



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

MODELOS DA PESQUISA OPERACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO ESPACIAL DE SISTEMAS DE ATENDIMENTO DE URGÊNCIA.

João Carlos Souza

Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário da Trindade
88040-900 Florianópolis, SC
jcsouza@arq.ufsc.br

RESUMO

Propõe-se um modelo capaz de proporcionar um caráter científico para o problema de distribuição das equipes atendimento urgências, em áreas urbanas. Resolve-se o problema pelo método das p-medianas usando-se como ponderador um fator proporcional à demanda de cada zona. Incluem-se, como restrições adicionais, características dos modelos p-centro e conjuntos de cobertura.. Uma aplicação prática foi feita para o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência, SAMU, no município de Florianópolis, constatando-se que, com oito equipes de socorristas é possível obter-se uma redução significativa do atual tempo resposta das viaturas e, conseqüentemente, uma elevação do nível de serviço do sistema. Além disto, comprovou-se matematicamente que a localização da viatura num ponto fixo, no centro da zona de influência, é preferível do que a opção de um patrulhamento móvel.

Palavras Chave: P-mediana, sistemas emergenciais, distribuição espacial

ABSTRACT

The objective of this paper is to consider the use of models of the operational research to decide the problem of distribution of the teams of urgency attendance in urban areas. The problem is solved for the method of p-medium using as the ponderator a proportional factor to the demand of each zone. They are included, as additional restrictions, characteristics of the models p-center and sets of covering. A practical application was made in the Service of Mobile Attendance of Urgency, SAMU, in the city of Florianópolis, evidencing itself that, with eight Help teams is possible to get a significant reduction of the current time reply of the units and, consequently, a rise of the level of service of the system. Moreover, one proved mathematically that the localization of the unit in a fixed point, in the center of the influence zone, is preferable of what the option of a mobile patrolling.

Key words: P-median, emergence systems, spatial distribution

1. INTRODUÇÃO

É comum que planejadores tenham dificuldades ao dimensionar sistemas de transportes relacionados ao atendimento de uma população numa determinada área de estudo. As questões mais frequentes que surgem são: Quantas instalações de serviço devem ser implantadas? Qual o tamanho destas instalações? Onde deverão estar localizadas? Caso as instalações não estejam atendendo a contento, quando expandir o sistema?

Para respondê-las é necessário conhecer-se profundamente como funciona o sistema a ser implantado, qual a população de cada região da área de estudo, como e em qual proporção cada uma dessas regiões irá solicitar o serviço, como se dará o crescimento da procura pelo serviço no decorrer do tempo, além de outras questões. Portanto, é preciso saber-se qual a relação entre estes dados, como eles interagem entre si, quais apresentam maior importância relativa, entre outras.

Como normalmente a demanda pelos serviços cresce com o tempo, é natural que depois de um determinado período os equipamentos disponíveis não consigam atendê-la satisfatoriamente, ou seja, ficam saturados. A pesquisa também tem por objetivo determinar o intervalo de tempo em que o sistema deve ser revisto, tendo como base a evolução da curva de procura pelo serviço nos vários distritos da região em estudo.

Considerando a realidade atual de morbidade nas maiores cidades brasileiras relativo a todas as urgências, inclusive as relacionadas ao trauma e a violência, o Governo Federal, através do decreto 5055, de 27/04/2004, instituiu o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência – SAMU, que é um programa que tem como finalidade prestar o socorro à população em casos de emergência em qualquer lugar: residências, locais de trabalho e vias públicas. O Ministério da Saúde (MS) está investindo R\$ 297 milhões para implantar o Serviço. Estes recursos são 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.

O MS propõe o financiamento do custeio dos serviços já existentes no país, assim como daqueles que se organizarem a partir da aprovação de seus projetos. 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 por habitantes.

Com o SAMU, pretende-se reduzir o número de óbitos, o tempo de internação em hospitais e as seqüelas decorrentes da falta de socorro precoce. O serviço funciona 24 horas por dia com equipes de profissionais de saúde, como médicos, enfermeiros, auxiliares de enfermagem e socorristas que atendem às urgências de natureza traumática, clínica, pediátrica, cirúrgica, gineco-obstétrica e de saúde mental da população.

A solicitação de serviço é feita através de uma ligação telefônica, que é atendida por técnicos na Central de Regulação que identificam a emergência e, imediatamente, transferem o telefonema para o médico regulador. Esse profissional faz o diagnóstico da situação e inicia o atendimento no mesmo instante, orientando o paciente, ou a pessoa que fez a chamada, sobre as primeiras ações. Ao mesmo tempo, o médico regulador avalia qual o melhor procedimento para o paciente: orienta a pessoa a procurar um posto de saúde; designa uma ambulância de suporte básico de vida, com auxiliar de enfermagem e socorrista para o atendimento no local; ou, de acordo com a gravidade do caso, envia uma UTI móvel, com médico e enfermeiro.

Com poder de autoridade sanitária, o médico regulador comunica a urgência ou emergência aos hospitais públicos e, dessa maneira, reserva leitos para que o atendimento de urgência tenha continuidade.

