

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO REGIONAL E GESTÃO  
DA CIDADE  
CURSO DE DOUTORADO EM PLANEJAMENTO REGIONAL E GESTÃO DA  
CIDADE

LEONARDO MUNIZ SOARES DIAS DUARTE

**DISTRIBUIÇÃO OTIMIZADA DE AMBULÂNCIAS: UM MODELO DE  
ALOCÇÃO BASEADO EM P-MEDIANA PARA MELHORIA DO  
ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR**

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ  
Dezembro de 2024

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO REGIONAL E GESTÃO  
DA CIDADE  
CURSO DE DOUTORADO EM PLANEJAMENTO REGIONAL E GESTÃO DA  
CIDADE

LEONARDO MUNIZ SOARES DIAS DUARTE

**DISTRIBUIÇÃO OTIMIZADA DE AMBULÂNCIAS: UM MODELO DE  
ALOCAÇÃO BASEADO EM P-MEDIANA PARA MELHORIA DO  
ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Doutorado em Planejamento Regional e Gestão de Cidades da Universidade Candido Mendes – Campos/RJ, como requisito para obtenção do grau de DOUTOR EM PLANEJAMENTO REGIONAL E GESTÃO DA CIDADE.

Orientador: Prof. Fábio Freitas da Silva, D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ  
Dezembro de 2024

## CATALOGAÇÃO NA FONTE

Preparada pela Biblioteca da **UCAM – CAMPOS** 006/2025

Duarte, Leonardo Muniz Soares Dias.

Distribuição otimizada de ambulâncias: um modelo de alocação baseado em p-mediana para melhoria do atendimento pré-hospitalar. Leonardo Muniz Soares Dias Duarte. – 2024.

99 f.

Orientador(a): Fábio Freitas da Silva.

Coorientador(a): Eduardo Shimoda.

Tese de Doutorado em Planejamento Regional e Gestão da Cidade – Universidade Candido Mendes – Campos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2024.

Referências: f. 94-99.

1. Serviço de emergência móvel. I. Silva, Fábio Freitas da, orient. II. Universidade Candido Mendes – Campos. III. Shimoda, Eduardo, coorient. IV. Título.

CDU – 616-083.98

Bibliotecária Responsável: Flávia Mastrogirolamo CRB 7<sup>a</sup>-6723

LEONARDO MUNIZ SOARES DIAS DUARTE

**DISTRIBUIÇÃO OTIMIZADA DE AMBULÂNCIAS: UM MODELO DE  
ALOCAÇÃO BASEADO EM P-MEDIANA PARA MELHORIA DO  
ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Doutorado em Planejamento Regional e Gestão de Cidades da Universidade Candido Mendes – Campos/RJ, como requisito para obtenção do grau de DOUTOR EM PLANEJAMENTO REGIONAL E GESTÃO DA CIDADE

Aprovado em 04 de dezembro de 2024

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Fábio Freitas da Silva, D.Sc. - orientador  
Universidade Candido Mendes

---

Prof. Eduardo Shimoda, D.Sc. - coorientador  
Universidade Candido Mendes

---

Prof. Aldo Shimoya, D.Sc.  
Universidade Candido Mendes

---

Prof. Ana Paula Moura de Almeida, D.Sc.  
Faculdade de Medicina de Campos

---

Prof. Carlos Eduardo Faria Ferreira, D.Sc.  
Faculdade de Medicina de Campos

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ  
2024

## **DEDICATORIA**

Que este trabalho possa refletir, ainda que de maneira imperfeita, os valores que quero deixar para você minha filha... te amo.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha avó e aos meus pais, fonte de motivação.

À minha esposa, o meu mais sincero agradecimento pela sua compreensão.

À minha filha, para possa sempre acreditar e evoluir.

Aos meus orientadores, obrigado pela gentileza da relação.

