Modelos de Localização de Ambulâncias

Ana Paula Silva Figueiredo[1]
Luiz Antonio Nogueira Lorena
Solon Venâncio de Carvalho
LAC – Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
[1]anapaula@lac.inpe.br

Resumo

This paper presents a short review of some ambulance location models. These models are classified in two categories: deterministic and probabilistic. We present the following problems: MCLP (Maximal Covering Location Problem), MEXCLP (Maximal Expected Covering Location Problem), BACOP 1 and II (Backup Coverage) DSM, (Double Standard Model) and MALP I and II (Maximal Availability Location Problem).

Neste artigo é feita uma breve revisão de alguns modelos matemáticos de localização de ambulâncias. Os modelos são classificados em determinísticos e probabilísticos. Dentre os modelos apresentados o MCLP (Problema de localização de máxima cobertura) tem como objetivo máxima cobertura *e o MEXCLP a localização com máxima cobertura esperada. Os modelos BACOP I e II fazem a cobertura com backup, o modelo DSM com dois padrões de cobertura e os modelos MALP I e II tem como objetivo a máxima disponibilidade.*

1. Introdução

As questões relacionadas à localização e operação de serviços de emergência têm sido estudadas ao longo dos anos buscando soluções que possam atenuar as conseqüências decorrentes de uma atuação ineficiente, em especial que não atenda o indivíduo e, por conseguinte, a sociedade acerca de suas expectativas.

A localização de facilidades emergenciais desafia aqueles que têm a missão de planejar os sistemas de emergência, uma vez que estarão cumprindo um compromisso entre o atendimento ao indivíduo e a organização do sistema na tentativa de encontrar o melhor para ambos.

Segundo Swersey (1994) a polícia, os sistemas de emergência do corpo de bombeiros e de ambulâncias estão todos interessados em melhorar o bem estar público e compartilham o mesmo objetivo que é o de responder às chamadas dos cidadãos o mais rápido possível para evitar a perda da vida e diminuir os danos decorrentes de incidentes. Em cada sistema os problemas são o de decidir o número e a localização das unidades emergenciais e qual, ou quais unidades despachar para a chamada recebida. Marianov e ReVelle (1995) apresentam algumas questões que devem ser respondidas quando da localização e planejamento dos serviços emergenciais. Alguns dos critérios que são utilizados para julgar o desempenho dos serviços emergenciais são a velocidade com que o sistema reage quando a chamada emergencial é realizada e a habilidade do pessoal de atendimento em lidar com a situação. A localização dos serviços emergenciais influencia sobremaneira a eficiência sobre o tempo da resposta e será a motivação deste trabalho.

A primeira questão a ser respondida é "Quantos servidores são necessários?" Quando não houver restrições orçamentárias o número mínimo deve ser aquele que garanta a cobertura total da população. Diante de uma restrição orçamentária, o desempenho que o sistema poderá obter será o de melhor atender com os recursos disponíveis. Por exemplo, o objetivo pode ser o de atender a população com máxima cobertura e com a qualidade requerida pelo sistema em particular.

Outra pergunta é "Quanto tempo as pessoas envolvidas na emergência podem esperar pelo serviço emergencial antes que as conseqüências de sua falta se tornem intoleráveis?" Nos casos de emergências médicas, o risco de morte aumenta com o tempo de resposta. Assim o objetivo é minimizar o tempo de resposta, limitado a um orçamento. Uma outra abordagem é garantir que o atendimento a todas as chamadas esteja dentro de um tempo padrão, ou de maneira equivalente, assegurar que haja um servidor disponível para toda a demanda dentro de um tempo ou distância padrão.

