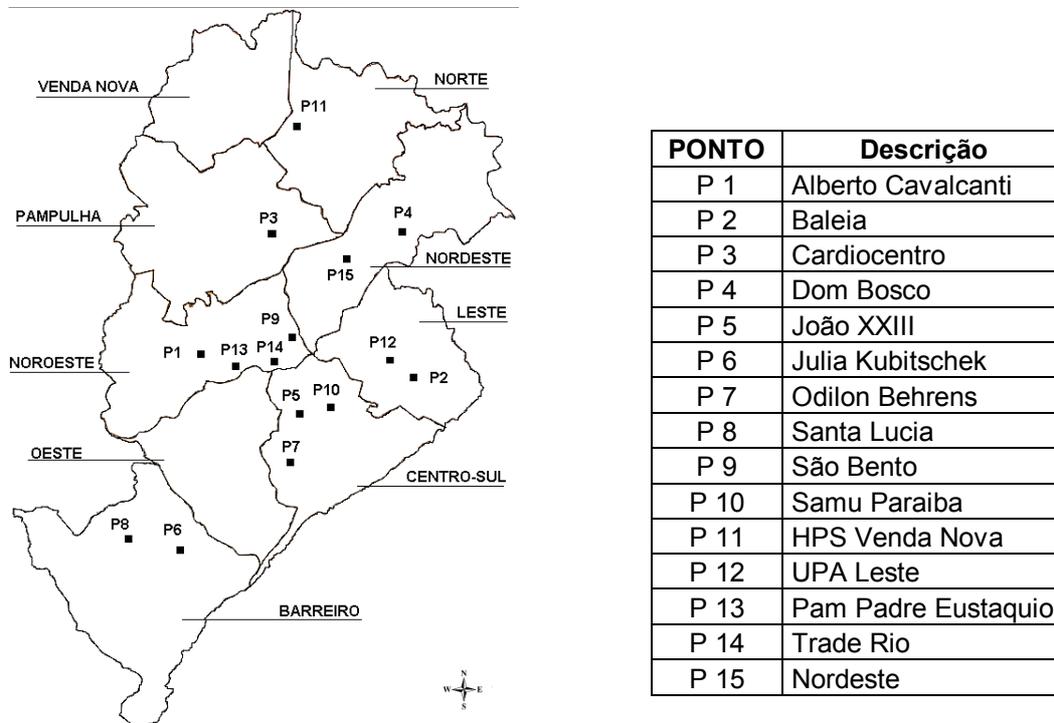


Figura 04 – Mapa com os pontos de viabilidade para localizar as unidades de resgate (j) .

4. O Problema .

O sistema é caracterizado pela utilização de unidade móvel de resgate para atendimento à vítima. A quantidade de unidades de resgate é uma limitação do sistema. A utilização deste recurso pode ser otimizada avaliando a melhor localização do recurso para atender o sistema.

As condições assumidas do problema foram;

- (1) distância euclidiana para tratamento inicial dos dados,
- (2) a definição a priori da localização dos pontos de viabilidade para os servidores.

O problema para a designação das unidades de resgate do SAMU em Belo Horizonte foi proposto como a escolha de 7 localidades entre os 15 pontos de viabilidade representados na figura 3. A seleção destes pontos foi realizada com a seleção das unidades do Sistema Único de Saúde – SUS que possuíam as especialidades; geral ou Traumático com atendimento a urgências e emergências em plantões de 24 horas. Este grupo foi determinado considerando as condições reais para designação destes locais, viabilidade física e operacionais.

5. Tratamento dos dados.

Foi realizado uma triagem para seleção apenas dos eventos que demandaram o deslocamento de uma ambulância. A amostra final de dados foi composta por 2021 eventos de deslocamentos em 76 dias. Uma média no período de 27 deslocamentos da equipe por dia, alcançando picos superiores a 40 ocorrências por dia.

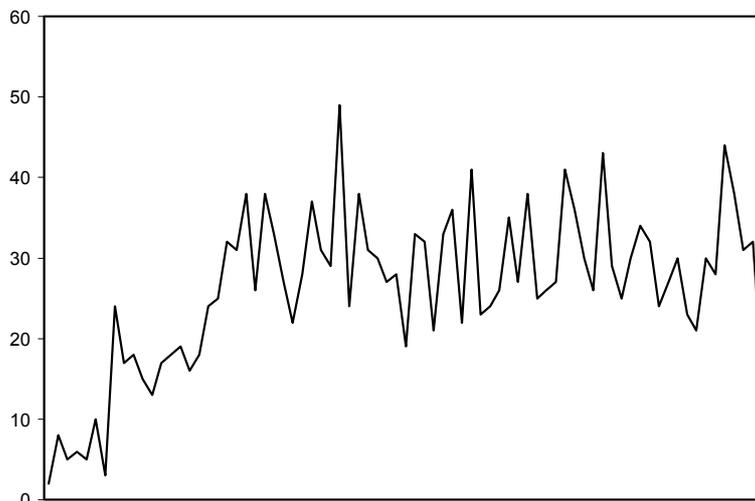


figura 05 – Número de deslocamentos por dia.