## RESUMO

### **DISTRIBUIÇÃO OTIMIZADA DE AMBULÂNCIAS: UM MODELO DE ALOCAÇÃO BASEADO EM P-MEDIANA PARA MELHORIA DO ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR**

O tempo de resposta entre solicitação do atendimento até a chegada da ambulância ao local do evento se caracteriza como um fator determinante no índice de sobrevivência do paciente. O estudo tem como objetivo propor a alocação das ambulâncias envolvidas no atendimento pré-hospitalar, nas já existentes unidades do CBMERJ e nas unidades de emergências 24 horas situadas no município de Campos dos Goytacazes, visando diminuir a distância média e o tempo de resposta, aumentando a eficácia do atendimento pré-hospitalar prestado. Foi utilizado o modelo matemático p-mediana para melhorar a distribuição das ambulâncias de atendimento pré-hospitalar no município de Campos dos Goytacazes. Os dados foram coletados no Centro de Processamento de dados do Estado maior Geral do CBMERJ (Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro) no período de 2017 a 2019. Foram avaliadas 11 variáveis: data de atendimento, dia da semana, estação do ano, horário, turno, bairro e classificação de gravidade na dimensão “epidemiológica” e variáveis latitude e longitude na dimensão “localização”. Foram elaborados cartogramas de eventos de emergência para traçar o perfil epidemiológico e por meio da metodologia utilizada oferecer os gestores da saúde uma ferramenta para tomada de decisão. Foram obtidos resultados sobre o número de pacientes atendidos por dia da semana, turno, gravidade, em que foi utilizado o sistema adaptado de triagem de Manchester, que demonstraram que a segunda-feira foi o dia da semana com o maior número de eventos e que o sábado, o dia com o maior número de atendimentos com maior gravidade. Também foi obtido o número de ocorrências de atendimento de pacientes classificados por gravidade pelas estações do ano estratificado por turno e dias da semana, o que demonstrou pouca variação ao longo das estações do ano. Além da elaboração de cartogramas com localizações das ocorrências por bairro, o que demonstrou que a região central do município é o local de maior número de ocorrências de maior gravidade. Conclui-se que a melhor distribuição das ambulâncias, possibilitou uma redução no tempo

resposta de atendimento de emergência e aumento na abrangência de ocorrências que foram atendidas dentro de um tempo de resposta ideal de 8 minutos.

**Palavras-chave:** alocação; serviço de emergência móvel; p-mediana; tempo resposta; atendimento pré-hospitalar.

## ABSTRACT

### OPTIMIZED AMBULANCE DISTRIBUTION: A P-MEDIAN-BASED ALLOCATION MODEL FOR IMPROVING PREHOSPITAL CARE

The response time between the request for care and the ambulance's arrival at the scene is a determining factor in the patient's survival rate. The study proposes the allocation of ambulances involved in prehospital care in the CBMERJ units and in the 24-hour emergency units located in the municipality of Campos dos Goytacazes, aiming to reduce the average distance and response time, increasing the effectiveness of the prehospital care provided. The p-median mathematical model was used to improve the distribution of pre-hospital care ambulances in the municipality of Campos dos Goytacazes. The data was collected from the Data Processing Center of the General Staff of CBMERJ ((Military Fire Brigade of the State of Rio de Janeiro, acronym in Portuguese) from 2017 to 2019. Eleven variables were evaluated: date of service, day of the week, season, time of day, shift, neighborhood and severity classification in the "epidemiological" dimension, and latitude and longitude variables in the "location" dimension. Cartograms of emergency events were drawn up to outline the epidemiological profile and, through the methodology used, provide health managers with a decision-making tool. Results were obtained on the number of patients seen per day of the week, shift, and severity using the adapted Manchester triage system, which showed that Monday was the day of the week with the highest number of events, and Saturday, the day with the highest number of more serious cases. The number of patient care incidents classified by severity by season stratified by shift and days of the week was also obtained, which showed little variation over the seasons. In addition, cartograms were drawn up showing the location of occurrences by neighborhood, which showed that the central region of the municipality is the place with the highest number of more serious occurrences. It was concluded that the better distribution of ambulances led to a reduction in emergency response times and an increase in the number of incidents that were attended to within an ideal response time of eight minutes.