"O que fazer quando os servidores não estiverem disponíveis?" Algum servidor pode não estar disponível devido a muitos fatores dentre eles, por exemplo, o tempo demandado para atender uma chamada anterior. Isto se refere ao fenômeno de congestionamento e a questão de qual unidade enviar quando o servidor mais próximo não estiver disponível. Uma política de envio não apropriada pode tornar o sistema não funcional, independente de todos os esforços para otimizar a localização. Mendonça e Morabito (2000) apresentam uma abordagem utilizada para localizar e despachar ambulâncias para atendimento emergencial em rodovias, utilizando o modelo hipercubo para filas espacialmente distribuídas.

Dentre outras questões que devem ser respondidas, destaca-se também a carga de trabalho. O planejamento do sistema emergencial precisa considerar a carga de trabalho dos atendentes de modo a proporcionar seu equilíbrio e também atendimento a requisitos trabalhistas. A carga de trabalho será influenciada pela política de despachos do sistema e revela a fração do tempo que o servidor, neste caso, a ambulância está ocupada.

Segundo Repede e Bernardo (1994) o objetivo dos Serviços de Emergências Médicas (EMS) é reduzir a mortalidade resultante de traumas e enfermidades agudas.

O alcance desta meta passa pelo tempo que uma equipe de paramédicos em uma ambulância de resgate leva até chegar ao local de onde se originou a chamada e posteriormente o tempo de transporte do paciente até o local apropriado de atendimento emergencial mais próximo.

O tamanho da frota de ambulâncias e suas localizações são fatores que podem ser gerenciados e controlados pelo planejamento do EMS e afetarão diretamente no alcance de sua meta. Há um relacionamento direto entre o tempo de resposta e a mortalidade e é isto que faz com que a localização de ambulâncias seja um problema importante a ser resolvido. Figueiredo (2003) faz uma revisão do processo de EMS, destacando os intervalos de tempo de um serviço típico de atendimento.

2. Modelos determinísticos de localização

Segundo Lorena (2003) o problema de localização consiste na escolha de locais para instalar um certo número de facilidades (servidores) que atendam um conjunto de clientes (pontos de demanda) distribuídos em um espaço geográfico e determinar a alocação dos clientes entre as facilidades de forma a otimizar um certo critério.

Em se modelando o problema de localização por cobertura, algumas informações serão relevantes: as posições potenciais para a localização das facilidades, a demanda em cada região, o tempo de viagem entre os pontos de demanda e os locais potenciais de localização das facilidades.

Segundo Brotcorne et al (2003) os primeiros modelos lidavam com problemas de localização estáticos e determinísticos ignorando as considerações estocásticas. Os modelos probabilísticos foram então sendo desenvolvidos para refletir o fato de que as ambulâncias operam como servidores num sistema de filas e algumas vezes estão indisponíveis para responder ao chamado. Os modelos dinâmicos são mais recentes e apresentam o problema de realocar repetidamente num mesmo dia as ambulâncias de modo a garantir melhor cobertura.

Os modelos de localização de ambulâncias podem ser definidos segundo grafos. O conjunto de nós de demanda é denotado por V e o conjunto de nós potenciais para localização denotado por W. A menor distância entre o nó i e o nó j é conhecida e denotada por t_{ij}. Um nó de demanda $i \in V$ é dito coberto pela localização j se e somente se $t_{ij} \leq r$, onde r é o padrão de cobertura. O conjunto de todos os nós que cobrem a demanda i é dado por $W_i = \{j \in W: t_{ij} \leq r\}$.

2.1 LSCM – Modelo de localização de cobertura de conjuntos

O modelo LSCM (*Location Set Covering Model*) apresentado por White e Case (1974) busca localizar o menor número de ambulâncias de modo que todos os nós de demanda tenham pelo menos uma ambulância inicialmente posicionada dentro do padrão de cobertura r. Neste contexto, isto significa que cada indivíduo na população terá pelo menos uma ambulância localizada dentro do padrão. Porém o problema considera que a população estará totalmente coberta mesmo quando a ambulância estiver atendendo, o que pode inviabilizar o modelo. A formulação do problema é

$$\text{(LSCM)} \qquad Min \sum_{j \in W} x_j \qquad (1)$$

$$\text{sujeito a} \qquad \sum_{j \in W_i} x_j \geq 1 \qquad (i \in V) \qquad (2)$$

$$x_i \in \{0,1\} \qquad (j \in W) \qquad (3)$$

x_j será igual a 1 se e somente se a ambulância estiver localizada no nó j.

