

## Avaliação da alocação das ambulâncias do corpo de bombeiros no interior do estado do Rio de Janeiro

### RESUMO

Segundo o Anuário do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ, 2015), foram realizados 220.219 atendimentos pelas ambulâncias da corporação, sendo que um terço deles ocorreu nos municípios do interior do estado, onde existem 67 unidades do CBMERJ que aloca 55 ambulâncias. O tempo de resposta entre a solicitação do atendimento e a chegada da ambulância ao local do evento se caracteriza como um fator determinante no índice de sobrevivência do paciente. Nesse estudo, consideramos o modelo das p-medianas com o objetivo de avaliar a alocação das ambulâncias nas unidades do CBMERJ situadas no interior do estado e propor uma realocação dessas viaturas, visando diminuir a distância média e o tempo de resposta, aumentando a eficácia do atendimento pré-hospitalar prestado. Foram coletados dados da localização geográfica das unidades do CBMERJ no interior e a alocação de ambulância nessas unidades. Verificou-se, com base nos dados obtidos demonstrados, que a realocação promoveu uma redução nos tempos de deslocamento e aumentou o número de municípios que alcançaram o tempo resposta de 14,5 minutos. Esse valor foi considerado satisfatório visto que se aproxima do tempo de 8 minutos, valor mundialmente aceito para deslocamento de viatura em atendimento de emergência

**PALAVRAS-CHAVE:** Ambulância. Alocação. Emergência. Tempo resposta, P-mediana

**Leonardo Duarte**

Universidade Candido Mendes:  
Campos dos Goytacazes, RJ

**Eduardo Shimoda**

Universidade Candido Mendes:  
Campos dos Goytacazes, RJ

**Fabio Freitas Silva**

Universidade Candido Mendes:  
Campos dos Goytacazes, RJ

**Aldo Shimoya**

Universidade Candido Mendes:  
Campos dos Goytacazes, RJ

**Italo Matias**

Universidade Candido Mendes:  
Campos dos Goytacazes, RJ

## INTRODUÇÃO

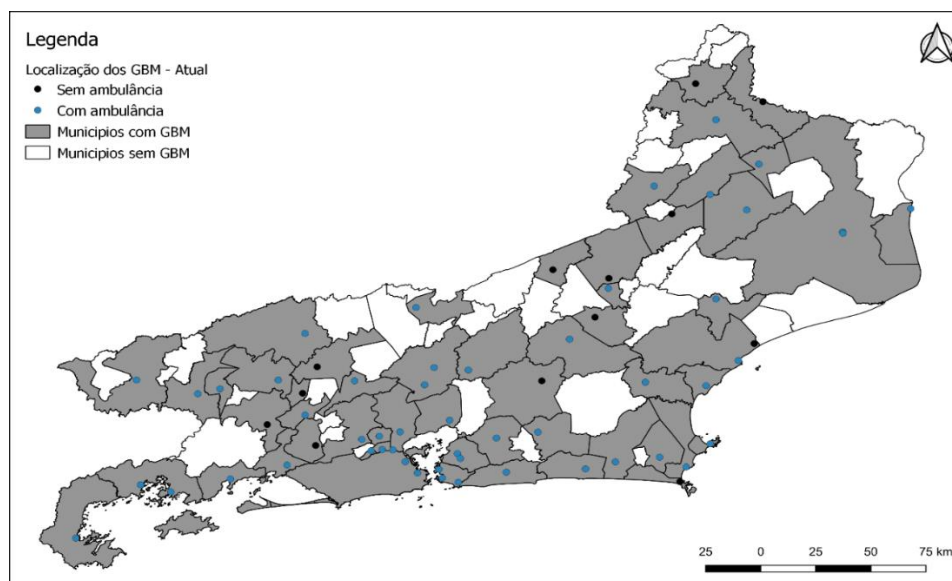
Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2017), o interior do estado do Rio de Janeiro tem uma população estimada em torno de 10 milhões de habitantes. A qualidade de vida de uma população pode ser avaliada através da capacidade efetiva de um grupo social de satisfazer suas necessidades examinando-se os recursos disponíveis. Assim, as condições de saúde podem ser analisadas pela qualidade dos serviços prestados (HERCULANO, 2000).

As ações públicas em saúde incluem o individual e o coletivo, com ações de promoção, proteção e recuperação da saúde em todos os campos. Dentro deste conceito amplo que direciona à intervenção nas necessidades de saúde, inclui-se o atendimento a pacientes com quadros agudos, no qual encontram-se os serviços de emergência móvel como componentes importantes do sistema (LOPES; FERNANDES, 1999).

Os serviços de emergência móvel realizam o atendimento pré-hospitalar, considerado como toda e qualquer assistência realizada, direta ou indiretamente, fora do âmbito hospitalar, através dos diversos meios e métodos disponíveis, com uma resposta adequada à solicitação, a qual poderá variar de um simples conselho ou orientação médica ao envio de uma viatura de suporte básico ou avançado ao local da ocorrência, visando a manutenção da vida e/ou a minimização das sequelas (LOPES; FERNANDES, 1999). Dentro deste contexto, está inserido o 1º Grupamento de Socorro de Emergência, do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ).

Distribuídas pelo interior do estado do Rio de Janeiro, existem 67 unidades desta corporação que alocam 55 ambulâncias (Figura 1). Segundo o Anuário do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, em 2015, foram realizados 220.219 mil atendimentos pelas ambulâncias desta corporação, sendo que um terço destes atendimentos, localizados no interior do estado.

Embora a taxa de sobrevivência do paciente reflita a capacidade de um sistema de emergência móvel de atingir seu objetivo, poucos modelos a consideraram devido à dificuldade de vincular a medida da taxa de sobrevivência a mudanças viáveis no processo de resgate. Sacco et al. (2005) e Wang, Luangkesorn e Shuman (2012) propuseram superar esta dificuldade analisando a taxa de sobrevivência para pacientes gravemente feridos através da estimativa da taxa de degradação, que é a probabilidade de declínio da taxa de sobrevivência do paciente enquanto ele espera que os cuidados adequados sejam administrados.



Fonte: dados da pesquisa

Portanto, o tempo de resposta é um fator crucial na sobrevivência do paciente, assim, espera-se que a ambulância chegue ao local dos incidentes o mais rapidamente possível. Eisemberg et al. (1990) dizem que a maior sobrevivência em vítimas de parada cardíaca ocorre quando as manobras de reanimação são realizadas dentro de 8 minutos. Desta forma, o tempo de resposta é usado como objetivo para planejar os sistemas de emergência móvel e medir seu desempenho.