Os dados registrados no início do evento, recebimento do telefonista de uma chamada externa, permitiram realizar uma distribuição por faixa de horário. O pico de ocorrências por faixa de horário ocorreu entre 10:00h as 10:59h conforme figura 04, registrando 144 eventos.

Agrupando os intervalos de horários em quatro grupos; Manhã (06:01h a 12:00h) representa 28,3 % dos eventos, Tarde (12:01h a 18:00h) 37,1%, Noite (18:01h a 24:00h) 29,9% e Madrugada (24:01 a 06:00) com os restantes 4,7 % dos eventos no período.

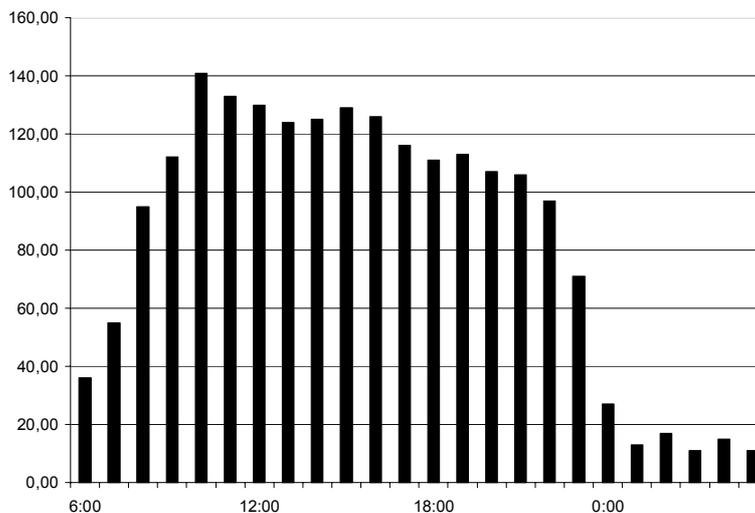


figura 05 - Quantidade de eventos por horário.

7. RESULTADOS

Os dados foram analisados utilizando o software Logware modulo P-MED para o calculo da P-mediana. A distância total no modelo representa a somatória entre a distância da base ativa e o ponto central da zona de demanda correspondente multiplicado pelo volume de ocorrências. A representação dos resultados de DT – distância total em km considerou o fator de correção de 1,366 conforme estudo de Novaes (1978) que verificou uma correlação de 0,95 entre os valores das distâncias euclidianas e real considerando este fator de correção na malha urbana da cidade de São Paulo.

Nº UR'S	Localização (p)	Soma Distancia (D.T.)	Redução %
1	7	112.939	
2	5, 3	87.274	22.72%
3	1,10, 11	71.531	18.04%
4	1, 10, 15, 11	62.179	13.07%
5	1, 10, 15, 8, 11	54.579	12.22%
6	1, 10, 15, 4, 8, 11	50.657	7.19%
7	1, 2, 15, 4, 10, 8, 11	47.779	5.68%
8	1, 2, 3, 4, 10, 8, 15, 11	45.545	4.67%
9	1, 2, 3, 4, 10, 8, 15, 11, 13	43.578	4.32%
10	1, 2, 3, 4, 10, 8, 15, 9, 11, 13	42.249	3.05%
11	1, 2, 3, 4, 10, 8, 15, 9, 11, 12, 13	41.453	1.88%
12	1, 2, 3, 4, 10, 6, 15, 8, 9, 11,12,13	40.732	1.74%
13	1, 2, 3, 4, 10, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15	40.350	0.94%
14	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15	40.350	0.00%
15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	40.350	0.00%

Quadro 01 – resultados utilizando (P) servidores variando de 1 a 15.