A função objetivo (1) minimiza o número de facilidades requeridas e (2) estabelece que cada nó i de demanda deve ser coberto por pelo menos um servidor localizado dentro do padrão r, que é uma distância (ou, alternativamente, um tempo) pré-definida entre a facilidade e um servidor. Este modelo ignora o aspecto de que uma vez que a ambulância tenha sido enviada para atender um chamado, alguns nós de demanda estarão descobertos. Com este modelo pode-se determinar quantas ambulâncias serão necessárias, sendo que o número máximo pode eventualmente alcançar o valor |W|.

2.2 MCLP – Problema de localização com máxima cobertura

Segundo Brotcorne et al (2003), o problema LSCM exige que todos os pontos de demanda sejam cobertos, não importando quão grande ou pequena seja a população, quão distante estejam os nós uns dos outros na rede ou quão pequena seja a necessidade de serviços. Uma vez que os recursos para cobrir toda a população possam ser excessivos, Church e ReVelle (1974) apresentam um problema que não requer cobertura total de todos os nós, chamado problema de localização de cobertura máxima (MCLP). Este modelo fixa o número p de facilidades, que pode ser insuficiente para cobrir toda a população dentro do padrão de cobertura. Neste modelo o objetivo é maximizar a população ou o número de chamadas cobertas dentro do padrão r. A formulação do problema é:

$$\text{(MCLP)} \quad Max \quad \sum_{i \in V} d_i y_i \tag{4}$$

$$\text{sujeito a} \quad \sum_{j \in W_i} x_j \geq y_i \qquad (i \in V) \tag{5}$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p \tag{6}$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad (j \in W) \tag{7}$$

$$y_i \in \{0,1\} \qquad (i \in V) \tag{8}$$

d_i é a demanda do nó i e p é o número de ambulâncias disponíveis.

A função objetivo (4) maximiza a soma das demandas cobertas. A restrição (5) impõe que a demanda i não pode ser coberta a não ser que pelo menos uma facilidade esteja localizada dentro da distância (ou do tempo) padrão r. A restrição (6) fornece o número de ambulâncias disponíveis. Esta formulação pode ser utilizada para construir uma curva que reflete o compromisso entre a população coberta e o número de facilidades utilizadas.

2.3 Modelos de cobertura extra

Para garantir que a demanda esteja coberta, mesmo quando uma ambulância está realizando um atendimento, uma saída é localizá-las de modo a garantir cobertura extra.

Dentre os modelos de cobertura extra o modelo TEAM (*Tandem Equipment Allocation Model*), apresentado por Shilling et al (1979), foi utilizado para localizar dois tipos de veículos para combate a incêndios, porém no contexto da localização de ambulâncias pode ser utilizado para a localização de veículos BLS (*Basic Life Support*) e ALS (*Advanced Life Support*). Os serviços de emergência normalmente trabalham com dois tipos de veículos com diferentes habilidades e quantidades. Este modelo considera que a demanda estará coberta quando estiver coberta por ambos os tipos de ambulâncias, uma vez que seus tempos padrão de atendimento são diferentes.

