

Localização de Ambulâncias pelo Modelo TEAM - Solução Através do Algoritmo Genético Construtivo

Ana Paula S. Figueiredo
LAC / INPE
anapaula@lac.inpe.br

Luiz A. N. Lorena
LAC / INPE
lorena@lac.inpe.br

Solon V. Carvalho
LAC / INPE
solon@lac.inpe.br

Resumo

Este trabalho apresenta o modelo de localização de ambulâncias TEAM e a respectiva modelagem para a sua solução através do Algoritmo Genético Construtivo, apresentando as funções de avaliação e as regras de recombinação. É apresentado um modelo reduzido de localização, com uma área geográfica, os pontos de demanda, as bases de localização, a matriz de distâncias e a sua respectiva solução através do AGC.

Palavras-chave: Localização de ambulâncias, TEAM, Algoritmo Genético Construtivo.

1. Introdução

A localização de ambulâncias tem sido tratada por métodos de otimização (Toregas et al. 1971; Shilling et al. 1979; Hogan e ReVelle, 1986; Daskin, 1987; Swersey, 1994; Marianov e ReVelle, 1995; Gendrau et al., 1997; Brotcorne et al., 2003) entre outros. O objetivo destes trabalhos tem sido o de encontrar uma configuração espacial da localização das facilidades que melhor forneça cobertura às demandas. Esta cobertura se refere à medida da habilidade do sistema em levar a ambulância em um tempo ou distância máxima pré-definida ao local onde se encontra a emergência e o de transportar aquele que sofre a emergência ao local de atendimento.

O uso de distância ou tempo padrão nas formulações de localização de modelos remonta ao trabalho de Toregas et al. (1971) no qual um limite superior do tempo, ou da distância, era pré-definido e desejava-se encontrar a localização das facilidades que apresentasse menor custo. Este arranjo deveria ser tal que todos os usuários da região deveriam ser atendidos adequadamente

dentro daquele padrão. No caso dos custos de se implantar cada uma das facilidades fosse o mesmo, o problema passava a ser o de encontrar o menor número de facilidades necessárias para atender cada usuário dentro do tempo ou distância padrão. Este modelo é conhecido como Modelo de Localização por Cobertura de Conjuntos (LSCM). Porém o LSCM ignora alguns aspectos da realidade, dentre eles a situação de que, uma vez que a ambulância esteja atendendo a um chamado, a área pela qual era responsável estaria descoberta.

O modelo apresentado por Church e ReVelle (1974) previa então uma restrição, diga-se orçamentária, no número de ambulâncias, representando uma quantidade menor do que aquela encontrada com o LSCM. Assim o objetivo passava a ser o de maximizar a demanda coberta dentro de um padrão de tempo ou distância pré-estabelecida, com um número estabelecido de ambulâncias. Este modelo é conhecido como Problema de Localização com Máxima Cobertura (MCLP).

O LSCM pode ser utilizado como uma ferramenta de planejamento para estabelecer qual deveria ser o número mínimo de ambulâncias necessárias para prover um serviço de qualidade para toda a demanda, pelo menos em termos de cobertura. O modelo MCLP também é uma ferramenta de planejamento que proporciona ao administrador que tem restrições orçamentárias informações sobre onde localizar as ambulâncias de modo a fazer o melhor, em termos de cobertura, com os recursos disponíveis.

Estes são modelos determinísticos de localização de ambulâncias e são usados no estágio de planejamento do sistema, ignorando as considerações estocásticas relacionadas à disponibilidade das ambulâncias. Para resolver o problema de que a demanda estará descoberta quando uma ambulância estiver atendendo a um chamado, foram propostos modelos de cobertura extra. Os modelos de cobertura extra tentam garantir que a demanda seja coberta por outra

ambulância, que não a sua primária, a fim de garantir o atendimento quando esta estiver ocupada.

