

# Átomos Geográficos e Demanda pelo Sistema Resgate Saúde: o Modelo Hipercubo de Filas para a Cidade de São José dos Campos - SP

Ana Paula S. Figueiredo  
*LAC / INPE*  
*Universidade Federal  
de Itajubá*  
anapaula@lac.inpe.br

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

Solon V. Carvalho  
*LAC / INPE*  
lorena@lac.inpe.br

## Resumo

*Este trabalho estabelece os átomos geográficos da cidade de São José dos Campos, para serem utilizados no Sistema Resgate Saúde, serviço fornecido pela prefeitura municipal e secretaria municipal de saúde em parceria com o Corpo de Bombeiros no atendimento das emergências do município. O trabalho analisa os primeiros dados de demanda com tratamento georreferenciado com o objetivo de estabelecer a posteriori as demandas reais ocorridas e atendidas pelo sistema, para que com o uso do modelo hipercubo de filas avaliar as medidas de desempenho do sistema encontrado.*

**Palavras-chave:** átomos geográficos, modelo hipercubo, sistema resgate saúde.

## 1. Introdução

O sistema médico de atendimento emergencial pode ser modelado como um sistema de filas espacialmente distribuído uma vez que elementos de incerteza aparecem tanto no local onde se dará o evento, assim como no tempo e também em termos de sua duração. Neste caso dizemos que o modelo hipercubo se enquadra entre os modelos do tipo servidor-cliente, uma vez que o servidor é quem se desloca para estabelecer o serviço. A distribuição espaço-geográfico da cidade desempenha um papel fundamental no modo como o serviço é fornecido, além das

características do arruamento e trânsito de um ponto para outro. Para este serviço de atendimento emergencial o fenômeno do congestionamento aparece sob várias formas, em especial em função da limitação de recursos dedicados ao serviço, ou seja, do número de ambulâncias disponíveis.

Enquanto o modelo TEAM (Schilling et al, 1979) de localização de ambulância tem como objetivo maximizar a cobertura oferecida por dois tipos diferentes de ambulâncias, ou seja, dados as possíveis bases de localização das ambulâncias, os pontos designados como pontos de demanda e as distâncias sobre o arruamento da cidade entre estas possíveis bases e as demandas, o modelo hipercubo por sua vez mede o desempenho do sistema estabelecido através de suas medidas de desempenho. Assim o modelo hipercubo não é um modelo de otimização da localização, mas uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão sobre o sistema estabelecido, no que concerne seu desempenho.

Neste trabalho apresentamos uma aplicação dos modelos TEAM e Hipercubo para o sistema de resgate desempenhado pelo Corpo de Bombeiros da cidade de São José dos Campos

## 2. O modelo hipercubo de filas

Segundo Larson e Odoni (1981) um sistema de ambulâncias pode ser visto como um sistema de filas com clientes espacialmente distribuídos e servidores móveis estacionados em lugares fixos. Os servidores se deslocam até o local de demanda para prestar atendimento, modelo no qual se ajusta o serviço prestado por ambulâncias.

A solução do modelo hipercubo é o conjunto de probabilidades associadas aos estados do sistema. Com ele é possível calcular a probabilidade de todas as ambulâncias estarem atendendo, ou mesmo do sistema estar livre, passando por todos

os estados possíveis do sistema. Uma vez conhecidas estas probabilidades pode-se então calcular algumas medidas de desempenho do sistema, dentre elas a carga de trabalho das ambulâncias, os tempos de viagem, a frequência de despachos entre outras.

A área geográfica sob estudo é dividida em átomos geográficos, cada um representando uma fonte independente de chamadas, considerando-se desta forma a distribuição temporal e espacial da demanda. Swersey (1994) apresenta uma abordagem para ser utilizada na determinação destas áreas de demanda, seja pelo centróide da região ou por subdivisão da população.

O atendimento é realizado por servidores distribuídos na região, neste caso as ambulâncias. Cada ambulância tem sua área de atendimento primário, ou seja, o conjunto de átomos geográficos que esta ambulância atende prioritariamente. O modelo também trata situações em que há mais de um servidor capaz de atender o átomo que solicita a chamada. Neste caso há uma política de despachos a ser seguida para o atendimento.