Os especialistas em e os manuais de primeiros socorros ensinam que se deve tomar muito cuidado no atendimento do doente. Dizem: “Só transporte o paciente em condições inadequadas ou só retire a vítima dos escombros se suspeitar que ela corra risco iminente de perda de vida ou se houver perigo de incêndios. Em caso contrário deixe-a no local onde está: os socorristas saberão retirá-la e movimentá-la do modo mais eficiente possível”. É muito provável que, não se conhecendo os procedimentos corretos a serem seguidos, agrave-se o seu estado de saúde. Portanto um atendimento rápido, com pessoas especializadas e bem equipadas, é sempre preferível. A meta deste trabalho é reduzir os atrasos devidos ao tempo de viagem, que representam a parcela mais significativa do tempo resposta do sistema.

O sucesso de uma operação de socorro a pacientes em situação de emergência depende essencialmente da rapidez da chegada da equipe de atendimento, ou seja do tempo resposta. O tempo resposta, entretanto, é composto de vários elementos, como: o tempo para coletar as informações sobre o local e a natureza do incidente, possíveis filas em situações de congestionamento, tempo em que a solicitação deve aguardar até que se disponha de uma unidade de emergência para atendê-la e, finalmente, o tempo requerido para que o veículo se desloque desde a sua base até o local da emergência.

Na maioria das cidades brasileiras, os critérios para distribuição das ambulâncias do SAMU são empíricos, dificilmente baseando-se em estudos ou projetos de pesquisa. As viaturas estão sendo simplesmente “espalhadas” pela área urbana, mantendo-se, quando muito, certa “equidistância” entre elas. Nos problemas de distribuição e localização, o objetivo geral é elaborar um procedimento lógico que indique os locais mais convenientes dentro da área em estudo para se implantar uma ou várias facilidades, levando em conta um conjunto de considerações a respeito do comportamento da demanda e a natureza dos custos de suprir esta demanda em função da distribuição espacial daquelas facilidades.

A meta deste trabalho é, em última escala, reduzir os atrasos devidos ao tempo de viagem, que representam a parcela mais significativa do tempo resposta. Este tempo de viagem depende basicamente dos seguintes fatores: 1) O número de veículos ou unidades de atendimento emergencial disponíveis e 2) A localização das bases das viaturas de emergência;

Obviamente, quando se aumenta a frota de veículos disponíveis, o tempo médio de viagem para atendimento de uma emergência decresce caso as unidades estejam convenientemente distribuídas na região em estudo. Esta “distribuição conveniente” é obtida através da utilização de modelos matemáticos que levam em conta, além das distâncias a serem percorridas, as demandas por atendimentos daquela região.

2. MODELOS DE LOCALIZAÇÃO ESPACIAL

Os modelos de distribuição espacial, de modo geral foram concebidos de maneira a permitir a localização ótima de uma série de equipamentos ou serviços alocando uma determinada demanda a eles. A literatura mostra que uma grande variedade de objetivos tem sido otimizada. Estes, geralmente, minimizam alguma função de custos de viagem entre as facilidades e os pontos de demanda, porém apresentam algumas desvantagens quando aplicados em sistemas de atendimento emergencial. Somente em problemas com demanda

uniforme em toda a região em estudo é que se admite o apenas o emprego da distância como elemento definidor da distribuição das facilidades. É questionável também a utilização de custos monetários para avaliação de situações onde são envolvidos vidas humanas, ferimentos e bens pessoais, além de outros custos indiretos (Drezner, [1995])

Os principais modelos de distribuição espacial citados na literatura são: p-mediana ou minisun, p-centro ou minimax e conjuntos de cobertura. No modelo p-mediana, o número de facilidades (p) é um dado exógeno, ou seja, pré-estabelecido, procurando-se distribuí-las de modo que o maior número de pessoas tenha acesso às facilidades, dentro da menor distância média possível e com o menor “custo do incidente”, que pode ser: tempo de viagem, tempo resposta, prejuízos financeiros, etc. Procura-se minimizar a soma dos custos de transportes associados com p facilidades.

O modelo de distribuição espacial com p-mediana pode, matematicamente, ser expresso como:

$$\text{Dado n:} \quad \text{Minimizar} \quad Z = \left(\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m d_{ij} x_{ij} a_i \right) \quad (1)$$

Onde: m - é o número de zonas

n - é o número de locais viáveis para a localização da facilidade;

y_j - distrito onde está instalada a facilidade sendo = 1 se uma viatura (unidade) é baseada no local j , ou 0 nos demais casos

$x_{ij} = 1$ se a facilidade no local j atende a zona i , 0 nos outros casos;

d_{ij} é o “custo” de atender a zona i a partir da estação j .

a_i = fator de ponderação do custo para atender o distrito i .