Dentre os modelos de cobertura extra, Shilling et al. (1979) propuseram um modelo que contemplava o trabalho conjunto de dois tipos de veículos para o atendimento do chamado. Este modelo chamado TEAM (Tandem Equipment Allocation Model), maximiza a demanda coberta por dois tipos de veículos diferentes cujos padrões de cobertura são diferentes e se encontram também em quantidade diferentes. A demanda será dita coberta se estiver coberta por ambos os tipos de veículos. Em termos de sistemas de emergências médicas pode-se considerar ambulâncias de suporte básico e avançado, por exemplo.

2. O Sistema de atendimento móvel de urgência no Brasil – SAMU

No Brasil o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) é a forma pela qual o Ministério da Saúde implementa a assistência pré-hospitalar no âmbito do SUS (Sistema Único de Saúde). O Ministério da Saúde está implantando o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) com recursos que serão destinados à compra de ambulâncias, equipamentos para Centrais de Regulação Médica de Urgências e para implantação dos Núcleos de Educação em Urgência, constituindo-se na primeira fase do projeto de reorganização da atenção às urgências no Brasil. As ambulâncias serão adquiridas na proporção de um veículo de suporte básico à vida para cada grupo de 100.000 a 150.000 habitantes, e de um veículo de suporte avançado à vida para cada 400.000 a 450.000 habitantes.

No aspecto do transporte das vítimas, o SAMU inicialmente atenderá a população com dois tipos de veículos, denominados tipos B e D. Cada uma destas ambulâncias tem capacidade de suprir determinadas urgências. No Brasil, a norma da ABNT – NBR 14561/2000, de julho de 2000 traz especificações para as ambulâncias. Nesta norma, a ambulância do tipo B é a Ambulância de Suporte Básico, um 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 ambulância do tipo D, ou Ambulância de Suporte Avançado é um 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. Por exigência da legislação, cada um destes veículos deve contar com equipamentos médicos adequados à complexidade de suas funções.

Uma vez que no Brasil o Sistema de Atendimento Móvel de Urgência contempla dois tipos diferentes de unidades de atendimento propõe-se utilizar o modelo TEAM para estabelecer a localização destes veículos.

3. TEAM – Modelo de Localização com Equipamentos que Trabalham em Conjunto

O modelo TEAM (Tandem Equipment Allocation Model) apresentado por Schilling et al. (1979) foi utilizado originalmente para localizar dois tipos de veículos para combate a incêndios, porém no contexto da localização de ambulâncias pode ser utilizado para a localização de ambulâncias BLS (Basic Life Support) e ALS (Advanced Life Support). Os serviços de emergência normalmente trabalham com dois tipos de veículos com diferentes habilidades, um que fornece o serviço básico e o outro com atendimento avançado. Ambos podem ser despachados para o local da chamada, porém com tempos padrão diferentes.

3.1 O modelo TEAM

Denotando por p^A e p^B o número de veículos disponíveis do tipo A (básico) e B (avançado) e r^A e r^B os padrões de cobertura para cada tipo de veículo, a formulação do modelo é :

$$(TEAM) \quad Max \sum_{i \in V} d_i y_i \quad (3.1)$$

$$\sum_{j \in W_i^A} x_j^A \geq y_i \quad (i \in V) \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in W_i^B} x_j^B \geq y_i \quad (i \in V) \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in W} x_j^A = p^A \quad (3.4)$$

$$\sum_{j \in W} x_j^B = p^B \quad (3.5)$$

$$x_j^A \leq x_j^B \quad (j \in W) \quad (3.6)$$

$$x_j^A, x_j^B \in \{0,1\} \quad (j \in W) \quad (3.7)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad (i \in V) \quad (3.8)$$