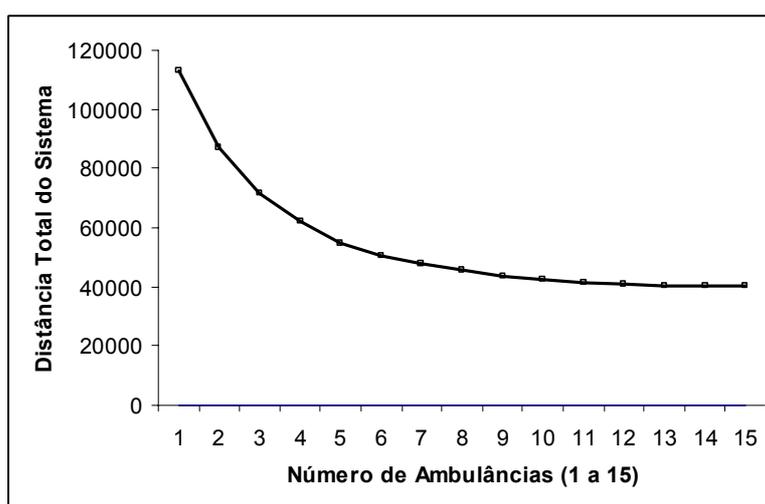


figura 06 – Gráfico do resultado da distância total.

A utilização do modelo da P-Mediana, alterando a quantidade de P-facilidades variando de um a quinze possibilitou a distribuição de pontos estratégicos em função do número de UR's Unidade-Resgate instalada. A distância total - representa as somas das distâncias associadas entre os pontos de

⟨ XXXVI - SBPO ⟩

demanda, epicentros dos quadrantes (zonas de ocorrências) e as localizações de unidades de resgate (ambulâncias). Após o acréscimo da 11ª facilidade no modelo a redução da distância total é de apenas 1,88 %, tornando-se insignificante após o 13º ponto instalado. Na realidade o modelo da P-mediana encontra a solução da função de Min com 13 facilidades, não apresentou uma redução na distância total com acréscimo de $P > 13$ servidores. Essa limitação é explicada pelo tamanho das zonas de demanda. Quanto menor as zonas, maior é a sensibilidade do modelo em relação a variações. Havendo mais de um servidor localizado em uma zona de demanda, o modelo opta pela utilização do servidor que apresenta a menor distância até o ponto de demanda, os outros servidores localizados na mesma zona serão forçados a entrar no problema para atender a restrição p .

Pela comparação da distribuição utilizada atualmente, $(P) = \{7, 10, 11, 12, 13, 14, 15\}$ totalizando a soma das distâncias entre os servidores e os centros de demanda em 57.529 km, e o valor designado pelo modelo, atribuindo os pontos selecionados $P = \{1, 2, 4, 8, 10, 11, 15\}$ para sete servidores, obteve uma solução ótima da distância total de 47.779 km.

Houve uma redução de 16,9 % da distância total aplicando o modelo entre os pontos .

9. CONCLUSÃO

Os serviços de atendimento pré-hospitalar devem ser estruturados, na perspectiva de melhorar e qualificar o atendimento às urgências, diminuir o tempo de internação hospitalar e os prognósticos de reabilitação. O atendimento rápido a quadros agudos de natureza traumática e clínica, através do envio de ambulâncias com equipes de saúde, contribui para diminuir significativamente o índice de mortes precoces. O modelo da P-mediana considerou o problema de localização com enfoque determinístico e contribuiu para uma melhor compreensão do sistema. A complexidade do problema real permite a aplicação de modelos com visão parcial da realidade que contribuiu para identificar as melhores bases para instalação das unidades de resgate na região metropolitana de Belo Horizonte. A base de dados para a investigação do problema foi inferior a um ano, em alguns estudos são consideradas bases de dados de 5 anos. Na realidade a investigação permitiu uma melhor compreensão do sistema para adotar uma linha de investigação futura contribuindo para a compreensão do processo. A redução da somatória das distâncias entre os servidores e os pontos de demanda representam um ganho para o sistema. A investigação da localização estratégica de unidades de resgate teve como objetivo reduzir a soma das distâncias entre as equipes de resgate e as zonas de evento, possibilitando uma melhoria na eficiência do sistema que pode aplicar redução do tempo-resposta efetivo entre o deslocamento da equipe até o evento da emergência.

10. SUGESTÃO DE ESTUDOS FUTUROS

Estudar os modelos atuais e propostos para auxiliar no desenvolvimento futuro para uma investigação do processo considerando também a natureza probabilística do processo, Takeda et al.(2004) aplica o modelo hipercubo para avaliação de cenários no SAMU em Campinas, SP. Avaliar a distribuição dos eventos em função da gravidade possibilitando uma investigação para distribuição das ambulâncias conforme o tipo de agravo. Investigar as taxas de serviço no sistema para avaliar melhorias futuras no processo que poderão ser avaliados com a simulação de localidades estratégicas e a quantidade de servidores. Considerar outras variáveis como a probabilidade de indisponibilidade do servidor e a taxa de serviço a ser atendida.