Existem vários métodos com o objetivo de promover uma distribuição ideal de ambulâncias (VAN ESSEN et al., 2013). A maioria destas técnicas assume uma capacidade fixa definida pelos recursos disponíveis e tenta maximizar o desempenho baseado na cobertura e, assim, aumentar a fração de chamadas que podem ser alcançadas dentro de um determinado tempo de resposta desejado. Entre estes métodos, existem aqueles projetados para minimizar a distância média ou o tempo. Esse conceito leva a um modelo de localização conhecido como p-medianas, introduzido por ReVelle e Swain (1970). O modelo das p-medianas define a localização das instalações (p) para minimizar a distância média ou o tempo entre a demanda de uma população e a instalação mais próxima (RUSLIM; GHANI, 2006). Mede também a eficácia das instalações de emergência, pois, à medida que as distâncias de deslocamento diminuem, promovem uma diminuição no tempo resposta (SERRA; MARIANOV, 1998). Em recente trabalho, Berg e Essen (2019) fazem uma comparação de modelos estáticos de alocação de ambulância e listam o modelo p-medianas como uma boa alternativa para reduzir o tempo de resposta das unidades de emergência com menor tempo computacional. Resultados similares também foram encontrados em Dzator M. e Dzator J. (2013). Segundo Jánosíková et al. (2017), os modelos de localização são úteis como uma ferramenta utilizada para comparar a localização proposta de um veículo de emergência com a localização atual em termos das características de desempenho, como tempo resposta, resultantes de uma simulação computacional.

O objetivo do artigo foi avaliar a alocação das ambulâncias nas unidades do CBMERJ por meio do modelo das p-medianas e propor uma realocação destas

viaturas visando diminuir a distância média e o tempo de resposta, aumentando, assim, a eficácia do atendimento pré-hospitalar prestado.

## MODELO DE ALOCAÇÃO

Em serviços de atendimento móvel de emergência, é importante alocar as ambulâncias de forma que os eventos possam ser atendidos o mais rápido possível. O desempenho desses sistemas é afetado pela localização desses veículos em relação às solicitações feitas (TORO-DÍAZ et al., 2013).

Existem várias técnicas para alocação de ambulâncias com o objetivo de fazer com que a requisição por uma delas seja atendida dentro de um tempo de resposta mundialmente aceito como o satisfatório, ou seja, em torno de 8 minutos, segundo Eisemberg et al. (1990). Estes métodos dividem-se basicamente em duas propostas para alcançar essa meta: maximizar a cobertura ou minimizar o tempo de resposta.

Vários trabalhos têm demonstrado consideráveis benefícios ao projetar redes de serviços de emergência com o auxílio de técnicas para promover uma melhor alocação das bases e viaturas de emergência. Os resultados demonstram que tanto a cobertura de uma população como a redução do tempo de resposta dos chamados recebidos podem ser otimizados (BARRETO; ALEXANDRINO, 2016).

Segundo Castaneda e Villegas (2017) e Dibene et al. (2017), o impacto de medidas que propõem uma melhor alocação de ambulâncias é concreto em termos da redução do número de regiões descobertas, da diminuição da ocupação do sistema de atendimento e do conseqüente aprimoramento na qualidade do serviço. Resultados sugerem que, para aperfeiçoar um serviço de emergência pré-hospitalar móvel, é mais importante melhorar a alocação de ambulâncias do que aumentar o tamanho da frota.

Dibene et al. (2017) e Liu et al. (2017) afirmam que o tempo de resposta pode ser eficientemente aprimorado mediante a realocação das instalações atuais, sem o dispêndio de recursos financeiros adicionais, por meio da utilização de métodos de localização.

Para tratar problemas que envolvem a localização de ambulâncias, a literatura tem usado modelos de alocação de facilidades. Que envolve determinar o melhor local de uma instalação para interagir com seus clientes. Os trabalhos pioneiros envolvendo a localização de instalações apareceram na década de 1960, com a publicação de Hakimi (1964), para a instalação de postos de serviços em rede. Já para os problemas de alocação de ambulâncias, os trabalhos surgiram por volta da década de 1970 (BROTCORNE; LAPORTE; SEMET, 2003).

O modelo p-mediana foi aplicado várias vezes para localizar centros nos setores público e privado (LORENA; LOPES, 1994). Segundo Davoudpour et al. (2014), ao minimizar a distância total de deslocamento das ambulâncias da sua base para a cena de chamada, há uma redução também no custo do serviço.

O problema p-mediana é um problema de alocação de localização que tem sido extensivamente estudado. A razão para o interesse é que ele tem aplicações práticas em uma ampla variedade de questões de planejamento (DZATOR, 2012). Para Clemente (2002), o problema p-mediana consiste em escolher um subconjunto de (p) localizações entre os nós da rede, de forma a atender às demandas dos clientes em menor tempo. Assim, para dadas (p) localizações de

oferta, atribui-se um ponto de demanda, de forma a buscar com que a distância máxima total seja mínima (CLEMENTE, 2002). Em outras palavras, à medida que as distâncias de viagem diminuem, a acessibilidade às instalações aumenta e a eficácia das instalações também aumenta dando origem a uma diminuição no tempo resposta (RUSLIM; GHANI, 2006).

Desta forma, o modelo p-medianas mede a eficácia das instalações de emergência, indicando que, à medida que as distâncias de deslocamento diminuem, uma diminuição no tempo resposta é promovida (SERRA; MARIANOV, 1998) e a qualidade do serviço prestado aumenta.

## METODOLOGIA

A taxonomia adotada sobre o tipo de pesquisa desenvolvida nesse estudo segue o modelo de Vergara (2000). No que tange aos fins do estudo, a pesquisa é aplicada. Aplicada, pois visa solucionar um problema de alocação de unidade de atendimento móvel.

Quanto aos meios de investigação, trata-se de uma pesquisa bibliográfica e experimental. Bibliográfica em função do estudo sistematizado desenvolvido com base em artigos de periódicos e sítios de internet. Experimental porque, conforme Gil (2007), selecionado o objeto de estudo – atendimento pré-hospitalar realizado nos municípios do interior do estado do Rio de Janeiro - objetiva a alocação das unidades de atendimento móvel por meio de um modelo matemático. São comparados três cenários em função do tempo de atendimento: atual, modelo ponderado pela população, e não ponderado.