Outra família de modelos de localização é a que utiliza a estratégia *Minimax* ou problema *p-centro* para localizar facilidades ou unidades. Neste caso o objetivo não é minimizar o custo total, mas sim minimizar o máximo custo, como por exemplo, a máxima distância entre algum ponto de geração de demanda e a facilidade mais próxima. Formalmente o problema pode ser expresso como:

$$\text{Min } Z \quad (2)$$

Onde:

$$Z \geq d_{ij} x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Os modelos de conjuntos de cobertura determinam a localização ótima das instalações de acordo com uma ou mais medidas de desempenho. Para resolvê-los utiliza-se programação inteira binária, como segue:

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n y_j \quad (4)$$

No presente trabalho apresenta-se um modelo misto capaz de proporcionar um caráter mais equitativo para o problema de distribuição de unidades de serviços de atendimento emergencial em áreas urbanas. Resolve-se o problema pelo método da p-mediana, incluindo-se, como restrições adicionais, algumas das características dos modelos p-centro e conjuntos de cobertura.. Assim, nos problemas de p-mediana, o objetivo é minimizar as distâncias médias entre a facilidade instalada e o local do incidente, o que pode deixar alguns distritos mais afastados e com pouca probabilidade de acidentes com proteção insatisfatória ou com

um tempo resposta esperado muito alto. Isto não acontece quando se resolve o problema utilizando a estratégia do p-centro, que visa minimizar a maior distância entre o local do acidente e o da viatura. A vantagem de se utilizar a estratégia p-mediana, é que se garante a um maior número de pessoas um nível de serviço mais elevado. Para resolver o inconveniente de se deixar alguns dos possíveis usuários com um serviço com qualidade inferior, incluiu-se a restrição de que nenhum distrito deva ficar mais afastado do que uma distância máxima preestabelecida.

Esta restrição também induz a adicionar uma das características dos modelos de conjuntos de cobertura, que inclui na solução do problema tantas facilidades quantas sejam necessárias para atender uma determinada exigência como, por exemplo, o tempo resposta máximo. Assim, no modelo desenvolvido neste trabalho, que tem como base a estratégia p-mediana onde a quantidade de unidades de serviço é, em princípio, pré fixada, esta quantidade de unidades vai crescendo até que se atinja um padrão de atendimento mínimo, no qual todos os distritos ficam “cobertos” pelo tempo resposta máximo considerado como razoável.

Um fato que não pode ser desprezado é que, em problemas de natureza emergencial, sempre surge a dúvida sobre o posicionamento da viatura de socorro: esta deve permanecer em movimento, patrulhando a sua área de abrangência, ou deve permanecer estacionada em um ponto fixo desta região, deslocando-se apenas quando recebe uma chamada para atender a uma ocorrência?

Com base nas idéias de Larson [1981], que analisou funções com variáveis aleatórias, comprova-se a seguir que o tempo resposta esperado para atendimento de emergências é menor quando a viatura fica fixa no centro do distrito, aguardando as chamadas, do que quando fica em movimento.

Para demonstração da afirmação acima, se tomará como base um trecho qualquer de uma rodovia com comprimento T e uma viatura de atendimento de emergências circulando neste trecho. O raciocínio poderá ser ampliado para um espaço bidimensional como um bairro de uma cidade.

Supondo que o trecho T tenha dimensão igual a uma unidade de comprimento e que ocorre um acidente em algum ponto deste trecho. Definindo as seguintes variáveis aleatórias de interesse:

X_1 = Localização do acidente, $0 \leq X_1 \leq 1$.

X_2 = Localização da unidade de atendimento emergencial, $0 \leq X_2 \leq 1$

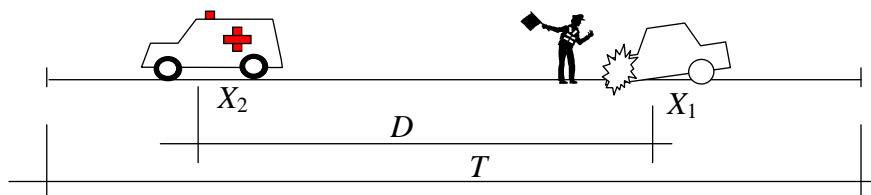


Figura 1 – posição do acidente e da viatura numa rodovia

O espaço amostral conjunto fica representado por um quadrado no quadrante positivo com $0 \leq X_1 \leq 1$ e $0 \leq X_2 \leq 1$. Para definir a função densidade de probabilidade conjunta assume-

se que a localização da viatura de emergência e do acidente são uniforme e independentemente distribuídos sobre o trecho de rodovia, então:

$$f_{x_1, x_2}(x_1, x_2) = f_{x_1}(x_1)f_{x_2}(x_2) = \begin{cases} 1 \cdot 1 = 1 \rightarrow \text{se } 0 \leq X_1, X_2 \leq 1 \\ = 0 \rightarrow \text{Nos outros casos} \end{cases} \quad (5)$$