**Keywords:** allocation; mobile emergency service; p-median; response time; prehospital care.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de ocorrências .....	54
Tabela 2 – Número de ocorrências ponderadas pelo Sistema de Gravidade de Manchester adaptada.....	57
Tabela 3 – Número de ocorrências ponderadas pelo Sistema de Gravidade de Manchester adaptada – Turnos vs Dias da semana .....	59
Tabela 4 – Número de ocorrências ponderadas pelo Sistema de Gravidade de Manchester adaptada - Estações do Ano .....	60
Tabela 5 – Bases elegíveis em cada cenário pelo modelo P-mediana e métricas de comparação.....	71
Tabela 6 – Número de bairros cobertos e porcentagem do total de atendimentos em até 8 minutos dividido pelos cenários.....	74
Tabela 7 – Indica as bases selecionadas em cada cenário (1: Verdadeiro, 0: Falso) .....	82

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis pesquisadas.....	47
Quadro 2 – Os seguintes cenários foram simulados:.....	51

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico A: Número de ocorrências de eventos de emergência acontecidos por mês e dias da semana. Gráfico B: Número de ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Gravidade de Manchester por mês e dias da semana. ....	63
Figura 2 – Cartograma com a localizações das ocorrências de eventos de emergência ao nível de bairro. ....	64
Figura 3 – Densidade de kernel com as localizações das ocorrências de eventos de emergência adaptado ponderadas pelo Sistema de Triagem de Manchester.....	65
Figura 4 – Densidade de kernel ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Triagem de Manchester por estação – verão. ....	66
Figura 5 – Densidade de kernel ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Triagem de Manchester por estação-inverno. ....	67
Figura 6 – Densidade de kernel ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Triagem de Manchester por estação – outono. ....	68
Figura 7 – Densidade de kernel ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Triagem de Manchester por estação – primavera. ....	69
Figura 8 – Gráfico de caixa do tempo de deslocamento. ....	78
Figura 9 – Curvas de densidade. ....	80
Figura 10 – Cartograma com as bases selecionadas para o cenário Padrão. ....	84
Figura 11 – Cartograma com as bases selecionadas para o cenário não ponderado. ....	85
Figura 12 – Cartograma com as bases selecionadas para o cenário ponderado.....	86

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APH	Atendimento Pré-hospitalar
APVP	Anos Potenciais de Vida Perdidos
ASE	Auto Socorro de Emergência
ACLS	Advanced Cardiology Life Support
ATLS	Advanced Trauma Life Support
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBMERJ	Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro
CFM	Conselho Federal de Medicina
COGS	Centro de Operações GSE/SAMU
DAC	Departamento de Aviação Civil
DBM	Destacamento de Bombeiro Militar
DSE	Diretoria de Socorro de Emergência
EUA	Estados Unidos da América
GBM	Grupamento de Bombeiro Militar
GM	Gabinete do Ministro
GSE	Grupamento de Socorro de Emergência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LSCM	Location Set Covering Model
MALP	The Maximal Availability Location Problem
MCPL	Maximal Covering Location Problem
MEXCPL	Maximum Expected Covering Location Problem
MEXCPL2	Maximum Expected Coverage Location Problem with Two Types of Servers
Min	Minutos
MS	Ministério da Saúde
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde
PCR	Parada Cardiorrespiratória
PS	Pronto Socorro
PU	Posto de Urgência
RAPH	Registro de Atendimento Pré-Hospitalar
SAMU	Serviço de Atendimento Móvel de Urgência