Foram coletados dados da localização geográfica das unidades do CBMERJ (Anuário estatístico - CBMERJ, 2020) e municípios do interior do estado do Rio de Janeiro, totalizando 66 unidades operacionais e 91 cidades. Para computar a distância e o tempo de deslocamento de cada instalação do CBMERJ aos municípios foi utilizado o software R (R Core Team, 2019). Sendo realizada uma conexão com a API (Interface de Programação de Aplicações) do *google maps* para obtenção dos dados. A utilização do R combinada com a API viabilizou buscas sistematizadas do tempo e distância de deslocamento das instalações até os municípios, nos quais foram organizados em uma matriz de ordem 91x66. Conforme Azim et al. (2014) mapas do Google são utilizados no processo de planejamento em modelos matemáticos de localização de ambulâncias devido à facilidade da sua utilização, sem comprometer os resultados.

O modelo matemático p-mediano pode ser descrito na equação 1. Para resolver este problema de otimização, foi utilizado o software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio versão 12.8.

$$\text{Min} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} d_i t_{ij} z_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Restrições} \sum_{j \in J} z_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$x_j \geq z_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq p \quad (4)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$z_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (6)$$

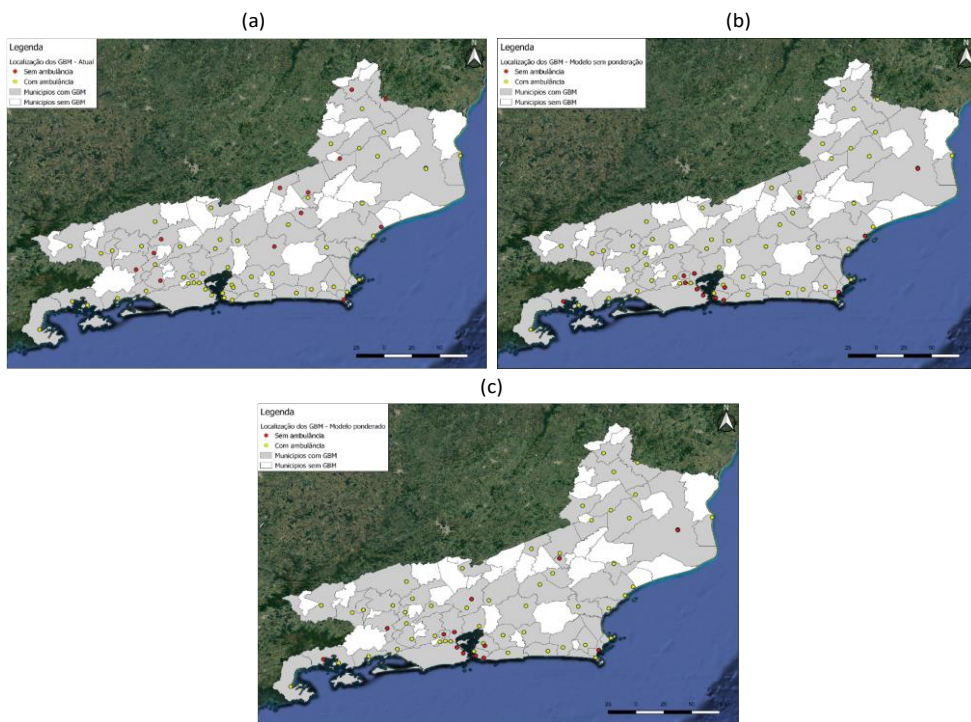
A localização da demanda (municípios) é dada por  $I$ , e as potências bases (corpo de bombeiros)  $J$ . O tempo de viagem de todos os possíveis locais de base  $j \in J$  aos municípios  $i \in I$  é atribuído a  $t_{ij}$ . No modelo, a variável binária é 1 se a base aberta  $j$  é a mais próxima base para exigir a localização  $i$ . Esta variável indica se um cliente  $i$  vai ser atendido por uma facilidade  $j$ . O número de ambulância que podem ser alocadas é dado como  $p$ . Para denotar a importância de cada local de demanda  $i \in I$ , é utilizado o peso  $d_i$ . A função objetivo (1) minimiza o tempo médio de resposta da base mais próxima até um cliente; a restrição 2 garante que cada município vai ser atendido por uma base; a restrição 3 assegura que um município seja atendido somente por uma facilidade que faça parte da solução; a restrição 4 impõe que se abram somente bases que sejam no máximo igual a  $p$ ; por fim, as restrições 5 e 6 garantem que as variáveis de decisão sejam binárias e negativas.

Após a aplicação do modelo, o resultado da alocação foi visualizado por meio de mapas e análises de estatística descritiva. São apresentados três tipos de cartograma: um com a realocação das unidades; outro que mostra a redução dos tempos de atendimento dos municípios; por fim, outro com a comparação do cenário atual e simulado. Na análise descritiva foram elaborados histogramas e gráficos de caixa para comparação dos cenários, além de métricas descritivas: mínimo, máximo, média, desvio padrão, mediana, 1º e 3º quartil.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A distribuição espacial das unidades do Grupamento de Bombeiros Militar (GBM) com as alocações das ambulâncias, considerando o cenário atual (a), o cenário com aplicação do modelo  $p$ -medianas (b) e o  $p$ -medianas ponderado (c), foi representada na Figura 2. No cenário atual (a), verificou-se a existência de 67 unidades do CBMERJ distribuídas em 56 municípios. Destas unidades, em 43 municípios, existem 55 ambulâncias alocadas e a presença do atendimento pré-hospitalar do CBMERJ. No modelo 1 (b), houve uma realocação de 12 ambulâncias das suas unidades, o que promove mudanças na composição do socorro de 24 UBM. Já no modelo 2 (b),  $p$ -medianas ponderado, verificou-se a realocação de 2 ambulâncias em 4 quartéis diferentes do modelo não ponderado pela população para manter o menor tempo resposta quando há influência da densidade demográfica. Esta mudança é influenciada pelo maior número de habitantes dos municípios de Macaé e São João de Meriti.