O nome hipercubo provém o fato de que cada ambulância poderá estar ocupada em um empenho ou livre para atendimento, cuja representação é dada pelos algarismos 1 e 0 respectivamente. Um estado específico do sistema é dado pela lista de todos os servidores, ocupados ou não. Assim para um sistema com três ambulâncias, todos os estados podem ser representados por um cubo unitário, cujos vértices representam os estados do sistema. Com um número de ambulâncias  $n$  maior que 3, os espaços passam a ser representados pelos vértices de um hiperplano de dimensão  $n$  justificando o nome.

## 2.1 Hipóteses do modelo hipercubo para o sistema emergencial

O modelo hipercubo pressupõe nove hipóteses que devem ser cumpridas para poder ser utilizado. A primeira diz respeito a área na qual o sistema fornecerá o serviço, que deve ser dividida em  $N_A$  átomos geográficos que se complementem formando a região sob estudo. Cada átomo deve ser atendido por pelo menos uma ambulância. Ou seja a região de estudo deve ser dividida em sub-regiões.

As solicitações pelo serviço são independentes e chegam segundo uma distribuição de Poisson com taxas médias  $\lambda_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N_A$ ) conhecidas ou estimadas.

O tempo  $\tau_{ij}$  de viagem entre os átomos geográficos  $i$  e outro  $j$  deve ser conhecido.

O sistema é composto por  $N$  ambulâncias que estarão espacialmente distribuídas com a possibilidade de se deslocar para atender as demandas originadas no átomo. Sua localização deve ser conhecida.

A cada chamado, apenas uma ambulância é despachada à cena, desde que haja pelo menos uma disponível. Se não houver, o chamado entra numa fila de espera.

Existe uma política de despachos com uma lista de preferências para cada átomo. Se a primeira ambulância estiver disponível, ela será enviada, caso contrário a próxima ambulância da lista será aquela que atenderá o chamado. Esta lista é pré-fixada e permanece inalterada durante a operação do sistema.

O tempo de serviço de uma ambulância  $n$  chamada, incluindo o tempo de viagem, o tempo em cena e o tempo que se segue daí, seja de volta para sua base, seja para o atendimento de outra chamada deve ter sua média  $\mu_n$  conhecida.

As variações no tempo de serviço decorrentes do tempo de viagem são consideradas menos significativas do que o tempo em cena e no tempo que se segue após o atendimento na cena.

Na prática nenhum sistema irá coincidir plenamente com todas as suposições do modelo. Burwell et al (1993) apresentam uma aproximação para o modelo hipercubo para utilizá-lo quando dois servidores são igualmente preferenciais para o despacho, ou quando estiverem localizados na mesma base.

Dadas as suposições para o modelo, é possível calcular os valores numéricos para as seguintes medidas de desempenho: o tempo médio de viagem do serviço prestado na cidade sob estudo. A carga de trabalho de cada uma das ambulâncias, a frequência de despachos da ambulância fora de sua região prioritária, a carga de trabalho gerada em cada região, seu tempo médio de viagem e a fração da requisições atendidas por cada ambulância da lista de despachos, dentre outras.

## 2.2 O modelo hipercubo de filas para tipos diferentes de ambulâncias

O modelo de otimização de localização de ambulâncias TEAM (Tandem Equipment Allocation Model) contempla a localização de dois tipos diferentes de ambulâncias. Podendo ser utilizado para a localização de ambulâncias UBS (Unidades Básica de Suporte) e USA (unidade de atendimento Avançado). Deste modo, para analisar o desempenho da localização das ambulâncias apontada pela solução do modelo TEAM, o modelo Hipercubo deverá contemplar

dois tipos diferentes de ambulâncias, cujas prioridades serão diferentes em função do tipo de atendimento.

Nos serviços de atendimento médio-emergencial a regulação médica, realizada por uma central telefônica, detecta tipos diferentes de chamadas, ou seja, àquelas que não são emergenciais e que não serão solucionadas através de despacho de ambulância, ou àquela onde se realizará o despacho. Neste caso, a regulação médica apontará qual tipo de ambulância será despachada, ou seja se uma UBS ou uma USA, além de designar qual das ambulâncias será despachada.

Para modelar este tipo de serviço, o responsável pelo planejamento do serviço de atendimento emergencial superpõe a cada átomo geográfico dois átomos, ou seja, aquele referente à demanda pelo serviço que será atendido pela ambulância USA e aquele que será atendido pela ambulância do tipo USB.