Hogan e ReVelle (1986) apresentam a formulação de modelos de cobertura extra com backup (BACOP1 e BACOP2). Na formulação BACOP1 a função objetivo maximiza a demanda coberta duplamente, ao passo que na formulação BACOP2, a função objetivo (9) maximiza simultaneamente tanto a demanda coberta duplamente quanto a cobertura primária. A formulação BACOP2 é dada por :

$$\text{(BACOP2)} \quad Max \quad q\sum_{i \in V} d_i y_i + (1-q)\sum_{i \in V} d_i u_i \tag{9}$$

$$\text{sujeito a} \quad \sum_{j \in W_i} x_j - y_i - u_i \geq 0 \qquad (i \in V) \tag{10}$$

$$u_i - y_i \leq 0 \qquad (i \in V) \tag{11}$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p \tag{12}$$

$$0 \leq u_i \leq 1 \qquad (i \in V) \tag{13}$$

$$0 \leq y_i \leq 1 \qquad (i \in V) \tag{14}$$

$$x_j \geq 0 \qquad (i \in W) \tag{15}$$

A variável y_i é igual a 1 se e somente se o nó de demanda i ∈ V estiver coberto uma vez por uma ambulância dentro do padrão r e u_i será igual a 1 se e somente se o nó i for coberto duplamente dentro do padrão r. A restrição (10) impõe que a cobertura dada pelo primeiro e pelo segundo servidor é limitada pelo número de servidores localizados nas vizinhanças do nó de demanda i. Portanto se houver apenas um servidor nas vizinhanças, somente haverá a primeira cobertura. Se houver dois ou mais servidores haverá tanto a cobertura primária quanto a de *backup*. A restrição (11) indica que uma demanda só estará coberta duplamente se a estiver pelo menos uma vez.

Gendreau et al (1997) propõem um modelo com dupla cobertura, DSM (*Double Standard Model*), com o uso de dois raios r1 e r2 (r2 > r1). Toda a demanda deve ser coberta por uma ambulância localizada dentro do raio r2 e uma proporção α da demanda deve estar dentro do raio r1 da localização de uma ambulância.

São introduzidas as variáveis binárias γ_{ij} e δ_{ij}, de modo que $\gamma_{ij} = 1$ se a distância (ou o tempo) entre o vértice de demanda i e o vértice potencial de localização j for menor que o padrão r1, ou seja, $t_{ij} < r1$. De maneira similar $\delta_{ij} = 1$ quando, $t_{ij} < r2$. Caso contrário as variáveis assumem o valor zero.

Para garantir a dupla cobertura é possível localizar y_j ambulâncias no vértice j e p_j é o limite superior de y_j. A variável binária $x_i^{(k)}$ será igual a 1 se e somente se $i \in V$ estiver coberto pelo menos k (k = 1 ou 2) vezes dentro do raio r1. A formulação do modelo é tal que:

$$\text{(DSM)} \quad Max \quad \sum_{i \in V} d_i x_i^{(2)} \tag{16}$$

$$\text{sujeito a} \quad \sum_{j \in W} d_{ij} y_j \geq 1 \qquad (i \in V) \tag{17}$$

$$\sum_{i \in V} d_i x_i^{(1)} \geq a \sum_{i \in V} d_i \tag{18}$$

$$\sum_{j \in W} g_{ij} y_j \geq x_i^{(1)} + x_i^{(2)} \qquad (i \in V) \tag{19}$$

$$x_i^{(2)} \leq x_i^{(1)} \qquad (i \in V) \tag{20}$$

$$\sum_{j \in W} y_j = p \tag{21}$$

$$y_j \leq p_j \qquad (j \in W) \tag{22}$$

$$x_i^{(1)}, x_i^{(2)} \in \{0,1\} \qquad (i \in V) \tag{23}$$

$$y_j \quad \text{inteiro} \quad (j \in W) \tag{24}$$

Neste modelo a função objetivo (16) representa a demanda total coberta pelo menos duas vezes dentro de r1. As restrições (17) e (18) expressam os requerimentos de cobertura simples e dupla. A restrição (17) impõe que toda a demanda deva estar coberta dentro de r2. O lado esquerdo da restrição (19) conta o número de ambulâncias que cobrem $i \in V$ dentro de r1. O lado direito será igual a 1 se a demanda i for coberta apenas uma vez em r1 e igual a 2 se for coberta pelo menos duas vezes dentro de r1. As restrições (18) e (19) juntas asseguram que a proporção α de toda a demanda está coberta e que o raio de cobertura deve ser r1. Pela restrição (20) o nó $i \in V$ não pode ser coberto duplamente se não tiver sido coberto pelo menos uma vez. As restrições (21), (22) e (24) impõem limites no número de ambulâncias em cada nó.