A distância D pode ser expressa como uma função de X_1 e X_2 , $D = |X_1 - X_2|$ e o espaço amostral correspondente ao evento $(D \leq y)$ ou seja $|X_1 - X_2| \leq y$ pode ser definido como:

$$F_D(y) \equiv P\{D \leq y\} = P\{|X_1 - X_2| \leq y\} \quad (6)$$

Para remover o valor absoluto do operador, deve-se considerar dois casos separadamente: caso 1: $X_1 \geq X_2$; caso 2 $X_1 < X_2$. Para o primeiro caso, $D = X_1 - X_2$, então $0 \leq x_1 - x_2 \leq y$ ou $x_1 \geq x_2 \geq x_1 - y$. Para o segundo caso; $D = X_2 - X_1$, então $0 \leq x_2 - x_1 \leq y$ ou $x_1 \leq x_2 \leq y + x_1$, então o espaço amostral R se apresenta como a parte haxurada da figura a seguir:

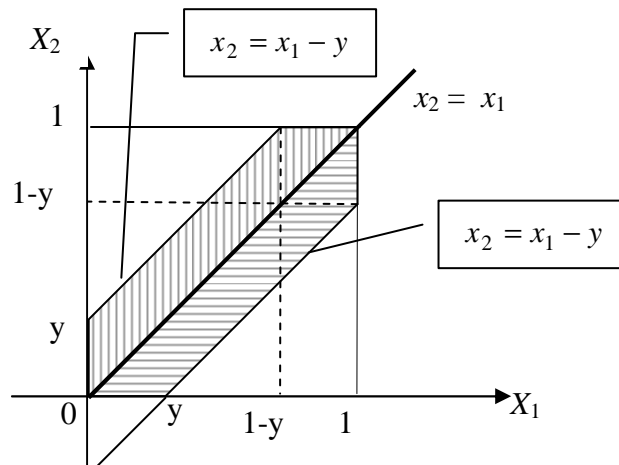


Figura 2 – Espaço amostral conjunto

Para obter $F_D(y)$ integra-se $f_{x_1, x_2}(x_1, x_2)$ sobre o conjunto de pontos da região haxurada:

$$F_D(y) = P(D \leq y) = \iint_R f_{x_1, x_2}(x_1, x_2) dx_1 dx_2$$

$$F_D(y) = \int_0^y \int_0^{x+y_1} 1 dx_1 dx_2 + \int_y^{1-y} \int_{x-y_1}^{x+y_1} 1 dx_1 dx_2 + \int_{1-y}^1 \int_{x_1}^1 1 dx_1 dx_2 \quad (7)$$

Então, após o desenvolvimento da integral, temos:

$$F_D(y) = -y^2 + 2y \quad 0 \leq y \leq 1 \quad (8)$$

Diferenciando a f_{dp} de D , obtém-se:

$$f_D(y) = \frac{dF_D(y)}{dy} = \begin{cases} 2(1-y) \rightarrow 0 \leq y \leq 1 \\ 0 \rightarrow \text{Nos outros casos} \end{cases} \quad (9)$$

A partir da f_{dp} pode-se obter informações relacionadas a D , por exemplo, o valor esperado ou valor médio de D :

$$E[D] = \int_{-\infty}^{\infty} y \cdot f_D(y) \cdot dy = \int_0^1 y \cdot 2(1-y) dy = \frac{1}{3} \quad (10)$$

Portanto, o valor esperado entre dois pontos aleatórios no intervalo $[0,1]$ é de um terço do comprimento deste trecho. A variância também pode ser obtida como segue:

$$\sigma_D^2 = E[D^2] - (E[D])^2 = \int_0^1 y^2 \cdot 2(1-y) dy - \frac{1}{9} = \frac{1}{18} \quad (11)$$

Analisando a alternativa de optar-se pela localização da viatura de atendimento no ponto médio do trecho da rodovia em estudo, tem-se $X_2 = 1/2$; então o espaço amostral torna-se uma reta. Se a nova distância de viagem é $D' = \left| X_1 - \frac{1}{2} \right|$, a região em que $(D' \leq y)$ é o segmento de reta de comprimento $2y$ centrado em $X_1 = 1/2$.

Integrando a *fdp* uniforme de X_1 , tem-se

$$F_{D'}(y) = P\{D' \leq y\} = P\left\{ \left| X_1 - 1/2 \right| \leq y \right\} = 2y \rightarrow (0 \leq y \leq 1/2), \text{ então, a } fdp \text{ de } D' \text{ é:}$$

$$F_{D'}(y) = \int_{\frac{1}{2}-y}^{\frac{1}{2}+y} 1 \cdot dx_2 = 2y \quad (12)$$

$$f_{D'}(y) = \frac{d}{dy} F_{D'}(y) = \begin{cases} 2 \rightarrow 0 \leq y \leq \frac{1}{2} \\ 0 \rightarrow \text{Nos demais casos} \end{cases} \quad (13)$$

Pode-se agora calcular a média e a variância, obtendo-se:

$$E[D'] = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{D'}(y) \cdot y \cdot dy = \int_0^{\frac{1}{2}} 2 \cdot y \cdot dy = \frac{1}{4} \quad (14)$$

$$\sigma_{D'}^2 = E[D'^2] - (E[D'])^2 = \frac{1}{48} \quad (15)$$

Conclui-se que é mais interessante que a viatura de socorro fique estacionada no ponto médio do trecho rodoviário sob sua responsabilidade, deslocando-se apenas quando for solicitada. A distância média esperada deste deslocamento será de um quarto do comprimento do trecho, menor, portanto, do que estando em movimento ao longo do mesmo.