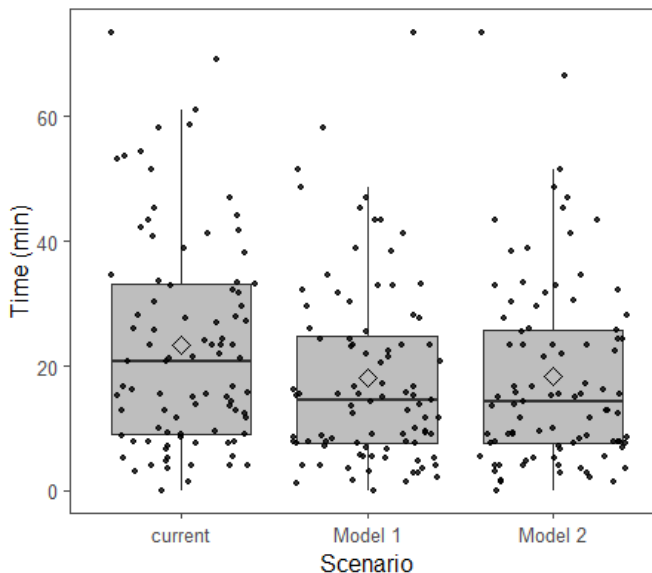
Figura 2. Cartograma do estado do Rio de Janeiro. (a) Alocação das ambulâncias nos GBM conforme o modelo atual; (b) Alocação das ambulâncias nos GBM conforme o modelo 1; (c) Alocação das ambulâncias nos GBM conforme o modelo 2.



Fonte: dados da pesquisa.

Após a aplicação do modelo p-mediana, observou-se uma redução no tempo resposta das ambulâncias quando comparado com a distribuição atual. O diagrama de caixas, Figura 3, representa a variação de valores numéricos obtidos por meio de quartis, que são valores que dividem uma amostra em quatro partes iguais. A descrição estatística da Figura 3 reflete o tempo de atendimento da base mais próxima ao município. No modelo atual, 50% dos municípios atendem a chamados em um tempo menor que 20,7. Ainda no modelo atual, 25% dos municípios respondem a um chamado com um tempo resposta de até 9,14 minutos e outros 25%, com um tempo igual ou superior a 33,1 minutos. Por fim, o tempo médio de resposta a um atendimento foi de 23,3 minutos.

Figura 3. Boxplot do tempo de atendimento da base mais próxima ao município.



Fonte: dados da pesquisa

Eisemberg et al. (1990) dizem que a maior sobrevivência em vítimas de parada cardíaca ocorre quando as manobras de reanimação são realizadas dentro de um período de 8 minutos. Para a maioria dos países, este tempo de resposta é usado como objetivo para planejar os sistemas de emergência móvel e medir seu desempenho.

Dessa forma, o tempo médio de resposta de ambulâncias do CBMERJ alocadas em quartéis localizados em municípios no interior do estado do Rio de Janeiro — distribuídas no modelo atual — foi 4 vezes maior do que o mundialmente aceito.

No modelo 1, foi demonstrado o primeiro cenário, que não leva em conta a população do município. Os resultados — Figura 3 e Tabela 1 — mostraram que, após a aplicação do método p-mediana, 50% dos municípios passam a atender a chamados em um tempo de atendimento menor que 14,5 minutos. Ainda no modelo 1, 25% dos municípios respondem a um chamado com um tempo resposta de até 7,6 minutos e outros 25%, com um tempo igual ou superior a 24,9 minutos. Por fim, o tempo médio de resposta a um atendimento foi de 18,1 minutos.

Tabela 1. Estatísticas descritivas dos cenários.

Cenário	Mín.	1st Qu.	Mediana	Média±sd	3rd Qu.	Máx.
Atual	0.0000	9.142	20.817	23.335±16.866	33.058	73.400
Modelo 1	0.0000	7.575	14.483	18.062±14.661	24.875	73.400
Modelo 2	0.0000	7.575	14.333	18.282±15.026	25.783	73.400

Mín.: Mínimo; 1st Qu.: 1º quartil; sd: desvio padrão; 3rd Qu.: 3º quartil; Máx.: Máximo.

Fonte: dados da pesquisa

Há uma importante redução de 6 minutos na média de atendimentos, além disso, uma redução no tempo de atendimento em todos os quartis. Esta



diminuição, ademais de reduzir a média de atendimento, diminui o tempo resposta e aumenta a abrangência do atendimento.

Essa redução do tempo pode promover uma melhoria da eficiência do atendimento pré-hospitalar do CBMERJ. Tal fato foi analisado por Sund (2013), quem demonstrou que, ao reduzir em 1 minuto o tempo de resposta das ambulâncias envolvidas no atendimento extra-hospitalar de pacientes com parada cardíaca, ocorre um aumento de 4,6% na taxa de sobrevivência dos que são atendidos. A redução do tempo resposta é corroborada por Dibene et al. (2017), os quais afirmam que esse tempo pode ser eficientemente aprimorado por meio da realocação das instalações atuais.

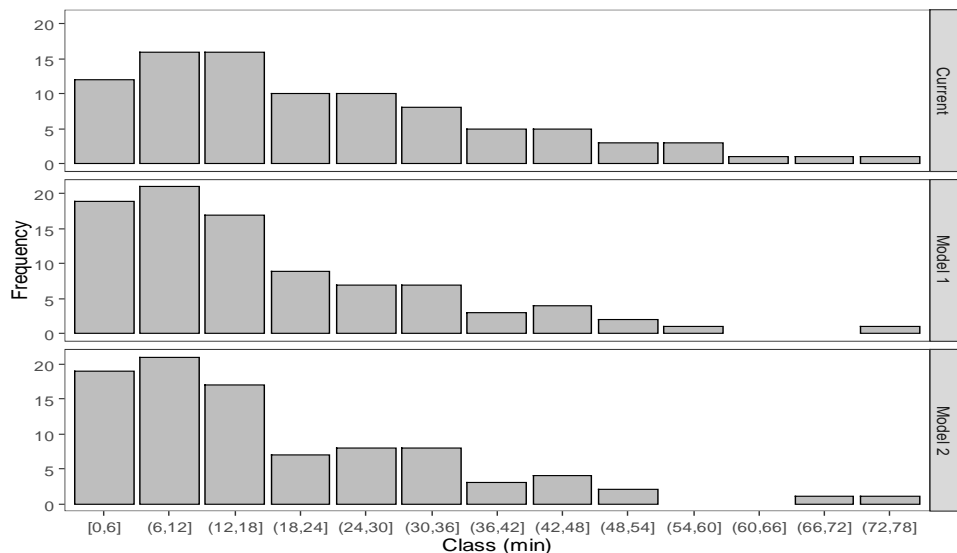
No modelo 2, foi demonstrado o segundo cenário, que leva em conta a população do município. Foram estabelecidos pesos com base na população do município, ou seja, os municípios com maior número de habitantes tiveram prioridade. Os resultados — Figura 3 e Tabela 1 — indicaram que, após a aplicação do modelo p-mediana, 50% dos municípios passam a atender a chamados em um tempo de atendimento menor que 14,3 minutos; 25% dos municípios respondem a um chamado com um tempo resposta de, no máximo, 7,6 minutos; e os outros 25%, com um tempo igual ou superior a 25,9 minutos. Por fim, o tempo médio de resposta a um atendimento foi de 18,2 minutos.