A equação (3.1) estabelece o objetivo de maximizar a demanda (d_i) coberta. As inequações (3.2) e (3.3) estabelecem que a demanda só estará coberta se for atendida por ambos os tipos de ambulâncias, ou seja não basta ser coberta apenas por um dos tipos de ambulâncias é preciso estar coberta pelos dois tipos. As equações (3.4) e (3.5) estabelecem o número de ambulâncias disponíveis dos tipos básico e avançado, respectivamente. A equação (3.6) estabelece a hierarquia entre os tipos de ambulâncias, ou seja, não é possível cobrir a demanda com um tipo avançado sem que ela já esteja coberta com um tipo básico. A equações (3.7) e (3.8) expressam as condições de integralidade e não negatividade onde as variáveis x_j^A , x_j^B serão iguais a 1 se a ambulância do tipo A ou do tipo B estiver localizada no local j , caso contrário $x_j^A = 0$ e $x_j^B = 0$. As variáveis y_i serão iguais a 1 quando a demanda i estiver coberta por ambos os tipos de ambulâncias.

W_i^A e W_i^B são os conjuntos de localizações possíveis para as ambulâncias que atendem a demanda dentro dos padrões r^A e r^B , ou seja

$$W_i^A = \{j \in W : t_{ij} \leq r^A\}$$

$$W_i^B = \{j \in W : t_{ij} \leq r^B\}$$

onde t_{ij} é o tempo, ou distância, entre a localização i e o local de demanda j e deve ser conhecido previamente.

A solução para o problema será a de encontrar os locais para se localizar as p^A e p^B ambulâncias dos tipos A e B disponíveis de modo a maximizar a demanda coberta por ambas, ou seja a solução será do tipo

$$x_1^A = 1, x_2^A = 1, \dots, x_j^A = 0,$$

$$x_1^B = 0, x_2^B = 1, \dots, x_j^B = 0 \text{ e}$$

$$y_1 = 1, y_2 = 0, y_3 = 1, y_4 = 0, y_5 = 1, \dots, y_i = 0.$$

3.2 Um exemplo reduzido

Seja a região da Figura 1 onde deverão ser localizadas 2 ambulâncias do tipo básico (A) e 1 ambulância do tipo avançado (B). Os locais de demanda são estabelecidos segundo um critério de densidade demográfica denotados pelos pontos numerados de 1 a 10 e os locais possíveis de localização das ambulâncias são 5 e estão demarcados por um quadrado numerado. A Tabela 1 traz a matriz $A [t_{ij}]$ de distâncias entre os

centros de demanda e as localizações possíveis para as ambulâncias no arruamento. São conhecidos previamente os parâmetros de tempo, ou de distâncias, r^A e r^B .

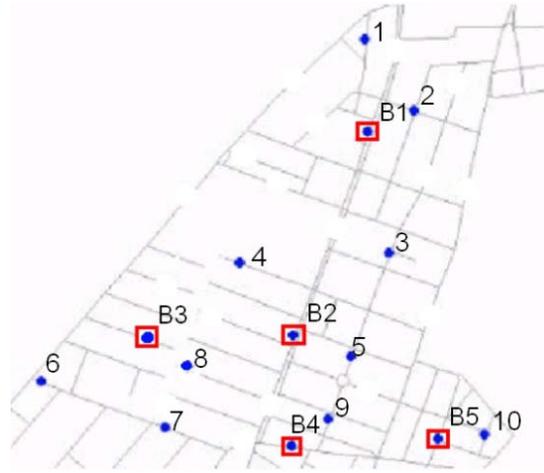


Figura 1 – Instância: modelo reduzido

Tabela 1 – Distâncias entre as demandas e as bases possíveis para o modelo reduzido

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	32	20	57	68	79	154	121	104	97	134
2	94	82	49	36	17	92	59	42	35	72
3	145	213	180	167	148	39	72	131	123	174
4	137	125	92	79	33	69	36	43	15	66
5	165	153	120	107	54	117	84	91	41	18

4. O Algoritmo Genético Construtivo (AGC) na solução do modelo de localização TEAM

O Algoritmo Genético Construtivo (AGC), apresentado por Lorena e Furtado (2001), inicia com uma população de esquemas que carregam informações sobre propriedades estruturais do problema. Estes esquemas são avaliados e os melhores são incentivados a se recombinarem de tal forma que, através de sucessivas gerações, novos esquemas ou estruturas completas sejam produzidas.