O mesmo raciocínio pode ser aplicado para o caso de duas direções, considerando-se uma área retangular com dimensões x_0, y_0 , sendo os lados paralelos aos eixos de coordenadas. Supondo que um acidente ocorre nas coordenadas x_1, y_1 e que a ambulância está localizada no ponto x_2, y_2 , chega-se a mesma conclusão expressa nas equações 14 e 15, ou seja, é mais conveniente que a viatura fique estacionada no centro do distrito, aguardando as chamadas dos pacientes. Por isso o modelo de distribuição proposto a seguir levará em consideração apenas a alternativa de alocar a unidade de socorro no centro do distrito.

Existem basicamente três métodos para resolver o problema, a saber: Enumeração exaustiva, programação matemática ou aproximações heurísticas.

O processo de enumeração exaustiva requer o cálculo da função objetivo para cada combinação possível de p nos n locais viáveis para implantação das facilidades. No entanto o número de combinações de p em n locais pode ser muito elevado e pode requerer um volume de cálculos excessivo.

Aproximações por programação matemática não estão prontamente disponíveis para problemas do tipo formulado neste trabalho, pois, se por um lado, a função objetivo é não linear, com desenvolvimento complicado em função das variáveis de decisão, por outro, o número de restrições e variáveis de decisão é muito grande, mesmo em problemas de tamanho moderado.

Implementou-se neste trabalho a aproximação heurística a proposta por Teitz e Bart in Reilly (1983), conhecida como “*site-substitution approach*”. Essencialmente, este método inicia com um conjunto semente de pontos, que são substituídos um a um, trocando-se os pontos dentro do conjunto corrente por pontos fora do conjunto corrente. Se a substituição de um determinado ponto viável para a instalação da facilidade, reduz o valor da função objetivo, então o novo local é incluído e o local antigo é eliminado do conjunto corrente. Este processo continua até que nenhuma substituição conduza a um decréscimo de valor da função objetivo.

Nota-se que, com a utilização desta heurística, o conjunto final de pontos pode depender do conjunto semente inicialmente escolhido. É conveniente, por isso, executar o procedimento várias vezes, cada uma usando um novo conjunto semente de pontos, que pode ser a combinação obtida na interação precedente, selecionando-se o conjunto de locais que se repetiram mais vezes a partir das diversas execuções.

No desenvolvimento do modelo computacional todas as restrições previstas no modelo matemático foram consideradas, assim:

- a) O número de unidades ou equipamentos a serem alocados é pré-fixado, dependendo da disponibilidade destes equipamentos e do tempo resposta máximo admitido pelo sistema.
- b) Todos os distritos são atendidos por, pelo menos, uma unidade de serviço. O programa também indica por ordem, considerando o critério de menor distância, quais as unidades mais próximas ao local do incidente caso a unidade de serviço alocada a este distrito esteja ocupada atendendo a uma outra ocorrência.
- c) Todos os distritos são atendidos por, pelo menos, uma unidade de serviço localizada numa distância ou com um tempo resposta inferior a um valor máximo admissível e pré-estabelecido.

No modelo foram incluídos critérios práticos para distribuir as viaturas de atendimento emergencial numa área urbana. Utilizaram-se, além da distância entre os diversos centróides dos distritos, informações relativas e a probabilidade de ocorrerem chamadas de emergência em cada um destes distritos, tendo como base o banco de dados do Corpo de Bombeiros, que realiza serviço similar há muitos anos..

Para aplicação no modelo a distância entre os distritos foi considerada como a distância centro a centro, acrescida da distância média interna do distrito que, por sua vez, foi determinada em função da área e da forma que as áreas urbanizadas se distribuem nesta sub-região.

Como existem distritos que possuem alta taxa de ocorrências e/ou grande população, procura-se, propositadamente, privilegiá-los, ou seja, pretende-se dar maior atenção para as regiões onde a possibilidade proporcional de acontecerem incidentes é maior. Então, para haver um critério claro e preciso para ponderar os dados de entrada no sistema, adotou-se um “Índice de Risco - Ir_i ”, que representa a probabilidade de que um habitante de uma determinada região i necessite solicitar o serviço de atendimento emergencial. Adotou-se a seguinte relação:

$$Ir_i = \frac{P_i}{\mu_i} \quad (16)$$

Onde P_i é a população do distrito i e
 μ_i é a média anual de ocorrências no distrito i .