Os tempos de resposta de atendimento de municípios após o uso de pesos para diferenciar aqueles com maior ou menor densidade demográfica pouco influenciou os resultados do modelo matemático sem este fator qualitativo. Houve uma alteração apenas nos 25% dos municípios com maior tempo resposta, com um atraso de aproximadamente 1 minuto. Segundo estudos de Sund (2013) esse aumento poderia diminuir em torno de 5% a taxa de sobrevivência dos pacientes atendidos.

Na Figura 4, apresenta-se um histograma constituído por retângulos, em que sua amplitude representa o intervalo em minutos do tempo resposta dos atendimentos, divididos em 13 intervalos de 6 minutos, que iniciam em 0,0 minuto e terminam em 78 minutos. O valor da sua altura corresponde ao número de municípios que obtiveram o respectivo tempo de resposta de atendimento.

No modelo atual, existe uma prevalência de municípios que responderam aos chamados de atendimento com um tempo resposta que varia de 6 a 12 minutos e 12 a 18 minutos. Já, no modelo 1, deu-se um aumento do número de municípios que respondeu a chamados na primeira amplitude de tempo de resposta, compreendido entre 6 min e 12 min. Este crescimento foi significativo, pois ocorreu de 12 municípios para 19 municípios. Assim, elevou-se o número de municípios com tempo de resposta próximo ao preconizado no mundo atualmente, que é de 8 minutos (EISEMBERG et al., 1990).

Figura 4. Histograma (intervalo 6 min) do tempo de atendimento da base mais próxima ao município.

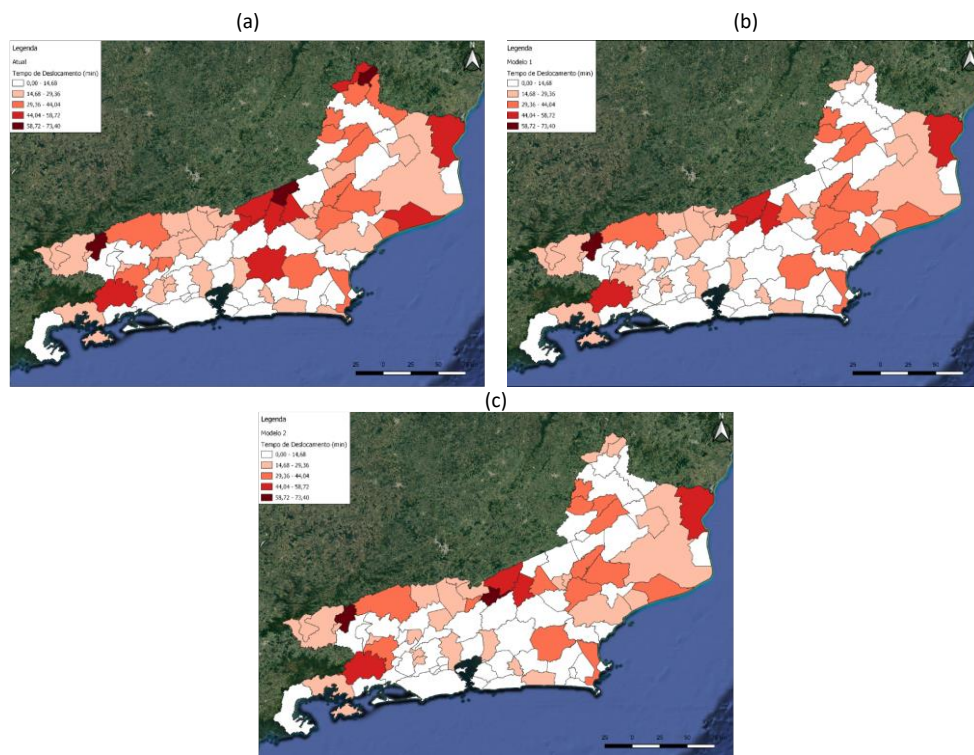


Fonte: dados da pesquisa.

No modelo 2, quando foram estabelecidos pesos com base na população do município, de forma geral, manteve-se uma diminuição do tempo de resposta de atendimento das ambulâncias do CBMERJ aos chamados para os quais estas viaturas são solicitadas. Porém, é provável que, pelo aumento da densidade demográfica dessas regiões, haja um aumento do número de chamadas às quais este sistema de resposta a emergências responde. Esse maior tempo de deslocamento se reflete em um maior número de municípios que atendem com o tempo superior a 66 minutos, quando comparado com o modelo 1. O resultado está em sintonia com a literatura, que descreve que a densidade populacional interfere no deslocamento das ambulâncias para as unidades emergenciais que compõem o sistema de atendimento de emergência local (STEIN, 2015).

Na Figura 5, em que foram ilustrados o cenário atual (a), o modelo 1 (b) e o modelo 2 (c), observa-se uma representação cartográfica do estado do Rio de Janeiro, com uma distribuição por cores em gradação referentes aos tempos de deslocamento em minutos das ambulâncias do CBMERJ. Dibene et al. (2017) propõem que o tempo de resposta pode ser aprimorado por meio da realocação das instalações atuais, sem o dispêndio de recursos financeiros adicionais, mediante a utilização de métodos de localização. Os dados comprovam esta afirmativa, pois houve um aumento de municípios que obtiveram uma diminuição do tempo resposta de atendimento para próximo do tempo aceito de resposta em detrimento da diminuição dos municípios com um maior tempo de resposta.

Figura 5. Cartograma do estado do Rio de Janeiro representando o tempo de deslocamento (minutos) da ambulância mais próxima até o município. (a) Modelo atual; (b) Modelo 1; (c) Modelo 2



Fonte: dados da pesquisa.

Segundo Castaneda e Villegas (2017), o impacto das medidas que propõem uma melhor alocação de ambulâncias é concreto em termos da redução do número de regiões descobertas e da diminuição da ocupação do sistema de atendimento e da consequente melhoria na qualidade do serviço.

A representação cartográfica do estado do Rio de Janeiro que descreve a variação encontrada nos tempos de deslocamento foi apresentada na Figura 6 (modelo atual – modelo 1) e na Figura 7 (modelo atual – modelo 2). A realocação realizada pelo modelo das p-medianas reduziu o tempo resposta de atendimento das ambulâncias do CBMERJ – Tabela 2.