3. Modelos de localização probabilísticos

Uma desvantagem dos modelos determinísticos é que eles partem da hipótese que os servidores estão disponíveis quando solicitados, o que nem sempre é razoável em aplicações práticas.

O congestionamento em serviços de atendimento de emergência pode causar a indisponibilidade de um servidor, mesmo que esteja localizado a menos de uma distância padrão, motivando o desenvolvimento de modelos de localização probabilísticos.

As formulações clássicas dos problemas de localização supõem que a demanda em um nó i precisa ser coberta por uma facilidade e que a facilidade instalada no nó j, designada para atendê-la será capaz de responder a toda demanda, mesmo que a distância entre a demanda e a instalação seja menor ou igual do que o padrão. Entretanto em situações do mundo real a facilidade que cobre a demanda do nó i pode não estar disponível.

Uma solução para este problema é formular o problema com cobertura múltipla, como nos modelos apresentados na seção 2.3. Outra maneira é tentar estimar o tempo em que a facilidade não está disponível. Chamando de q_j a fração do tempo em que a facilidade instalada no nó j não está disponível, os modelos probabilísticos tentam maximizar a cobertura, dispondo de um número finito (e muitas vezes incapaz de cobrir toda a demanda) de facilidades com uma confiança α estabelecida.

3.1 MEXCLP - Problema de localização de máxima cobertura esperada

Daskin (1983) apresenta a formulação do problema de localização de máxima cobertura esperada (MEXCLP). Nesta formulação assume-se que cada ambulância tem a mesma probabilidade q de estar ocupada e não poder atender a um chamado. Esta probabilidade é chamada de fração ocupada ou taxa de ocupação e pode ser estimada dividindo-se o tempo total estimado para todas as chamadas de todos os pontos de demanda pelo número de ambulâncias disponíveis.

Seja M (j = 1,2,..m,...M) o número de facilidades a serem localizadas e N (i = 1, ...N) o número de nós na rede. O número de facilidades disponíveis a qualquer momento segue a distribuição binomial tal que

Pr [j facilidades indisponíveis de um total de M] =

$$= \binom{M}{j} (1-p)^j p^{M-j} \qquad j = 0,...M \tag{25}$$

A probabilidade de que o nó k esteja coberto por uma facilidade disponível, dado que m facilidades o cobrem é

Pr [nó k esteja coberto por uma facilidade disponível dado que m sejam capazes de cobri-lo] = 1 – Pr [m facilidades estejam indisponíveis] = $1-p^m$ (26)

Seja $H_{k,m}$ uma variável aleatória igual ao número de demandas cobertas no vértice k por uma facilidade disponível, dado que m facilidades são capazes de cobri-lo.

$$H_{k,m} = \begin{cases} h_k & \text{com prob. } 1-p^m \\ 0 & \text{com prob. } p^m \end{cases} \tag{27}$$

e $$E(H_{k,m}) = h_k(1-p^m) \tag{28}$$

A contribuição marginal de uma facilidade, é dada por

$$\begin{aligned} \Delta E(H_{k,m}) &= E(H_{k,m}) - E(H_{k,m-1}) = \\ &= h_k p^{m-1}(1-p) \qquad m = 1,2,\ldots,M \end{aligned} \tag{29}$$

O modelo MEXCLP tem como objetivo maximizar a cobertura esperada de todas as áreas de demanda sob consideração (Galvão et al 2003) e sua formulação é dada por:

(MEXCLP) $$Max \sum_{k=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}(1-p)p^{j-1}h_k y_{jk} \tag{30}$$

sujeito a $$\sum_{j=1}^{M} y_{jk} - \sum_{i=1}^{N} a_{ki}X_i \le 0 \qquad \forall k \tag{31}$$

$$\sum_{i=1}^{M} X_i \le M \tag{32}$$

$$X_i = 0,1,...M \qquad \forall i \tag{33}$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall j,k \tag{34}$$