Assim à unidade USA será designada preferência de despacho a toda demanda assim designada pela regulação médica, enquanto que a demanda regulada para atendimento pela ambulância do tipo USB deverá ser atendida por este tipo de unidade.

Este modo de adaptar o modelo para tipos espaciais de chamado e tipos especiais de ambulâncias permite ao responsável pelo sistema calcular os tempos médios para cada tipo de chamado, a carga de trabalho da cada uma das ambulâncias e assim por diante.

Este tipo de modelagem é denominada modelagem por camadas e pode ser ampliada para quantos tipos de unidades de atendimento houver.

### 3. Os modelos TEAM e Hipercubo aplicado ao serviço de resgate do Corpo de Bombeiros de São José dos Campos.

#### 3.1 As demandas potenciais e a cobertura

Para estabelecer a localização das ambulâncias de atendimento básico e avançado na cidade de São José dos Campos, estabeleceu-se que as demandas potenciais correspondem aos residentes da cidade, geograficamente distribuídos. Para isto recorremos aos dados do Censo 2000 realizado pelo IBGE. O setor censitário é a unidade de coleta de dados utilizado para disponibilizar as informações aos usuários, através da Base de Informações por Setor Censitário que pode ser adquirida junto ao IBGE. A Figura 1 mostra os

setores censitários da cidade de São José dos Campos. Assim, através desta base de dados estabelecemos pontos de demanda para cada setor censitário, o que pode ser visto na Figura 2. Nesta mesma Figura 2, pode-se ver que cada ponto de demanda está localizado na interseção do centróide do setor censitário e uma rua de acesso. A Figura 3 mostra a localização das bases das ambulâncias do sistema de resgate do Corpo de Bombeiros da cidade de São José dos Campos e as áreas de cobertura sobre o arruamento. Para a unidades de atendimento básico estabeleceu-se um percurso de 8 km, o que equivale a um atendimento dentro de 10 minutos, e para a unidade de atendimento avançado, um percurso de 10 km, para um tempo de 12 minutos.

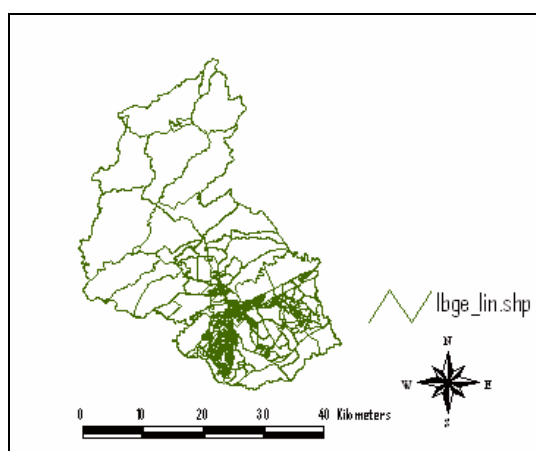


Figura 1 – Setores censitários

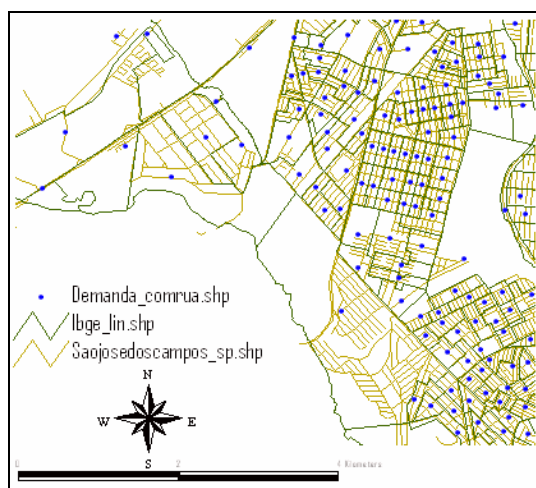
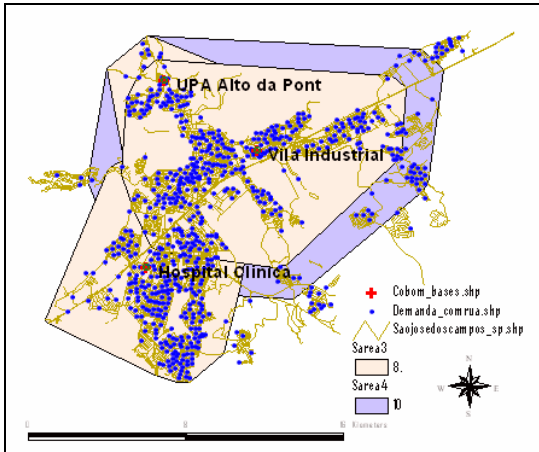