4.1 A população, os indivíduos e o objetivo do algoritmo

O AGC trabalha com uma população dinâmica que cresce com o uso dos operadores genéticos de recombinação e decresce guiada por um fator de evolução α que a cada geração se torna mais restritivo. Quando uma estrutura ou esquema S_k é criado, recebe uma avaliação proporcional a seu ranking, denominada $d(S_k)$, que será usada no teste de evolução. No algoritmo genético construtivo há a consideração explícita de esquemas através da avaliação- fg .

Um esquema é um vetor de comprimento definido sobre um alfabeto A e o símbolo $\#$. Se pensarmos em um cromossomo como um string de 0's e 1's, então por exemplo podemos ter dois cromossomos: (1 0 1 0 0 1) e (1 1 1 1 0 1 0). Ambos são exemplos do esquema ($\# \# 1 \# 0 \# \#$), onde o símbolo $\#$ significa a possibilidade de assumir qualquer um dos símbolos do alfabeto utilizado para representação. Os esquemas são uma maneira de representar a similaridade existente entre estruturas pois não estamos interessados numa única estrutura sozinha, uma vez que as similaridades entre as estruturas mais bem adaptadas podem guiar a busca.

Considerando a representação dos esquemas, o valor da avaliação- fg aumenta com a diminuição do número de símbolos $\#$, ou seja, quanto mais completa a estrutura, em geral terá valor da avaliação- fg maior do que a avaliação dos esquemas.

O algoritmo genético construtivo pode ser modelado como um problema de otimização com dois objetivos (POB – Problema de otimização bi-objetivo).

$$(POB) \quad \min \quad \{g(S_k) - f(S_k)\} \quad (4.1)$$

$$\max \quad g(S_k) \quad (4.2)$$

$$\text{sujeito a } g(S_k) \geq f(S_k), S_k \in X. \quad (4.3)$$

Ao minimizar $\{g(S_k) - f(S_k)\}$, o que se deseja é maximizar a adaptação do indivíduo. Uma vez que esquemas e estruturas são avaliados da mesma forma, vai existir uma diferença numérica em suas avaliações, proporcional à quantidade de informação presente neles.

A população inicial, denominada P_0 , é formada por $|P_0|$ esquemas gerados aleatoriamente, mantendo as mesmas características do algoritmo genético tradicional, ou seja de representar o problema de maneira que os esquemas iniciais

permitam que todas as informações estruturais do problema sejam abrangidas.

O tamanho inicial da população deve considerar o tamanho do problema, ou seja o número de demandas a serem cobertas na região, bem como o número de ambulâncias disponíveis. Esta população inicial deverá prover diversidade suficiente para o processo evolutivo.

4.2 Representação dos indivíduos para o modelo TEAM

Os indivíduos são criados com uma estrutura que contemple um vetor x_A e um vetor x_B com dimensões iguais ao número m de locais possíveis para a localização das ambulâncias.

$$x_A [_ _ _ _ _ _ _] \text{ com } m \text{ posições}$$

$$x_B [_ _ _ _ _ _ _] \text{ com } m \text{ posições}$$

A criação de cada indivíduo S_k da P_0 é dada pelo sorteio aleatório do número de ambulâncias do tipo A e do tipo B, n_A e n_B , respectivamente, entre 0 e p^A , e 0 e p^B . Estes valores n_A e n_B representam o número de 1's que estarão presentes no indivíduo e suas localizações nos vetores x_A e x_B serão sorteadas.