A restrição (31) conta o número de ambulâncias que cobrem o vértice de demanda j e a restrição (32) estabelece o limite superior, M, de ambulâncias a serem localizadas. Segundo Daskin (1983) o modelo permite localizar mais de uma ambulância no mesmo vértice. Como a função objetivo é côncava em p, o modelo não necessita de restrições de hierarquia.

3.2 MALP I e MALP II – Problemas de localização com máxima disponibilidade

O problema de localização de máxima cobertura (MCLP) tem como objetivo posicionar p ambulâncias de modo a maximizar a população coberta. ReVelle e Hogan (1989) apresentam a versão probabilística deste problema, o problema de localização com disponibilidade máxima (MALP) no qual são localizadas p ambulâncias de modo a maximizar a cobertura da população dentro de um tempo padrão com uma confiança α.

A probabilidade *q* de que uma ambulância esteja ocupada pode ser estimada a partir de simulação (Marianov e ReVelle 1995) ou através do modelo hipercubo (Larson e Odoni, 1981) e é chamada de fração ocupada. As duas versões dos modelos, MALP I e MALP II, propõem o problema da mesma maneira, exceto na fração de tempo ocupado da ambulância. No modelo MALP I considera-se que todas as ambulâncias são igualmente ocupadas e o modelo MALP II ajusta a fração do tempo ocupado em função da localização da ambulância.

3.2.1 MALP I

Nesta versão o tempo ocupado das ambulâncias é calculado igualmente para todas e é dado por

$$q = \frac{\bar{t}\sum_{i\in I} d_i}{24p} \tag{35}$$

A fração ocupada é calculada a partir da duração média $\bar{t}$ dos tempos de atendimento (horas) e a demanda d_i de chamadas por dia. I é o conjunto de vértices de demandas.

A probabilidade de disponibilidade de serviço pode ser escrita como

Pr[uma ou mais ambulancias disponiveis] ≥ α , ou seja

$$1 - q^{\sum_{j\in W_i} x_j} \ge a \tag{36}$$

que linearizado resulta em

$$\sum_{j\in W_i} x_j \ge b \tag{37}$$

$$b = \left\lceil \frac{\log(1-a)}{\log q} \right\rceil \tag{38}$$

onde x_j é um número inteiro de ambulâncias posicionadas em j e $\lceil s \rceil$ indica o menor inteiro maior do que s. Ou seja, cada vértice de demanda requer que *b* ambulâncias façam a cobertura para atingir o nível de confiança α.

Assim a formulação é dada por

$$\text{(MALP I)} \qquad Max \sum_{i \in I} d_i y_{ib} \qquad (39)$$

$$\text{sujeito a} \qquad \sum_{k=1}^{b} y_{ik} \leq \sum_{j \in N_i} x_j \qquad (i \in I) \qquad (40)$$

$$y_{ik} \leq y_{ik-1} \qquad (i \in I) \quad k = 2,\ldots b \qquad (41)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \qquad (42)$$

$x_j \in \{0,1\}$, $y_{ib} \in \{0,1\}$ e $y_{ik} \in \{0,1\}$, ou seja se a demanda d_i for coberta por pelo menos k servidores dentro do padrão, então y_{ik}=1.

3.2.2 MALP II

A versão MALP II relaxa a suposição de que a fração ocupada de cada servidor seja igual, assim cada servidor terá a sua fração ocupada. Se por um lado, o uso da fração ocupada específica de cada servidor em um local (vértice) pode ser uma escolha mais apropriada do que o uso de uma fração ocupada igual para todos os servidores, ela só é conhecida em função das localizações dos servidores e isto só é obtido como a solução de um modelo de localização. Portanto não é uma informação disponível previamente para a modelagem. Para se conhecer a fração ocupada de cada servidor instalado em determinado vértice, ReVelle e Hogan (1989) sugerem o modelo hipercubo apresentado por Larson e Odoni (1981), que descreve as medidas de desempenho do sistema, como a fração ocupada. O modelo hipercubo não é um modelo de localização, uma vez que devem ser conhecidas previamente as localizações das ambulâncias nos átomos geográficos. Este modelo não será discutido neste trabalho.