Como se trabalha com a matriz distância, estes Ir_i tem como objetivo ponderar seus arcos, de maneira a aplicá-la no modelo de distribuição espacial das unidades de emergência. Para ponderar o comprimento dos arcos da matriz de distâncias utilizou-se a soma dos índices de risco dos dois nós que ligam os arcos criando-se um índice de ponderação Ip_{ij} dado por:

$$Ip_{ij} = Ir_i + Ir_j \quad i \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

Para facilidade dos cálculos, adotou-se um índice de ponderação proporcional IP_{ij}^* em relação ao maior IP_{ij} , assim:

$$IP_{ij}^* = \frac{IP_{ij}}{\text{maior}IP_{ij}} \quad (18)$$

A matriz ponderada de distâncias foi, então, calculada pela seguinte fórmula:

$$d_{ij}^* = IP_{ij}^* \cdot d_{ij} \quad (19)$$

Onde d_{ij}^* é o comprimento ponderado do arco que liga o nó i com o nó j e
 d_{ij} é o comprimento real do arco que liga o nó i com o nó j

3 - MODELO DE ALOCAÇÃO TEMPORAL

O desenvolvimento do modelo de alocação temporal teve por objetivo determinar o intervalo de tempo em que o sistema deve ser revisto, tendo como base o crescimento da demanda pelos serviços nos vários distritos da região em estudo.

Desde o início da década de 60 muitos estudos quantitativos relacionados com a expansão da capacidade de instalações e sistemas foram realizados. Manne (1961) apresentou um trabalho seminal da área, cujos contornos foram ampliados por Srinivasan (1967), Freidenfelds (1980), Luss (1982), Li e Tirupati (1994) e outros. De uma forma geral os problemas de expansão de capacidade consideram uma curva de projeção da demanda no tempo, a qual deve ser atendida dentro de um certo nível de serviço (qualidade de atendimento) pré-definido. Em determinados instantes ao longo do horizonte do projeto, é acrescentada uma nova facilidade ao sistema com capacidade x .

Cada distrito possui uma função de demanda própria que indica a tendência de crescimento das ocorrências deste distrito. Esta função é obtida a partir da calibração de uma curva que melhor descreva o desenvolvimento da demanda pelo serviço que se pretende implantar em determinado distrito.

A possibilidade de existir uma região onde o crescimento da demanda para serviços emergenciais tenha comportamento determinístico, é muito remota. O natural e o mais provável é que a demanda tenha comportamento aleatório com tendência de crescimento. Então, neste caso, é necessário se levar em conta esta aleatoriedade, considerando-se, também, que a região estará dividida em m distritos, atendidos por várias unidades de emergência. Então, conforme Souza(1996) se a demanda tiver crescimento linear porém probabilístico, o problema de determinar o tempo de primeira passagem pode ser resolvido pela seguinte relação:

$$E[t_\tau] = \frac{D_j^* - D_j^{(0)}}{\mu_j} \quad (20)$$

Onde:

D_j^* representa a demanda máxima que a unidade de serviço baseada em j tem a capacidade de atender (nível crítico da demanda);

$D_j^{(0)}$ representa o nível atual da demanda e;

μ_j representa o crescimento linear médio da demanda.

Quando a demanda apresenta crescimento exponencial, a equação fica:

$$D_j^* = D_j^{(0)} \exp[\mu_j' E[t_j]] \quad (21)$$

Sendo $E[t_{ij}]$ o tempo esperado para que a demanda atinja o nível crítico D_j^* , levando à:

$$E[t_j] = \frac{\ln D_j^* - \ln D_j^{(0)}}{\mu_j'} \quad (22)$$

com a variância dada por:

$$Var[t_j] = \frac{\sigma_j^2}{\mu_j^2} E[t_j] \quad (23)$$

Necessário torna-se, por isso, definir qual o nível de demanda D_j^* que representa a demanda máxima para a qual a unidade de serviço baseada nos distritos definidos pelo processo de alocação espacial atingiu o seu ponto de saturação e, conseqüentemente, não possa atender a contento sua área de influência.

O intervalo de tempo para revisão do sistema é considerado como o tempo em que a primeira função demanda de todos os distritos, atinja a um valor máximo em que a instalação de serviço baseada neste distrito não consiga mais atender a demanda desta região com um mínimo nível de serviço, ou seja, atingiu seu ponto de saturação.

O uso de uma função calibrada é necessário porque, as curvas de demanda podem variar muito em curtos intervalos de tempo, não sendo, por isso, possível considerar o sistema como

regido por uma função determinística. Da calibração da curva de regressão obtém-se também a média e o desvio padrão da seqüência de dados.

O intervalo de tempo para revisão do sistema é considerado como o tempo em que a primeira função demanda de todos os distritos, atinja a um valor máximo em que a unidade de serviço baseada neste distrito não consiga mais atender com um mínimo nível de serviço, ou seja, atingiu seu ponto de saturação.

A seqüência de processamento do programa de alocação temporal é a seguinte:

- a) Com base na função calibrada de expansão da demanda e no coeficiente de variação, representado pela divisão do desvio padrão pela média da seqüência dos dados referentes às ocorrências, determina-se, em cada um dos distritos, a demanda crítica D^* , para a qual existe uma pré-determinada possibilidade de ocorrer fila.
- b) A partir da demanda do mês base D_0 , da demanda crítica D^* e da taxa geométrica de crescimento da demanda, determina-se o intervalo de tempo em que cada distrito atingirá a demanda crítica.
- c) O intervalo de tempo que marca o ponto de revisão do sistema é obtido quando a demanda crítica do primeiro de todos os distritos é atingida; ou seja a demanda crítica da área de estudo é determinada a partir do menor intervalo de tempo em que quaisquer um dos distritos não mais atender a contento seus habitantes.