4.3 Avaliação- fg para o modelo TEAM

Cada indivíduo S_k é avaliado através dos seguintes coeficientes

$$\beta_A = \frac{1}{1 + |p^A - n_A|}, \quad \beta_A \in (0,1] \quad (4.4)$$

$$\beta_B = \frac{1}{1 + |p^B - n_B|}, \quad \beta_B \in (0,1] \quad (4.5)$$

$$\beta_H = \frac{1}{1 + N_H}, \quad \beta_H \in (0,1] \quad (4.6)$$

$$\beta_y = \frac{\sum d_i y_i}{\max[\sum d_i y_i]}, \quad \beta_y \in [0,1] \quad (4.7)$$

Os valores p^A e p^B representam o número de ambulâncias do tipo A (básica) e do tipo B (avançada) que estão disponíveis para serem localizadas, enquanto que n_A e n_B representam o número de ambulâncias dos tipos A e B, respectivamente, que se encontram no indivíduo S_k . Assim quanto mais próximos os valores n_A e n_B estiverem de p^A e p^B , respectivamente, melhor adaptados serão os indivíduos e mais próximos de

1 serão os coeficientes β_A (4.4) e β_B (4.5). O objetivo destes coeficientes é penalizar as soluções S_k que apresentam um número n_A e n_B de ambulâncias aquém ou além das quantidades p^A e p^B disponíveis.

O coeficiente β_H penaliza os indivíduos S_k que não cumprem com a restrição de hierarquia (3.6) entre os tipos de ambulâncias. Quanto maior o número N_H de violações da hierarquia pior é avaliado o indivíduo.

O coeficiente β_y (4.7) mede a proporção da demanda coberta dada pela localização das ambulâncias encontrada pela solução S_k . Assim este coeficiente pode assumir qualquer valor entre 0 e 1, inclusive.

A função $g(S_k)$ será dada por

$$g(S_k) = \beta_y + 3 \quad (4.8)$$

A função $f(S_k)$ será dada por

$$f(S_k) = \beta_A + \beta_B + \beta_H + \beta_y \quad (4.9)$$

Desta forma garantimos que

$$g(S_k) - f(S_k) \geq 0 \quad (4.10)$$

e $g(S_k) - f(S_k) \in [0, 3]$.

Cada indivíduo será avaliado através de seu rank, dado por

$$\delta(S_k) = \frac{d \cdot g_{\max} - \{g(S_k) - f(S_k)\}}{d \cdot [g_{\max} - g(S_k)]} \quad (4.11)$$

cujos valor ótimo é obtido a partir da equação (4.12). A possibilidade de conhecer o valor de $\delta(S_k)_{\text{ótimo}}$ possibilita identificar se a solução S_k encontrada é ótima ou não e passa a ser um novo critério de parada do algoritmo.

$$\delta(S_k)_{\text{ótimo}} = \frac{g_{\max}}{g_{\max} - 4} \quad (4.12)$$

Quanto maior o valor de seu rank $d(S_k)$, mais adaptado é considerado o indivíduo em relação aos objetivos de minimizar $\{g(S_k) - f(S_k)\}$ e maximizar $g(S_k)$. Com isto, mais tempo de sobrevivência para reprodução ele tem.

4.4 Seleção e recombinação

A seleção de pais é a tarefa de estabelecer as oportunidades de reprodução de cada indivíduo na população. Cada indivíduo que é criado é avaliado. A população é então ordenada de forma

não decrescente de acordo com a qualidade de cada estrutura dada pela avaliação da mesma. O processo de seleção tem por princípio que indivíduos melhor adaptados possuem maior chance de sobreviverem para se reproduzirem.

Furtado (1998) apresenta a seleção baseada na ordenação da população e os seguintes passos de seleção e recombinação:

1. Escolhe-se aleatoriamente uma estrutura dentre um percentual pré-definido das melhores estruturas, que denominamos S_{base} .

2. Escolhe-se aleatoriamente outra estrutura da população inteira, denominada S_{guia} .

3. As estruturas ou esquemas S_{base} e S_{guia} são comparadas, utilizando algum critério que possa melhorar a qualidade da nova estrutura que será gerada, denominada S_{nova} .