SEDEC	Secretaria de Estado de Defesa Civil
TRAMAH	Trauma Resource Allocation Model for Ambulances and Hospitals
UBS	Unidade Básica de Saúde
UPA	Unidade de Pronto Atendimento
UPH	Unidade Pré-hospitalar
WHO	World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	<b>Objetivo geral</b> .....	16
1.2.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	17
1.4	QUESTÕES DE PESQUISA.....	17
1.5	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	18
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
<b>2</b>	<b>EPIDEMIOLOGIA DAS EMERGÊNCIAS</b> .....	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>GESTÃO DE SERVIÇO DE EMERGÊNCIA</b> .....	<b>24</b>
3.1	SERVIÇOS DE EMERGÊNCIA MÓVEL.....	24
3.2	GESTÃO EM EMERGÊNCIA PRÉ-HOSPITALAR.....	31
3.3	SISTEMAS DE TRIAGEM.....	35
3.4	TEMPO RESPOSTA.....	37
<b>4</b>	<b>MODELOS MATEMÁTICOS DE LOCALIZAÇÃO DE AMBULÂNCIAS</b> .....	<b>39</b>
4.1	MODELO P-MEDIANA.....	43
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>46</b>
5.1	COLETA DE DADOS.....	46
5.2	ANÁLISES.....	48
5.2.1	<b>Análise descritiva</b> .....	48
5.2.2	<b>Análise espacial</b> .....	48
5.2.3	<b>Modelo matemático</b> .....	50
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>53</b>
6.1	ANÁLISE DESCRITIVA.....	53
6.1.1	<b>Análise por estação</b> .....	60
6.1.2	<b>Análise mensal</b> .....	61
6.2	ANÁLISE ESPACIAL DOS EVENTOS.....	64
6.3	MODELO MATEMÁTICO.....	70
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>87</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>91</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>94</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

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, 2021).

Como estes serviços são de natureza pública, é natural que a comunidade espere um serviço equitativo realizado por estes sistemas (Enayati *et al.*, 2019). E para isso, a localização das ambulâncias que os compõe é um dos fatores críticos que determinam a eficiência da prestação de serviços médicos de emergência (Azizan *et al.*, 2017).

Embora a taxa de sobrevivência do paciente reflita a capacidade de um sistema de emergência móvel de atingir seu objetivo, poucos modelos a consideram, devido à dificuldade de vincular a medida da taxa de sobrevivência às mudanças viáveis no processo de resgate. Sacco *et al.* (2005) e Wang *et al.* (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.

Portanto, o tempo de resposta é um fator crucial na sobrevivência do paciente, assim espera-se que uma ambulância chegue ao local dos incidentes o mais rapidamente possível. Segundo Nogueira *et al.* (2016), o tempo de resposta é

definido como o tempo entre a notificação de uma ocorrência e a chegada da ambulância ao local.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece que um tempo de resposta ideal equivale a 8 minutos. Desta forma, o tempo de resposta é usado como objetivo para planejar os sistemas de emergência móvel e medir seu desempenho.

Da mesma forma, a avaliação da gravidade do paciente a ser atendido é um importante critério com o intuito de oferecer uma abordagem com uma maior efetividade no atendimento (Enayati *et al.*, 2019).

Existem vários modelos com o objetivo de promover uma distribuição ideal de ambulâncias Van Essen *et al.* (2013). Segundo Dibene *et al.* (2017), os modelos matemáticos de localização são úteis como uma ferramenta para melhorar os tempos resposta através de uma realocação das bases atuais sem a necessidade de recursos adicionais.

Dentre estes modelos, existem aqueles projetados para minimizar a distância média ou o tempo. Esse conceito leva a um modelo de localização conhecido como p-mediana. O modelo p-mediana define a localização das instalações (p) para minimizar a distância média ou tempo entre demanda de uma população e a instalação mais próxima (Ruslim; Ghani, 2006).

O modelo p-mediana mede a eficácia das instalações de emergência, pois à medida que as distâncias de deslocamento diminuem promovem uma diminuição no tempo resposta (Serra *et al.*, 1998).

O município de Campos dos Goytacazes, situado no interior do estado do Rio de Janeiro, segundo dados do IBGE (2022), tem uma população estimada em torno de 483.551 habitantes, uma extensão territorial de 4.032 quilômetros quadrados e é o mais populoso município do interior do estado do Rio de Janeiro.