4 PROCESSAMENTO DOS DADOS E RESULTADOS ALCANÇADOS:

Pretende-se que, com a nova distribuição das ambulâncias, o tempo resposta máximo para que as equipes cheguem ao local de origem das chamadas de emergência seja de 15 minutos, que é um valor razoável, usualmente adotado para áreas urbanas na maioria dos países desenvolvidos.

Com os tempos e as distâncias entre os distritos e as unidades de emergência atualmente instaladas, foi possível inferir a velocidade média das viaturas para cada destino. Estes tempos também serviram como base para avaliar a capacidade média de atendimento das equipes, ou seja, considerando o tempo utilizado em cada emergência é possível se calcular quantas chamadas, em média, cada guarnição poderá atender por dia.

No processamento do programa de alocação espacial, com a região de estudo dividida em 32 sub-regiões, concluiu-se que o com oito equipes se conseguiria atender todas as restrições do sistema (ver quadro 1). Com esta distribuição e definindo-se as áreas de influência de cada viatura, calcula-se o tempo resposta máximo de cada uma destas áreas. Considera-se como tempo de resposta máximo o resultado da distância que a viatura deve percorrer para atender aos distritos a ela atribuídos, dividido pela velocidade média de cada um destes distritos, ponderado em relação ao número médio de ocorrências.

Como nos modelos deste trabalho introduziu-se a restrição de que o sistema trabalharia com uma baixa probabilidade de fila, considerou-se o tempo resposta como o parâmetro de avaliação do desempenho do sistema. A distribuição proposta para as viaturas permitirá que o atendimento das chamadas seja muito rápido e que a possibilidade de ocorrerem duas

chamadas no mesmo período seja muito pequena e, por isto, na maior parte do tempo as guarnições deverão ficar disponíveis para a população.

Quadro 1: Resultado do modelo de alocação espacial.

Unidade nº	Localização	Distritos atendidos (Área de influência)
1	Centro Norte	Centro Norte
2	Centro Sul	Centro Sul
3	Estreito	Estreito, Jardim Atlântico.
4	Trindade	Trindade, Agrônômica, Itacorubi, Saco Grande
5	Capoeiras	Capoeiras, Coqueiros, Abraão, Itaguaçu
6	Campeche	Campeche, Rio Tavares, Pântano do Sul, Armação, Ribeirão da Ilha
7	Trevo de Ratores	Jurerê, Daniela, Ratores, Canavieiras, Ingleses, Cacupé, Sambaqui, Sto Antônio de Lisboa
8	Córrego Grande	Córrego Grande, Lagoa da Conceição, Saco dos Limões, Carianos, Tapera, Costeira, Pantanal, Barra da Lagoa

Segundo projeções do último censo, a população de Florianópolis atualmente é de aproximadamente 400.000 habitantes. Verifica-se que o modelo propôs o dobro das equipes recomendadas pelo Ministério da Saúde, uma para cada 100.000 habitantes. Explica-se este fato pela medida de desempenho adotada, tempo resposta máximo de 15 minutos. Como Florianópolis tem uma topografia muito montanhosa as viaturas uma maior dificuldade para se locomoverem e, com isto, desenvolvem uma velocidade média, inferior a das cidades planas. Deve-se levar em conta também que, na temporada de verão, a população da cidade quase que triplica, exigindo muito mais do sistema.

Adotando-se a recomendação do Ministério da Saúde, apenas quatro equipes seriam alocadas no município de Florianópolis, cuja distribuição pode ser vista no quadro 2. Neste caso, o tempo resposta máximo subiria para 35 minutos.

Quadro 2: Resultado do modelo de alocação espacial adotando-se a restrição imposta pelo Ministério da saúde de se alocar uma equipe para cada 100.000 habitantes .

Unidade nº	Localização	Distritos atendidos (Área de influência)
1	Centro Norte	Centro Norte, Centro Sul, Trindade, Agrônômica, Itacorubi, Saco Grande, Córrego Grande, Saco dos Limões, Pantanal.
2	Estreito	Estreito, Jardim Atlântico, Capoeiras, Coqueiros, Abraão, Itaguaçu
3	Campeche	Campeche, Rio Tavares, Pântano do Sul, Armação, Ribeirão da Ilha Carianos, Tapera, Costeira, Barra da Lagoa, Lagoa da Conceição.
4	Trevo de Ratores	Jurerê, Daniela, Ratores, Canavieiras, Ingleses, Cacupé, Sambaqui, Santo Antônio de Lisboa.

No modelo, testou-se também a alternativa de incluir como uma das variáveis, a distância entre o ponto de chamada e a localização do hospital mais próximo. Verificou-se que com isto o tempo resposta até a chegada das viaturas ao solicitante ficava ligeiramente aumentado. Consultando os especialistas em atendimento emergencial, todos afirmaram que o mais importante é a rápida chegada da equipe ao paciente, quando se procede a estabilização do

mesmo, estacando-se alguma hemorragia, imobilizando-se alguma fratura, desobstruindo-se as vias aéreas, etc. Dizem que transporte para o hospital pode ser feito com mais calma. Optou-se, por isto, usar como objetivo do modelo apenas a minimização do tempo resposta.