O objetivo é gerar uma estrutura S_{nova} de qualidade superior aos seus ancestrais e para isto é preciso que, no processo de comparação, sejam preservados os bons blocos construtivos e agregadas novas informações a estes blocos.

A estrutura S_{base} , por se tratar geralmente da estrutura melhor adaptada, serve como fonte principal para geração da nova estrutura, sendo que a estrutura S_{guia} fornece informações adicionais do problema, que devem se juntar aos bons blocos construtivos.

4.5 Regras de recombinação para a modelagem.

O processo de recombinação é um conjunto de regras de associação dos genes da estrutura S_{base} e S_{nova} . Assim, analisam-se as possibilidades de arranjos entre os símbolos destas estruturas e qual deve ser o símbolo resultante para a estrutura S_{nova} . Deste modo cada problema de otimização terá suas regras próprias de recombinação. Para o problema TEAM descrito neste trabalho as regras são:

1. Se $xA_{\text{base}}[j] = xA_{\text{guia}}[j]$
então $xA_{\text{nova}}[j] = xA_{\text{base}}[j]$;
Se $xB_{\text{base}}[j] = xB_{\text{guia}}[j]$
então $xB_{\text{nova}}[j] = xB_{\text{base}}[j]$;
2. Se $xA_{\text{base}}[j] = 1$ e $xA_{\text{guia}}[j] = 0$
então $xA_{\text{nova}}[j] = 1$;
3. Se $xA_{\text{base}}[j] = 1$ e $xA_{\text{guia}}[j] = \#$
então $xA_{\text{nova}}[j] = 1$;
4. Se $xA_{\text{base}}[j] = \#$ e $xA_{\text{guia}}[j] = 1$
se $n1A_{\text{nova}} < p^A$ então $xA_{\text{nova}}[j] = 1$;
se $n1A_{\text{nova}} \geq p^A$ então $xA_{\text{nova}}[j] = 0$;
5. Se $xA_{\text{base}}[j] = \#$ e $xA_{\text{guia}}[j] = 0$
então $xA_{\text{nova}}[j] = 0$;
6. Se $xA_{\text{base}}[j] = 0$ e $xA_{\text{guia}}[j] = 1$
se $n1A_{\text{nova}} < p^A$ então $xA_{\text{nova}}[j] = 1$;

- se $n1A_nova \geq p^A$ então $xA_nova[j] = 0$;
7. Se $xA_base[j] = 0$ e $xA_guia[j] = \#$ então $xA_nova[j] = 0$;
 8. Se $xB_base[j] = 1$ e $xB_guia[j] = 0$ se $xA_nova[j] = 1$ então $xB_nova[j] = 1$; senão $xB_nova[j] = 0$;
 9. Se $xB_base[j] = 1$ e $xB_guia[j] = \#$ se $xA_nova[j] = 1$ então $xB_nova[j] = 1$; senão $xB_nova[j] = 0$;
 10. Se $xB_base[j] = \#$ e $xB_guia[j] = 1$ se $xA_nova[j] = 1$ então $xB_nova[j] = 1$; senão $xB_nova[j] = \#$;
 11. Se $xB_base[j] = \#$ e $xB_guia[j] = 0$ se $xA_nova[j] = \#$ então $xB_nova[j] = \#$; senão $xB_nova[j] = 0$;
 12. Se $xB_base[j] = 0$ e $xB_guia[j] = 1$ se $xA_nova[j] = 1$ então $xB_nova[j] = 1$; senão $xB_nova[j] = 0$;
 13. Se $xB_base[j] = 0$ e $xB_guia[j] = \#$ se $xA_nova[j] = 1$ então $xB_nova[j] = 1$; senão $xB_nova[j] = 0$;

5. Alguns resultados para o modelo reduzido

Utilizando o AGC, em algumas rodadas, foi possível encontrar mais de uma solução ótima, que são: 01100 01000, 11000 01000 e 01010 01000, cujo valor da função objetivo é 9, coincidindo com o valor encontrado pelo Cplex [7]. A Figura 2 mostra, em porcentagem, o tipo de solução encontrada para o modelo reduzido.