Neste município, o atendimento pré-hospitalar é realizado pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ), que nos anos de 2017, 2018 e 2019, realizou pelas suas ambulâncias, um total de 10.000 mil atendimentos, segundo estatísticas fornecidas pela Diretoria de Socorro de Emergência (DSE), órgão que armazena os dados estatísticos de atendimentos de emergência da corporação. Distribuídas pelo município de Campos dos Goytacazes, existem 2 quartéis do CBMERJ, que alocam 3 ambulâncias, divididas entre básicas, intermediárias e avançadas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Traçar o perfil epidemiológico das urgências e das emergências atendidas no ambiente pré-hospitalar no município de Campos dos Goytacazes e utilizar um modelo matemático para sugerir a localização de viaturas com o intuito de minimizar o tempo resposta.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1. Identificar a localização das unidades de emergência 24 horas e dos quartéis do Corpo de Bombeiros no município de Campos dos Goytacazes, locais onde ambulâncias podem ser alocadas;
2. Realizar uma estatística espacial através do mapeamento de eventos de emergência ocorridos no município de Campos dos Goytacazes atendidos no ambiente pré-hospitalar nos anos de 2017, 2018 e 2019, com o intuito de identificar áreas de maior risco;
3. Utilizar o modelo p-mediana para propor através de matriz de distância e tempo qual seria a alocação ideal para as ambulâncias de atendimento pré-hospitalar no município de Campos dos Goytacazes distribuídas por unidades de emergência 24 horas;
4. Analisar os dados obtidos, com o intuito de propor uma nova alocação das ambulâncias de atendimento pré-hospitalar no município de Campos dos Goytacazes com a finalidade de diminuir o tempo resposta.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Devido à importância das causas externas como etiologia de graves doenças emergenciais, o adequado entendimento do atendimento a lesões traumáticas e a importância da precocidade da sua abordagem faz-se necessária no contexto da promoção de um cuidado adequado praticado por sistemas de emergência móvel.

Portanto, é indiscutível que o primeiro atendimento a urgência e emergência se constitui em um importante componente da assistência à saúde. A crescente demanda por serviços nesta área nos últimos anos, devida ao crescimento do número de acidentes e da violência urbana e à insuficiente estruturação da rede são fatores que têm contribuído decisivamente para a sobrecarga de serviços de urgência e emergência disponibilizados para o atendimento da população e assim propor modelos de gestão de recursos que potencializem a capacidade de resposta de uma sistema de emergência é fundamental para uma adequada assistência à saúde de uma população.

### 1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

Quais são as áreas do município de Campos dos Goytacazes com maior concentração de eventos emergenciais? Quais são as áreas do município de Campos dos Goytacazes com maior concentração de eventos emergenciais ponderados pela gravidade? Quais são os dias, horários e estações do ano do município de Campos dos Goytacazes que acontecem uma maior concentração de eventos emergenciais ponderados pela gravidade? Como uma análise epidemiológica de concentração de eventos de emergência pode melhorar na identificação de áreas prioritárias para o atendimento pré-hospitalar? Como a aplicação de um modelo de estatística espacial pode melhorar a identificação de áreas prioritárias para o atendimento pré-hospitalar? Como um modelo matemático de distribuição espacial, pode propor uma realocação de ambulâncias existentes em bases já existentes em uma área determinada com o objetivo de alcançar uma diminuição do tempo resposta a partir de uma melhor distribuição destas ambulâncias? Como é possível diminuir o tempo resposta somente com a realocação de viaturas em bases já existentes, sem a necessidade de aumentar o custo da aquisição de novas viaturas ou a construção de novas bases.