Figura 2 - Setores censitários, ruas e demandas

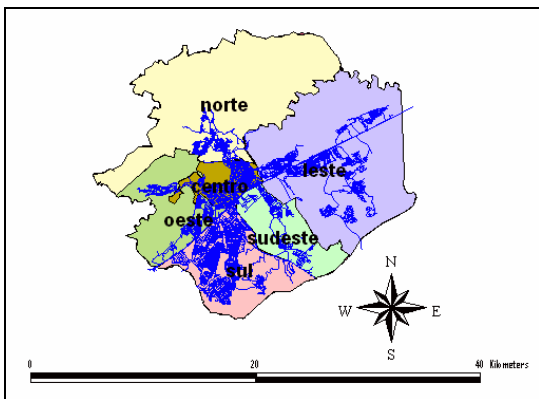


**Figura 3 – Cobertura para USB e USA**

Estes valores de tempo são escolhidos como meta de qualidade dos serviços de atendimento emergencial pré-hospitalar, configurando nos tempos de viagem da base até o local da cena. Os polígonos das áreas de cobertura podem ser visto na Figura 3. Nesta mesma Figura observa-se que há demandas que não poderão ser atendidas dentro destes tempos.

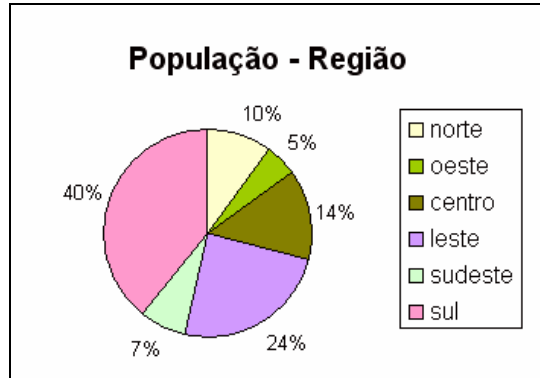
### 3.2 Os átomos geográficos

Historicamente a cidade de São José dos Campos já é dividida em seis regiões, a saber: centro, norte, oeste, sul, sudeste e leste, como mostra a Figura 4.



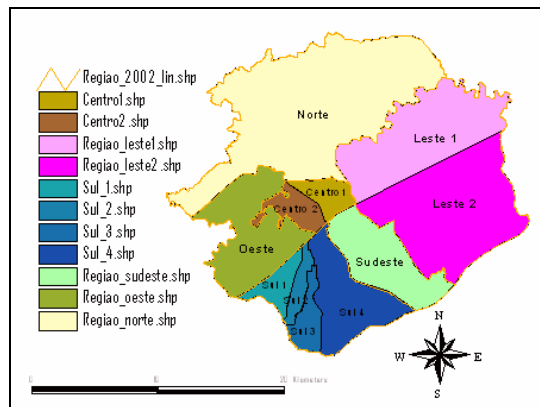
**Figura 4 – Regiões da Cidade de São José dos Campos**

Cuja distribuição populacional, obtida através da Base de Informações por Setor Censitário do Censo de 2000 pelo IBGE é apresentada na Figura 5.

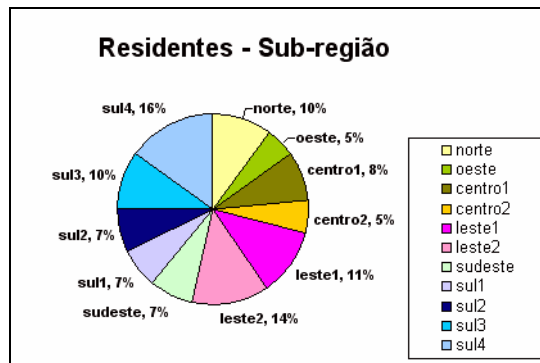


**Figura 5 – Distribuição populacional**

Na Figura 5 pode ser observada diferenças percentuais significativas entre as regiões e para minimizar grandes desequilíbrios entre as taxas de chamada pelo serviço em função do desequilíbrio populacional, dividimos a cidade e sub-regiões. Os critérios para esta subdivisão estão entre critérios geográficos e da existência de uma via de acesso as regiões, o que pode ser vista na Figura 6.