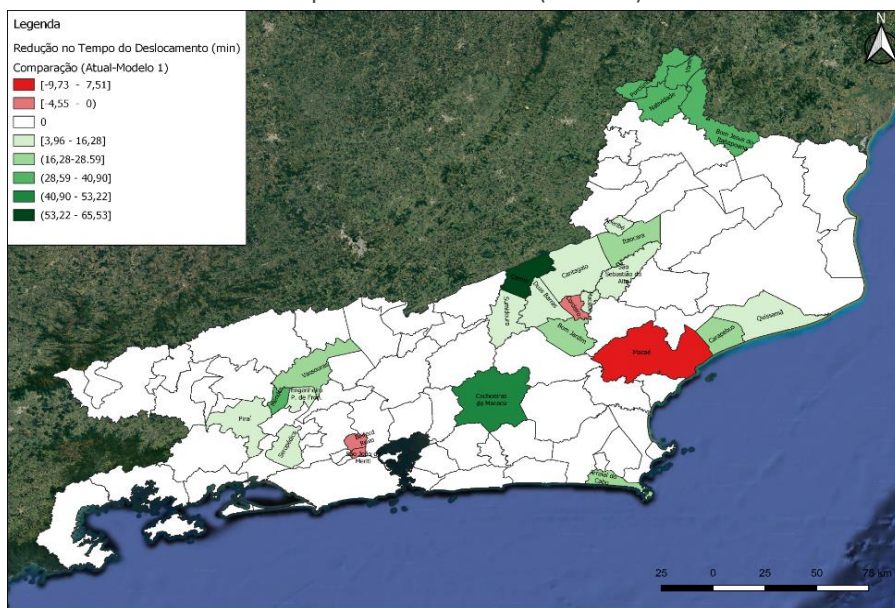
Tabela 2. Redução do tempo de atendimento

Redução do tempo	(Modelo atual vs Modelo 1)	(Modelo atual vs Modelo 2)
	Sem ponderação	Ponderado
	Nº de municípios	
4 a 16 min	9	9
16,6 a 28,5 min	5	5
28,5 a 40,1 min	6	5
40,1 a 53,2 min	1	1
53,2 a 65,5 min	1	1

Fonte: dados da pesquisa.

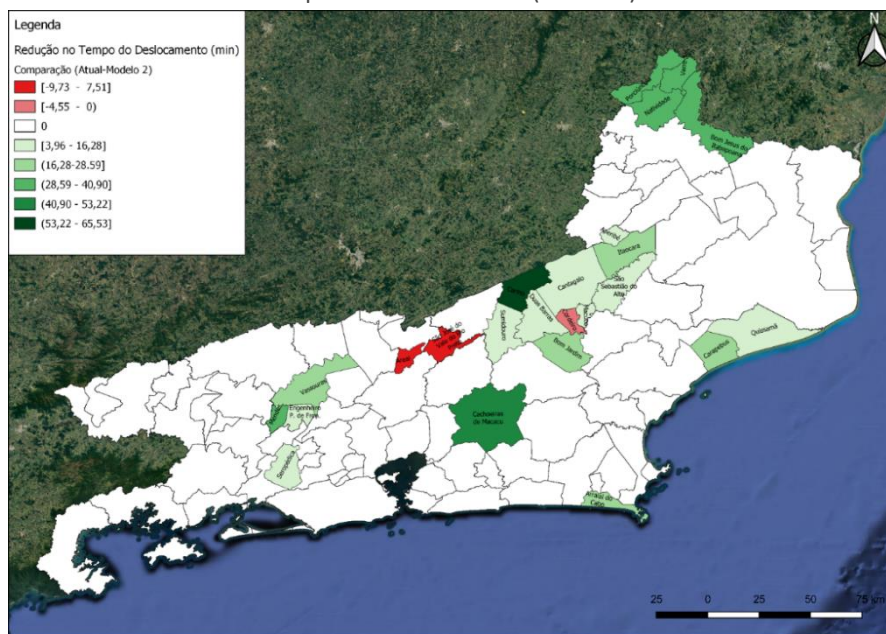
Após a aplicação do modelo p-medianas (sem ponderação), 22 municípios do interior do estado foram contemplados com redução do tempo resposta de atendimento, sem aumento de despesas para a corporação, somente com a realocação de ambulâncias entre unidades já existentes. Segundo Cacetta e Dzator (2005), a minimização do tempo de resposta mede o desempenho das instalações de emergência.

Figura 6. Cartograma do estado do Rio de Janeiro – (atual - modelo 1) – variação no tempo de deslocamento (minutos)



Na Figura 7, após a aplicação do modelo p-medianas com a ponderação do número de habitantes, ficou demonstrado que, em 68 municípios, não houve variação nos tempos resposta de atendimento das ambulâncias do CBMERJ lotadas nas unidades do interior do estado. O cartograma também mostrou que, em 2 municípios, nas cidades de Areal e São José do Rio Preto, houve um aumento do tempo resposta em torno de 9,5 a 7,5 minutos. Este aumento do tempo ocorreu devido ao deslocamento de uma ambulância que se encontrava no DBM (Destacamento de Bombeiro Militar) de Três Rios e precisava ir para o DBM Piraí. A realocação propiciou uma diminuição do tempo resposta nos municípios de Vassouras, Mendes e Engenheiro Paulo de Frontin.

Figura 7. Cartograma do estado do Rio de Janeiro – (atual - modelo 2) – variação no tempo de deslocamento (minutos).



Fonte: dados da pesquisa

Ainda na Figura 7, o município de Cordeiro manteve um aumento de 4,5 minutos em relação ao seu tempo atual de atendimento. Porém, os municípios de São João de Meriti e Belford Roxo que, no modelo não ponderado, apresentaram um aumento do tempo resposta de atendimento de 4,5 minutos, quando associado ao modelo ponderado pelo número de habitantes, houve uma diminuição do tempo. Esta diminuição ocorreu devido à realocação da ambulância no DBM de São João de Meriti. Essa mesma redução ocorreu no município de Macaé com a realocação da ambulância do CBMERJ no DBM em Cabiúnas, mantendo também uma ambulância na região central de Macaé, no 9º GBM. A realocação ponderada sobre a densidade demográfica promove uma diminuição no tempo de resposta em áreas mais populosas.

Desta forma, 21 municípios do interior do estado do Rio de Janeiro foram contemplados com uma diminuição do tempo resposta de atendimento — sem aumento de despesas para a corporação — somente com a realocação de ambulâncias propostas pelo modelo 2.