## 1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este estudo foi realizado no município de Campos dos Goytacazes, localizado na região norte do estado do Rio de Janeiro. Os dados coletados foram de eventos atendidos neste município, pelas ambulâncias do CBMERJ, nos anos de 2017, 2018 e 2019, distribuídos pelos dias da semana, horário e gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester. Em relação ao período escolhido para a coleta de dados, em 11 de março de 2020, uma nova cepa de coronavírus que não havia sido identificada antes em seres humanos, a COVID-19 foi caracterizada pela OMS como uma pandemia. Durante o período que durou este surto de distribuição geográfica mundial, esta infecção com sintomas altamente variáveis, desde nenhuma queixa, ao risco de morte, promoveu uma instabilidade social e econômica global significativa. Como a COVID-19 é transmitida quando as pessoas respiram ar contaminado por gotículas transportadas pelo ar que contêm o vírus e o risco de inalar é maior quando as pessoas estão próximas, muitas instituições e áreas públicas foram parciais ou totalmente fechadas e muitos eventos foram cancelados ou adiados. Essas ações preventivas mudaram as características dos eventos de emergência atendidos em via pública e por isso os anos de 2020 e 2021, principais anos da pandemia, foram excluídos das estatísticas. O município de Campos dos Goytacazes possui dois serviços de atendimento pré-hospitalar, o CBMERJ e o programa Emergência 192 da Secretaria Municipal de Saúde. Os dados coletados para esta pesquisa foram dos atendimentos realizados pelas ambulâncias do CBMERJ, visto que na época de coleta de dados, era o único serviço que disponibilizava dos registros adequadamente armazenados e disponíveis para a pesquisa.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 5 capítulos.

O presente capítulo, Introdução, apresenta a contextualização do tema e os objetivos da pesquisa.

O capítulo 2, Revisão da Literatura relacionada ao tema emergência pré-hospitalar, serviços de atendimento de emergência, alocação de ambulâncias, modelos matemáticos de alocação, estatística espacial e a associação entre os

temas, bem como considerações sobre a importância de aumentar a eficiência dos modelos de atendimento de emergência pré-hospitalares.

O capítulo 3, Metodologia, descreve o método utilizado para pesquisa, onde foi utilizado uma estatística espacial através do mapeamento de eventos de emergência e o modelo matemático p-mediana, com o intuito de propor uma melhor distribuição das ambulâncias envolvidas com o atendimento pré-hospitalar no município de Campos dos Goytacazes.

O capítulo 4, Resultados e discussão apresenta os resultados encontrados na pesquisa com o mapeamento da produção científica sobre o tema, bem como a discussão dos mesmos.

O capítulo 5, apresenta as conclusões.

## 2 EPIDEMIOLOGIA DAS EMERGÊNCIAS

Segundo a Organização Pan-Americana de Saúde - OPAS (2009), as doenças infectocontagiosas, que representavam cerca de metade das mortes registradas no País em meados do Século XX, hoje são responsáveis por menos de 10% da mortalidade, ocorrendo o oposto em relação às doenças cardiovasculares. Há também um importante aumento na violência urbana, que é responsável por um elevado número de óbitos.

A estes dados, soma-se o aumento da concentração da população nos grandes centros urbanos. Segundo Destri Junior (2005), cidades com grandes concentrações populacionais surgiram e com elas os problemas decorrentes, dentre estes os mais importantes: a grande utilização dos automóveis como meio de transporte; a sobrecarga do sistema viário; o aumento da violência urbana; as doenças provenientes de uma população caracteristicamente sedentária e com hábitos alimentares pouco adequados (Rodrigues; Simões; Ferreira, 2017).

Segundo Sousa e Toro (2021), a partir desses fatores e de outros, as ocorrências médicas se multiplicaram nos grandes centros urbanos, promovendo diferentes demandas para os serviços de saúde no país, que vem com demandas crescentes nas últimas décadas. Agora, para atender as mais intensas demandas da população, faz-se necessário conduzir uma melhor abordagem, principalmente no que se refere ao atendimento emergencial de doenças de origem cardiocirculatória e eventos associados a violência urbana e acidentes automobilísticos (Santos; Cordovil, 2020).

A parada cardíaca súbita refere-se à cessação súbita da atividade cardíaca com colapso hemodinâmico, tipicamente devido à taquicardia ventricular sustentada ou a fibrilação ventricular. Esses eventos ocorrem principalmente em pacientes com

doença cardíaca estrutural (que pode não ter sido previamente diagnosticada), particularmente doença coronariana (Demirovic; Myerburg, 1994).

Dados de atestados de óbito sugerem que a parada cardíaca súbita é responsável por aproximadamente 15% da mortalidade total nos Estados Unidos e em outros países industrializados (Zheng *et al.*, 2001).