**Figura 6 – Sub-regiões de São José dos Campos**



**Figura 7 – População por sub-regiões**

Na Figura 7 pode se visto um melhor equilíbrio entre a poluição das sub-regiões.

### 3.3 As demandas reais.

Uma vez obtidas as sub-regiões da cidade, agora denominadas átomos geográficos, cabe encontrar as demandas reais atendidas pelo serviço de atendimento emergencial. O Sistema Resgate Saúde da Prefeitura Municipal de São José dos Campos atende pelo telefone 190 e está atuando desde abril de 2005. Os dados das ocorrências foram disponibilizados e para cada uma delas são anotadas as seguintes informações: número da ocorrência, data, horário do recebimento, endereço, código da ocorrência, viatura despachada, base, horário de saída da base, horário de chegada à cena, horário de saída da cena, horário de regresso do hospital e horário de chegada na base.

Os dados foram analisados em função dos dias da semana e horário do chamado. A Figura 8 mostra a frequência de chamados ao longo do período de 24 horas ocorridas no mês de junho de 2005. A Figura 9 apresenta as demandas atendidas pelo Resgate Saúde durante o mês de junho de 2005.

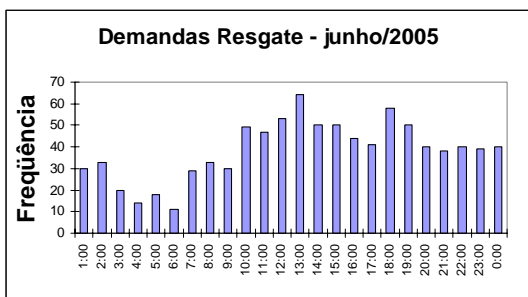


Figura 8 – Demanda reais atendidas pelo Resgate Saúde

Para cada sub-região a Tabela 1 apresenta a média e o desvio padrão do número de chegadas por dia durante o período analisado. Nesta primeira aproximação são consideradas todas as demandas reais atendidas pelo Sistema Resgate que puderam ser georeferenciadas sobre o arruamento da cidade de São José dos Campos.

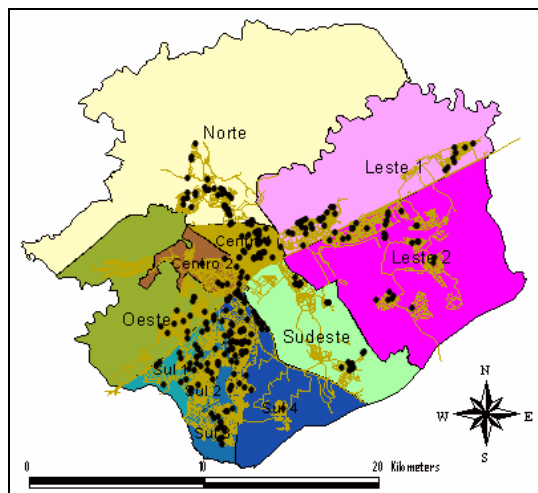


Figura 9 – Demandas atendidas pelo Resgate Saúde em abril de 2005

Para esta aproximação não foram contabilizadas as demandas diferenciadas pelos tipos de ambulâncias diferentes. O trabalho teve como objetivo apontar a localização das demandas e sua classificação quanto a localização nos átomos geográficos, aqui ditos como as sub-regiões. Uma segunda abordagem fará a sub-divisão desta demanda em função do tipos de ambulâncias.

No Sistema Resgate de São José dos Campos, são utilizadas uma ambulância do tipo USA e 3 do tipo USB, cujas bases podem ser vistas na Figura 3, cabe ressaltar que na Base da Vila Industrial ficam a USA e USB, e nas bases do Hospital Clinica Sul e UPA Alto da Ponte as USB, uma em cada base.