Referências

- BEASLEY J.E. & CHRISTOFIDES N. (1982) - A tree search algorithm for the p-median problem. *European Journal of Operational Research*. Vol. 10, p.196-204.
- BERALDI P.; BRUNI M.E. & CONFORTI D. (2002) - Designing robust emergency medical service via stochastic programming, Accept article – Article in Press.
- BRANDEAU M. L. & CHIU S. S. (1985) - An Overview of Representative Problems in Location Research. *MANAGEMENT SCIENCE*. Vol. 35, p.645-674
- BROTCORNE L. & LAPORTE G., SEMET F. (2003) - Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*. Vol. 147, p.451-463.
- BROWN, D.B. (1994) - Proxy Measures in Accident Countermeasure Evaluation: a Study of Emergency Medical Services. *Journal of Safety research*. Vol. 11, p.37-41
- CHARNES A., & STORBECK J. (1980) - A Goal Programming Model for the Siting of Multilevel EMS systems. *Socio-Econ. Plann. Sci*. Vol. 14, p.155-161.
- CHING W. K. (1997) - Markov-modulated Poisson processes for multi-location inventory problems, *International Journal of Production Economics*. Vol. 53, p.217-223.
- CRONK J.; HOWELL D. & SAINTS K., KRIEGER H.A. (1986) - Positioning of Emergency Facilities in an obstructed traffic grid. *Mathematical Modelling*. Vol. 7, p.611-626.
- ESTOCHEN B.; STRAUSS. T. & SOULLEYRETTE R.R. (1998) - An Assessment of Emergency Response Vehicle Pre-Deployment Using GIS Identification of High-Accident Density Locations, *Transportation Conference Proceedings*, p.221-226.
- FITZSIMMONS J.A. & SRIKAR B.N. (1982) Emergency Ambulance Location Using the Contiguous Zone Search Routine. *Journal of Operational Management*. Vol. 2, p.225-237.
- GALVÃO R. D.; CHIYOSHI F. Y. & MORABITO R. (2003) - Towards unified formulations and extension of two classical probabilistic location models. *Computers & Operations Research*. Article in press.
- GEOFFRION A. & POWERS R., (1995) - Twenty Years of Strategic Distribution System Design: An Evolutionary Perspective., *Interfaces*. Vol. 25, p.105-127
- GOLDBERG J.; DIETRICH R.; CHEN J M.; MITWASI M.; VALENZUELA T. & CRISS E. (1990) - A Simulation Model for Evaluating a Set of Emergency Vehicle Base Locations: Development, Validation, and Usage. *Socio-Econ. Plann Sci*. Vol. 24, p.125-141
- GOLDBERG J., DIETRICH, R., CHEN, J.M., MITWASI, M.G., (1990) - Validating and applying a model for locating emergency medical vehicles in Tucson, AZ. *European Journal of Operational Research*. Vol. 49, p.308-324.
- GOODMAN A., MANBECK K., RICKS B., (1986) - Emergency Facilities Location, *Mathematical Modelling*, Vol. 7, p.603 – 610.
- JAMIL M., BAVEJA A., BATTA R., (1999) - The Stochastic queue center problem, *Computers & Operations Research*. Vol. 26, p.1423-1436.

⟨ XXXVI - SBPO ⟩

MCALEER W. E. & NAQVI I.A. (1994) - The relocation of ambulance stations: A successful case study. *European Journal of Operational Research*. Vol. 15 p.582-588.

NOVAES A. G. (1978) Métodos de Otimização: Aplicados aos transportes. São Paulo, Ed. Edgard Blucher.

REVELLE C. & SNYDER S. (1995) - Integrated Fire and Ambulance Siting: A Deterministic Model. *Socio-Econ. Plann. Sci.* Vol.29, p.261-271.

TAVAKOLI A. & LIGHTNER C. (2003) - Implementing a mathematical model for locating EMS vehicles in Fayetteville, NC, *Computers & Operations Research*. Article in press

TAKEDA R., WIDMER J., MORABITO R., (2004) - Aplicação do modelo hipercubo de filas para avaliar a descentralização de ambulâncias em um sistema urbano de atendimento médico de urgência. *Pesquisa Operacional*. Vol. 24, nº1, p. 39-72

VOSS C. TSIKRIKTSIS N., FROHLICH M., (2002) - Case Research in Operations Management, *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 22, nº2, p.195-219.