Os resultados obtidos comprovam a aplicabilidade prática do modelo matemático p-mediana em problemas de planejamento (Dzator, 2012) associados à diminuição do tempo resposta com consequente otimização de serviços. Isso contribui para um atendimento mais eficiente, principalmente no que diz respeito a redução do tempo de resposta, uma vez que uma má localização pode resultar em atrasos na chegada da viatura ao local solicitado, podendo levar a graves sequelas ou até mesmo ao óbito da vítima (BARRETO et al. 2012). Segundo Atls (2013), o risco de mortalidade aumenta significativamente se não houver uma intervenção rápida durante a primeira hora de tratamento após um grande trauma.

Esses resultados auxiliam num processo de controle interno e gestão de risco, que de acordo com Ortigara e Razzolini (2020) melhora a eficácia e a eficiência operacional, contribuindo para o alcance dos objetivos. A pesquisa ainda ajuda a subsidiar decisões destinadas a melhorar o desempenho dos sistemas de emergência móvel em níveis estratégicos como a construção de novas bases, e táticos, como o número e a alocação de ambulâncias.

Vale ressaltar que a tomada de decisão em sistemas de atendimento de emergência sempre leva consideração as limitações financeiras (BABAEI; SHAHANAGHI, 2017). Segundo Cacetta e Dzator (2005), a minimização do tempo de resposta é um indicador fundamental de desempenho para as instalações de emergência, e esse desempenho pode ser aprimorado pelo redesenho da localização das instalações existentes ou pelo aumento do seu número. No entanto, o aumento no número de instalações encontra limitações devido a restrições de investimentos financeiros. Portanto, é de suma importante a alocação inteligente das instalações de emergência. Nesse sentido, o estudo propõe a realocação das unidades móveis em bases existentes, sem a necessidade de construção de novas instalações.

Por fim, os resultados estão alinhados com a visão de Silva, Ogata e Pedro (2017) sobre a apresentação da tecnologia na área de saúde. Independentemente do serviço, o princípio fundamental deve sempre ser relacionado ao bem-estar da população, à promoção da saúde e à melhoria da qualidade de vida.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

É indiscutível que o primeiro atendimento à urgência e emergência se constitui em um importante componente da assistência à saúde. Atualmente, em diversos países, nem sempre os recursos públicos para a saúde são suficientes para atender às demandas pelos serviços. Portanto, os formuladores de políticas devem fornecer os serviços de saúde mais eficazes aos cidadãos, dentro dos limitados recursos disponíveis. O processo de planejar, gerenciar e controlar os recursos é fundamental para um sistema provedor de atendimento de emergência. Ao usar os recursos disponíveis, os melhores serviços de socorro são entregues aos necessitados. Neste sentido, planejar os cuidados em saúde empregados ao atendimento a vítimas em emergência clínica e traumática no ambiente pré-hospitalar é fundamental para um adequado atendimento à população.

Estudos demonstram que a redução do tempo de resposta da ambulância aumenta a probabilidade de sobrevivência dos pacientes. Assim sendo, a localização de ambulâncias é uma questão relevante, com o objetivo de prover uma melhora da qualidade dos serviços prestados mediante um adequado tempo resposta de atendimento.

Conforme observou-se nos resultados, conclui-se que, ao utilizar o modelo matemático p-mediana, haverá melhor distribuição das ambulâncias do Corpo de Bombeiros no interior do estado do Rio de Janeiro, promovendo uma redução do tempo resposta de atendimento.

# Evaluation of the allocation of fire department ambulances in the interior of the state of Rio de Janeiro

## ABSTRACT

According to the Yearbook of the Military Fire Department of the State of Rio de Janeiro (CBMERJ, 2015), there were 220,219 requests for corporation ambulances, with a third of them occurring in municipalities in the interior of the state, where there are 67 fire department units (CBMERJ, abbreviation in Portuguese) that allocate 55 ambulances. The response time between the request and the arrival of the ambulance at the event is a determining factor in the patient survival rate. In this study, we considered the p-median model in order to assess the allocation of ambulances in CBMERJ units, located in the interior of the state and propose a reallocation of these vehicles, aiming to decrease the average distance and response time, increasing efficiency pre-hospital care provided. Data were collected on the geographic location of the CBMERJ units, in the interior, and the allocation of ambulance in these units. Based on the data obtained, it was verified that the relocation promoted a reduction in commuting times and increased the number of municipalities that reached the response time of 14.5 minutes. This value was considered satisfactory, since it is approaching the eight-minute time interval, a globally accepted value for vehicle displacement in emergency care.

**KEYWORDS:** Ambulance. Allocation. Emergency. Response time, P-median.

---

## REFERÊNCIAS

ATLS Subcommittee, American College of Surgeons' Committee on Trauma, & International ATLS working group. Advanced trauma life support (ATLS®): the ninth edition. **The journal of trauma and acute care surgery**, v. 74, n. 5, p. 1363-1366, 2013.

AZIM, M.A. et al. Coverage based empirical modelling for ems rescue system of karachi (Pakistan). *Tehnicki vjesnik/Technical Gazette*, v. 21, n. 3, 2014.

BABAEI, A.; SHAHANAGHI, K. Presenting a new integrated humanitarian logistic model considering to undetermined provision supplies under uncertainty and real conditions. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, v.12, n. 19, out. 2017

BARRETO R.F. et al. Pain and epidemiologic evaluation of patients seen by the first aid unit of a teaching hospital. *Rev. Dor.*, v. 13, n. 3, p. 213-209, 2012. doi: <https://doi.org/10.1590/S1806-00132012000300004>

BARRETO, B.; ALEXANDRINO, F.; COELHO, O. Positioning of ambulances of the SAMU system by Integer Programming and Queueing Theory. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 4, p. 828-841, 2016.

BERG, P. L. Van Den.; AARDAL, K. Time-dependent MEXCLP with start-up and relocation cost. **European Journal of Operational Research**, v. 242, n. 2, p. 383-389, abr. 2015

BERG, Pieter L. Van Den; ESSEN, J. Theresia Van. Comparison of static ambulance location models. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 32, n. 3-4, p. 292-321, 2019.

BROTCORNE, L.; LAPORTE, G.; SEMET, F. Ambulance location and relocation models. **European Journal of Operational Research**, v. 147, n. 3, p. 451-463, jun. 2003.