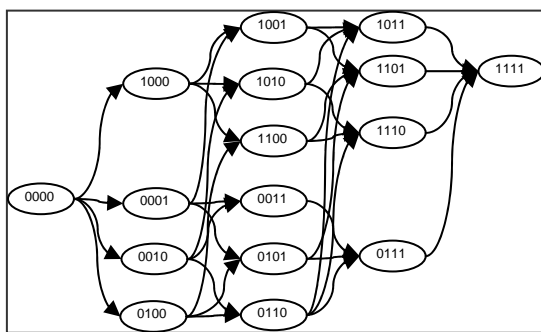
Tabela 1 - Estatística da demanda real pelo Resgate Saúde em Junho de 2005

sub-região	média	DP	# obs
leste1	0,97	1,02	30
leste2	1,13	1,06	35
sul1	0,8	1,03	24
sul2	0,45	0,57	14
sul3	0,73	1,01	22
sul4	2,47	1,57	74
oeste	0,4	0,62	12
norte	1,06	1,15	33
centro1	1,35	1,28	42
centro2	0,23	0,43	7
sudeste	0,87	0,82	25

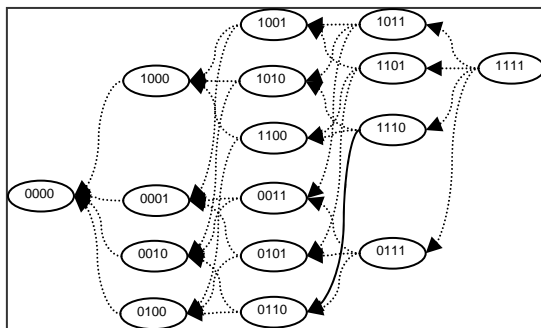
Para utilizar o modelo hipercubo, é necessário estabelecer os estados possíveis do sistema. Utilizando a notação de quatro posições com os algarismos 0 e 1, estabelece-se que o 0 indica que a ambulância esteja livre, pronta para

atendimento e 1 que esteja empenhada, realizando um atendimento.

As Figuras 11 e 12 mostram os estados possíveis do sistema de Resgate Saúde de São Jose dos Campos. A Figura 11 mostra as transições de estados possíveis quando a ambulância recebe um empenho e a Figura 12 as transições quando a ambulância termina o serviço e se torna livre para novo atendimento. Para o uso do modelo hipercubo com tipos de ambulâncias USA e USB, em especial para o Sistema sob estudo, a notação é a seguinte: o primeiro algarismo se refere ao estado da ambulância do tipo USA e os três seguintes às três ambulâncias do tipo USB disponíveis.



**Figura 10 – Mudança de estados, com empenho de ambulâncias**



**Figura 11 – Mudança de estados, com términos de empenhos**

Os próximos passos do trabalho são estabelecer as demandas reais, diferenciando os tipos de unidades que atenderam e avaliar quão próximas das hipóteses do modelo hipercubo estão, em especial quanto ao modelo de chegada dos pedidos de serviço, que se espera serem conforme um modelo de Poisson. A Tabela 1 mostra as somas das demandas  $\lambda(\text{USA})$  e  $\lambda(\text{USB})$  em cada região, mas ao analisa-las separadamente será necessário um teste para averiguar sua relevância estatística em se aproximar das hipótese do modelo.

#### 4. Conclusões

Este trabalho apresentou os critérios e a criação dos átomos geográficos a serem utilizados no modelo hipercubo de filas para avaliar o Sistema Resgate Saúde do município de São José dos Campos, oferecido pela prefeitura municipal e secretaria municipal de saúde em parceria com o Corpo de Bombeiros. Com a finalidade de equilibrar a distribuição populacional nas regiões da cidade, foram criadas sub-regiões totalizando onde átomos geográficos. O sistema Resgate Saúde conta com quatro ambulâncias para atendimento, sendo uma de atendimento avançado e as outras três de atendimento básico. Os próximos passos do trabalho são estabelecer as demandas de cada tipo de ambulância nos átomos aqui estabelecidos e as taxas de serviço por elas executadas.

#### Referencias

- [1] Schilling, D. Elzinga, D.J. Cohon, J. Church ReVelle, C. The Team/Fleet Models for simultaneous facility and equipment siting. Transportation Science, v.13, n.12, p 163-175. maio 1979.
- [2] Larson, R.C., Odoni, A.R. urban Operations Research. New jersey: Prentice –Hall, maio 1981
- [3] Swersey, A.J. The Deployment os Police, Fire and Emergency Medical Units. In: Handbook of Operation Research and management Science. Amsterdam: North Holland, 1994.
- [4] Burwel, T. H. Jarvis, J.P e McKnew, M.A. An application os Spatially Distributed Queuing Model to na Ambulance System. Sócio-Econ. Planning science, v 26, p-289-300, 1992.