4.Conclusões

Os modelos de localização de facilidades emergenciais, como no caso das ambulâncias, deveriam contemplar a cobertura das demandas durante todo o tempo. Os modelos estáticos LSCM e MCLP consideram que não existirá uma demanda descoberta quando a ambulância estiver atendendo a um chamado. Por sua vez, os modelos com cobertura extra BACOP 1 e 2 proporcionam a cobertura com *backup* das áreas de demanda. Já no modelo DSM a cobertura é maximizada considerando-se padrões de cobertura diferentes.

Conhecidas as taxas de ocupação das unidades de atendimento, ou seja, o tempo estimado que elas se mantém em atendimento, o modelo probabilístico MEXCLP permite maximizar a cobertura esperada. Já nos modelos MALP I e II é maximizada a cobertura esperada para um dado grau de confiança.

Referências

Brotcorne, L., Laporte, G. e Semet, F. Ambulance location and relocation models. **European Journal of Operational Research**, 147:451-463, Jun. 2003.

Daskin, M.S. A maximum expected location model: Formulation, properties and heuristic solution. **Transportation Science**, **7**:48-70, 1983.

Church, R.L. e ReVelle, C. The maximal covering location problem. **Papers of the Regional Science Association**, **32**:101-118, 1974.

Figueiredo, A.P.S. Modelos de localização de facilidades emergenciais. A localização de ambulâncias. Exame de qualificação. INPE. 2003.

Gendreau, M.; Laporte, G. e Semet, F. Solving Ambulance Location Model by Tabu Search. **Location Science**, **5**(2):75-88, 1997.

Galvão, R.D.; Chiyoshi, F.Y. e Morabito, R. Towards unified formulations and extensions of two classical probabilistic location models. **Computers & Operation Research**, no prelo, 2003.

Hogan, K. e ReVelle, C. Concepts and Applications of Backup Coverage. **Management Science**, **32**(11):1434-1444, 1986.

Larson, R. e Odoni, A. **Urban Operations Research**. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice- Hall, 1981.

Lorena, L. A. N. **Análise Espacial de Redes com Aplicações em Sistemas de informões Geográficas.** <http://www.lac.inpe.br/~lorena/producao/Analiseredes.pdf>. Maio 2003.

Marianov, V. e ReVelle, C. Siting Emergency Services. In: **Facility Location - A Survey of Applications and methods**. New York: Springer, Cap. 10, p. 199-223, 1995

Mendonça, F.C. e Morabito, R. Aplicação do modelo Hipercubo para análise de um sistema médico-emergencial em rodovia. **Gestão e produção**, **7**(1):73-91, Abr. 2000.

Repede, J.F. e Bernardo, J.J. Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky. **European Journal of Operational Research**, **75**:567-581, 1994.

ReVelle, C., Hogan, K. The maximum availability location problem. **Transportation Science**, **23**(3):192-200, 1989.

Shilling, D., Elzinga, D.J., Cohon J., Church, R. e ReVelle, C. The Team/Fleet models for Simultaneous facility and equipment siting. **Transportation science**, **13**(2):163-175, Maio 1979.

Swersey, A.J. The Deployment of Police, Fire and Emergency Medical Units. In: **Handbooks in Operations Research and Mangement Science**. Amsterdam: NorthHolland, v. 6, Cap. 6, p. 151-200, 1994.

White, J. A. e Case, K. E. On covering problems and the central facilities location problem. **Geographical Analysis**, 281:281-293, 1974.