CACCETTA, L.; DZATOR, M. Heuristics methods for locating emergency facilities, In: ZERGER, A.; ARGENT, R. M. (eds) MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005, pp. 1744-1750. ISBN: 0-9758400-29.

CASTAÑEDA, C.; VILLEGAS, J. G. Analyzing the response to traffic accidents in Medellín, Colombia, with facility location models. **IATSS research**, v. 41, n. 1, p. 47-56, 2017.



CBMERJ. **Anuário Estatístico do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro**.2020. Disponível em: [https://www.cbmerj.rj.gov.br/images/2022/03/anuario\\_estatistico\\_CBMERJ\\_2020.pdf](https://www.cbmerj.rj.gov.br/images/2022/03/anuario_estatistico_CBMERJ_2020.pdf). Acesso em: 14 out. 2023.

CLEMENTE, A. **Projetos empresariais e públicos**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 341 p.

DAVOUDPOUR, H.; MORTAZ, E.; HOSSEINIJOU, S. A. A new probabilistic coverage model for ambulances deployment with hypercube queuing approach. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 70, n. 5-8, p. 1157-1168, 2014.

DIBENE, J. C. et al. Optimizing the location of ambulances in Tijuana, Mexico. **Computers in Biology and Medicine**, v. 80, p. 107-115, jan. 2017.

DZATOR, M.; DZATOR, J. An effective heuristic for the P-median problem with application to ambulance location. **Opsearch**, v. 50, n. 1, p. 60-74, 2013.

EISENBERG, M. S.; CUMMINS, R. O.; DAMON, S.; LARSEN, M. P.; HEARNE, T. R. Survival rates from out-of-hospital cardiac arrest: recommendations for uniform definitions and data to report. **Annals of emergency medicine**, v. 19, n. 11, p. 1249–1259, 1990.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

HAKIMI, S. Louis. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. **Operations research**, v. 12, n. 3, p. 450-459, 1964.

HERCULANO, S. C. **A qualidade de vida e seus indicadores**. Niterói: Eduff, 2000

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. v4.3.46.2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 29 set. 2021.

JÁNOŠÍKOVÁ, Ľudmila; JANKOVIČ, Peter; KVET, Marek. Improving emergency system using simulation and optimization. In: **SOR 17: Proceedings of the 14th International Symposium on Operational Research**. 2017. p. 269-274.

LAM, Sean Shao Wei et al. Factors affecting the ambulance response times of trauma incidents in Singapore. **Accident Analysis & Prevention**, v. 82, p. 27-35, 2015.

LIU, M.; YANG, D.; HAO, F. Optimization for the Locations of Ambulances under Two-Stage Life Rescue in the Emergency Medical Service: A Case Study in Shanghai. **Mathematical Problems in Engineering**, Shanghai, jul. 2017.

LOPES, S. L. B.; FERNANDES, R. J. Uma breve revisão do atendimento médico pré hospitalar. **Revista do Hospital das Clínicas e da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP**, v. 32, n. 4, p. 381-387, Ribeirão Preto, out/dez. 1999.

LORENA, L.A.N.; LOPES, F.B. A surrogate heuristic for set covering problems. **European Journal of Operational Research**, 79, p. 138-150,1994.

ORTIGARA, Leandra Maria; RAZZOLINI FILHO, Edelvino. A decisão do gestor público, baseada nos controles internos, é eficiente?—gestão de risco como política pública. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 16, n. 45, p. 284-299, 2020.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project (2019). <http://qgis.osgeo.org>

R Core Team (2019). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REVELLE, C.; SWAIN, R. W. Central facilities location. **Geographical analysis**, v. 2, n. 1, p. 30-42, 1970.

RUSLIM, N. M.; GHANI, N. A. An application of the p-Median problem with uncertainty in demand in emergency medical services. In: IMT-GT REGIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS, STATISTICS AND APPLICATIONS, 2., 2006, Penang (Malasya). **Proceedings...** . Penang: IMT-GT, 2006. p. 13 - 15.

SACCO, W. J. et al. Precise Formulation and Evidence-based Application of Resource-constrained Triage. **Academic Emergency Medicine**, v. 12, n. 8, p. 759-770, 1 ago. 2005.

SANTOS FILHO, L. **História geral da medicina brasileira**. São Paulo, HUCITEC/USP. 1977. 677p.

SERRA, D.; MARIANOV, V.. The p-median problem in a changing network: the case of Barcelona. **Location Science**, v. 6, n. 1-4, p. 383-394, maio 1998.

SILVA, Meliza Cristina; OGATA, Márcia Niituma; PEDRO, Wilson José Alnes. A ciência e a tecnologia pelo olhar de gestores municipais de saúde e articuladores

de saúde do idoso de uma região no interior do estado de São Paulo. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 13, n. 28, p. 37-54, 2017.

STEIN, C.; WALLIS, L.; ADETUNJI, O. The effect of the emergency medical services vehicle location and response strategy on response times. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 26, n. 2, pp. 26-40. 2015.

SUND, B. Developing an analytical tool for evaluating EMS system design changes and their impact on cardiac arrest outcomes: combining geographic information systems with register data on survival rates. **Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine**, v. 21, n. 1, p. 1-8, 2013.

TORO-DÍAZ, Hector et al. Joint location and dispatching decisions for emergency medical services. **Computers & Industrial Engineering**, v. 64, n. 4, p. 917-928, 2013.

VAN DEN BERG, P. L.; AARDAL, K. Time-dependent MEXCLP with start-up and relocation cost European. **European Journal of Operational Research**, v. 242, p. 383-389, Amsterdam, out. 2015.

VAN ESSEN, J.T. et al. Models for ambulance planning on the strategic and tactical level. **Technical Report Beta Research School for Operations Management and Logistics**, Eindhoven, out. 2013.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3. SÃO PAULO: Atlas, 2000.

WANG, Y.; LUANGKESORN, K. L.; SHUMAN, L.. Modeling emergency medical response to a mass casualty incident using agent based simulation. **Socio-economic Planning Sciences**, v. 46, n. 4, p. 281-290, dez. 2012

**Recebido:** 31/07/2022

**Aprovado:** 16/10/2023

**DOI:** 10.3895/rts.v19n58.15796

**Como citar:**

DUARTE, L.; SHIMODA, E.; SILVA, F. F.; SHIMOYA, A.; MATIAS, I. Avaliação da alocação das ambulâncias do corpo de bombeiros no interior do estado do Rio de Janeiro. **Rev. Tecnol. Soc.**, Curitiba, v. 19, n. 58, p. 105-123, out./dez., 2023. Disponível em:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15796>

Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