Na presença de uma parada cardíaca, o tempo para a desfibrilação é o mais importante determinante da sobrevivência (Atkins, 1986 apud Eiseinberg *et al.*, 1990). Esta verdade decorre de vários motivos: (1) o ritmo inicial mais frequente na parada cardíaca súbita presenciada é a Fibrilação Ventricular; (2) o tratamento mais efetivo para a Fibrilação Ventricular é a desfibrilação elétrica; (3) a probabilidade de desfibrilação com sucesso diminui rapidamente ao longo do tempo. Muitos adultos com Fibrilação Ventricular podem sobreviver neurologicamente intactos, se a desfibrilação for realizada até 6 a 10 minutos após a parada cardíaca súbita, particularmente se a Reanimação Cardiopulmonar for realizada. Entretanto, é improvável que a Reanimação Cardiopulmonar converta a Fibrilação Ventricular para um ritmo normal. Assim, a velocidade com que a desfibrilação é realizada, é o principal determinante do sucesso das tentativas de ressuscitação para o tratamento da parada cardíaca originada de uma Fibrilação Ventricular. As taxas de sobrevivência após a parada cardíaca caem aproximadamente 7% a 10% a cada minuto que a desfibrilação é retardada. Uma taxa de sobrevivência de até 90% foi relatada quando a desfibrilação é alcançada no primeiro minuto do colapso. Quando a desfibrilação é retardada, as taxas de sobrevivência caem para aproximadamente 50% em 5 minutos, aproximadamente 30% em 7 minutos, aproximadamente 10% em 9 a 11 minutos, e aproximadamente 2 % a 5% além de 12 minutos (Eiseinberg *et al.*, 1990).

Segundo Ballesteros-Peña, Abecia-Inchaurregui e Echevarría-Orella (2013), ao descrever as características epidemiológicas das paradas cardíacas atendidas em unidades básicas de suporte de vida no País Basco (Espanha) e buscar fatores associados à falha da ressuscitação cardiopulmonar, 71,4% das paradas cardíacas atendidas ocorreram em casa. A ressuscitação cardiopulmonar foi iniciada antes da chegada da ambulância em somente 23% dos casos. A ressuscitação cardiopulmonar com sucesso antes da chegada da ambulância foi incomum. Assim, desenvolver estratégias destinadas a reduzir o tempo de resposta da ambulância e

educar o público na ressuscitação básica pode diminuir a elevada mortalidade associada a eventos que evoluem para a parada cardíaca.

Devido à importância das causas externas como etiologia de graves doenças emergenciais, o adequado entendimento do atendimento a lesões traumáticas e a importância da precocidade da sua abordagem faz-se necessária no contexto da promoção de um cuidado adequado praticado por sistemas de emergência móvel. Lesões traumáticas podem variar de pequenas feridas isoladas a lesões complexas envolvendo múltiplos sistemas orgânicos. Todos os pacientes com trauma exigem uma abordagem sistemática para maximizar os resultados e reduzir o risco de lesões não descobertas (WHO, 2021).

O trauma é uma das principais causas de mortalidade global. Em todo o mundo, as lesões causadas pelo trânsito estão entre as principais causas de morte entre 18 e 29 anos, enquanto nos Estados Unidos, o trauma é a principal causa de morte em adultos jovens e representa 10% de todas as mortes entre homens e mulheres. Segundo a Organização Mundial de Saúde, as lesões causadas pelo trânsito foram responsáveis por 1,25 milhões de mortes em 2019, e o trauma deverá aumentar para a terceira causa de incapacidade em todo o mundo até 2030. Fora das áreas de conflito armado, os ferimentos penetrantes são responsáveis por menos de 15% das mortes traumáticas em todo o mundo, mas essas taxas variam de acordo com o país.

Pacientes com lesões traumáticas graves têm uma probabilidade significativamente menor de mortalidade ou morbidade quando tratados em centros de trauma especializados (Mackenzie *et al.*, 2006). As causas mais comuns de mortalidade por trauma são hemorragias, síndrome de disfunção de múltiplos órgãos e parada cardiorrespiratória.