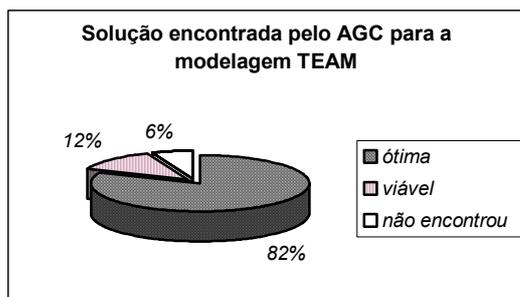


Figura 2 – Tipos de soluções encontradas com o uso do AGC para o modelo reduzido.

6. Conclusões

A utilização do AGC permite encontrar a solução para o problema de localização de ambulâncias pelo modelo TEAM que contempla dois tipos diferentes de veículos, tal qual é realidade no Brasil, através do SAMU.

O AGC foi capaz de encontrar a solução ótima em 82% das vezes em que foi utilizado para o modelo reduzido.

Alguns outros resultados estão sendo analisados para a cidade de São José dos Campos, utilizando uma instância maior.

As soluções viáveis encontradas através do AGC serão usadas posteriormente em um modelo hipercubo para algumas análises das medidas de desempenho do sistema, dentre elas o tempo médio na fila, a carga de trabalho de cada ambulância, o tempo médio de viagem e o tempo médio de resposta ao chamado de cada ambulância.

Referências

- [1] Brotcorne, L. Laporte, G. e Semet, F. Ambulance Location and relocation models. **European Journal of Operations Research**, v. 147, n. , p. 451-463, Jun. 2003.
- [2] Church, R.L. e ReVelle, C. The maximal covering location problem. **Papers of the Regional Science Association** 32,101-118, 1974
- [3] Daskin, M. S. Location, Dispatching, and Routing Models for Emergency services with Stochastic Travel Times. In: **Spatial Analysis and Location - Allocation Models**. New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1987. v. , Cap. 9, p. 224-265
- [4] Gendrau, M., Laporte, G. e Semet, F. A Dynamic Model and Parallel Tabu Search heuristic for Real-time Ambulance Relocation. **Parallel Computing** 27,1641-1653, 2001.
- [5] Hogan, K. ReVelle, C. Concepts and Applications of Backup Coverage. **Management Science**, v. 32, n. 11, p. 1434-1443, Nov. 1986
- [6] <http://dtr2001.saude.gov.br/samu>
- [7] ILOG/CPLEX 6.5. ILOG S.A. 1999.
- [8] Lorena, L. A. N. Furtado, J. C. Constructive Genetic Algorithm for Clustering Problems. **Evolutionary Computation**, v. 9, n. 3, p. 309-327, 2001
- [9] Marianov, V. ReVelle, C. Sitting Emergency Services. In: **Facility location - A Survey of Applications and Methods**. New York: Springer, 1995. v. , Cap. 10, p. 199-223.
- [10] Schilling, D. Elzinga, D.J., Cohon, J., Church, R., ReVelle, C. The Team/Fleet Models for Simultaneous Facility and Equipment Siting. **Transportation Science**, v. 13, n. 2, p. 163-175, Maio 1979.
- [11] Swersey, A. J. The Deployment of Police, Fire and Emergency Medical Units. In: **Handbook in Op. Research and Management Science**. Amsterdam: North Holland, 1994. v. 6, Cap. 6, p. 151-200.
- [12] Toregas, C. Swain, R., ReVelle, C. e Bergman, L. The Location of Emergency Service Facilities. **Operations Research**, v. 19, n. , p. 1363-1373, 1971.