Do processamento do modelo de expansão temporal, considerando o mês de dezembro de 2005 como data inicial, obteve-se como resultado que o sistema deverá ser revisto em 40 meses, ou seja, com a distribuição espacial das equipes proposta e mantendo-se a tendência atual de crescimento da demanda na área de influência, é provável que o sistema atinja a saturação em abril de 2009, então, antes desta data, devem ser feitos novos estudos pois haverá a necessidade de se implantar, pelo menos, mais uma unidade na Grande Florianópolis.

5. CONCLUSÃO:

O modelo apresentou bons resultados, distribuindo as viaturas de maneira que permite obter um menor tempo resposta para atendimento das emergências em áreas urbanas. No estudo de caso exemplo, como era esperado, a distribuição privilegiou os distritos que apresentam maior probabilidade de acidentes.

Conclui-se que existe uma carência muito grande de metodologias que visem aperfeiçoar os serviços de atendimento emergencial, principalmente em países mais pobres, onde a pouca disponibilidade de estatísticas confiáveis dificulta a tarefa dos pesquisadores. Compete à universidade criar mecanismos simples, práticos e eficientes para otimização destes sistemas e apresentá-los para a sociedade que, em última análise, é quem decidirá se a solução proposta para minimizar os problemas é de seu interesse ou não tendo em vista que sempre os recursos são escassos e a opção de empregá-los em um projeto ocasionará uma retração nas disponibilidades financeiras para os demais projetos e obras.

Justifica-se, portanto, que o SAMU mereça estudos para racionalização de sua operação, de maneira que possa continuar a oferecer aos habitantes das cidades um serviço eficiente e seguro. Com a metodologia apresentada neste trabalho será possível se reduzir o tempo resposta para atendimentos emergenciais na grande Florianópolis da média atual de 45 minutos, para 15 minutos, o que, sem dúvida, representa um incremento significativo no nível de serviço e muitas vidas poderão ser salvas.

A metodologia proposta pode também ser utilizada para quaisquer outros serviços urbanos nos quais é necessário se fazer a distribuição de facilidades ou equipamentos numa determinada área bastando apenas a alteração nas variáveis de entrada, que se modificam em cada caso.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Ball, M. O. and Lin, F. L. (1993). **A reliability model applied to emergency service vehicle location**. Operations Research, vol. 41, pp. 18-36.

Boarnet, M e Crane, R. (2001) **Travel by Design – The Influence of Urban Form on Travel**. Oxford University Press, New York.

Brodsky, H. (1992). **Emergency medical rescue in fatal road accidents**. Transportation Research Record. nº 1270, pp 89-96.

Drezner, Zvi. (1995). **Facility Locations: A survey of applications and methods**. Ed. Springer. New York.

Freidenfelds, J. (1980). **Capacity Expansion when Demand is a Birth- Death Random Process**, Operations Research, 28, 712-721.

Gonçalves, M. B., Novaes, A G. e Schmidt, R. (1995). **Um modelos para localizar unidades de serviços emergenciais em rodovias**. Anais do IX ANPET, São Carlos, pp. 962-972

Gosselin, M e Doherty, S. (2005) **Integrated Land-Use and Transportation Models-Behavioral Foundations**. Elsevier, Oxford.

Larson, Richard. C. e Odoni, A.R. (1981). **Urban Operations Research**. Prentice-Hall.

LI, Shanling. e Tirupati, Devanath. (1994). **Dynamic Capacity Expansion Problem with Multiple Products: Technology Selection and Timing of Capacity Additions**, Operations Research, vol. 42, nº 5, pp. 958-976.

Love, R. F. e Morris, J. G. (1988) **Facilities Location - models & methods**. Elsevier Science Publishing Co. New York:

Manne, A.S. (1961) **Capacity Expansion and Probabilistic Growth**. *Econometria*, 29, 632-649.

Mirchandani, P.B. and Reilly, J.M (1987). **Spatial Distribution Design for Fire Fighting Units.in Spatial analysis and location-allocation models**. pp 186-223. Von Nostrand Reinhold Company Inc. New York.

Oppenheim, N. (1995) **Urban Travel Demand Modeling – From Individual Choices to General Equilibrium**. Wiley Intercience, New York

Reilly, J. M. (1983). **Development of a fire station placement model with consideration of multiple arriving units**. Thesis Ph.D., Rensselaer Polytechnic Institute, New York.

Srinivasan, T. N. (1967). **Geometric Rate of Growth of Demand**. In *Investments for Capacity Expansion*, A. S. Manne (ed.), Allen e Unwin.

Teitz, M.B. e Bart, P. (1968) **Heuristics Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph**, Operations Research, 16 955-961.

Toregas, C. (1971). **The Location of Emergency Service Facilities**: Operations Research 19: 1363-1373.

6 AGRADECIMENTO:

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Brasil: Projeto 520474/91-1 e 500031/02-9