Relativamente poucos pacientes morrem após as primeiras 24 horas da lesão. Pelo contrário, a maioria das mortes ocorre no local ou nas primeiras quatro horas após o paciente chegar a um centro de trauma (Teixeira *et al.*, 2007).

O conceito de "hora de ouro", que enfatiza o aumento do risco de morte e a necessidade de intervenção rápida durante a primeira hora de tratamento após um grande trauma, foi descrito em estudos iniciais sobre trauma. Sem dúvida, a intervenção rápida melhora o resultado de pacientes feridos, principalmente na presença de obstrução das vias aéreas, pneumotórax hipertensivo, hemorragia grave (ATLS, 2012).

Assim diminuir o tempo resposta de atendimento para pacientes vítimas de trauma, é uma ação importante para o objetivo de aumentar a sobrevivência destes pacientes (Branas *et al.*, 2005).

Pelo acima exposto, é indiscutível que o primeiro atendimento à urgência e emergência se constitui em um importante componente da assistência à saúde. A crescente demanda por serviços nesta área nos últimos anos, devida ao crescimento do número de acidentes e da violência urbana e a insuficiente estruturação da rede de atendimento são fatores que têm contribuído decisivamente para a sobrecarga de serviços de urgência e emergência disponibilizados para o atendimento da população (Xu *et al.*, 2020).

Na questão social, a importância de uma adequada resposta a eventos que envolvam situações emergenciais originárias de causas externas, pode ser verificada pelo aumento de 30% no índice Anos Potenciais de Vida Perdidos (APVP) em relação a acidentes e violências nos últimos anos, enquanto por causas naturais, os números estudados estão em queda (Gawryszewski; Koizumi; Mello-Jorge, 2000).

### **3 GESTÃO DE SERVIÇO DE EMERGÊNCIA**

No último século, a gestão em saúde tornou-se uma atividade bastante complexa, porque além do aumento da demanda do atendimento, a gestão dos serviços de saúde tem se caracterizado por uma escassez de recursos humanos e financeiros. Esta característica é ainda mais evidente nos serviços públicos voltados para o atendimento de emergência e ainda mais relevante nos países em desenvolvimento (Hind *et al.*, 2020). Portanto, a busca de meios que objetivam proporcionar a oferta de um serviço de atendimento à população mais eficiente, sem a necessidade de aumento de recursos é um importante instrumento nos processos de organização dos serviços de atendimento de emergência (Neves, 2021).

A qualidade de vida de uma população, pode ser avaliada através da capacidade efetiva de um grupo social de satisfazer suas necessidades, partindo da análise dos 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 às necessidades de saúde, inclui-se o atendimento a pacientes com quadros agudos, onde um componente importante do sistema são os serviços de emergência móvel (Lopes; Fernandes, 2021).

#### **3.1 SERVIÇOS DE EMERGÊNCIA MÓVEL**

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, 2021).

Os referidos serviços são sistemas complexos, caracterizados por uma variação significativa nas equipes que os compõe, na abrangência espacial, nas abordagens de atendimento e nos indicadores de qualidade (Santos; Cordovil, 2019).

Segundo Fontanella e Carli (1993), a primeira tentativa de organização moderna de possibilitar um auxílio médico de urgência pré-hospitalar foi colocada em prática no ano de 1792, por Dominique Jean Larrey, cirurgião e chefe militar das tropas da *Grande Armée* de Napoleão. Depois de ver a velocidade com que manobravam as carruagens francesas que compunham a *flying artillery* (artilharia voadora) nos campos de batalha, Larrey adaptou-as como *ambulance volantes* (ambulâncias voadoras) e tripuladas por militares treinados com os conhecimentos de primeiros socorros da época, tinham a missão de prover um transporte rápido dos feridos do local do combate para os hospitais de campanha, durante a Batalha de Metz (1793) durante a Guerra da Primeira Coalizão que ocorreu no período napoleônico. Ao fim do confronto, demonstrou-se o grande valor das ambulâncias de campo. Larrey também aumentou a mobilidade e melhorou a organização dos hospitais de campanha e estabeleceu uma regra para a triagem de vítimas de guerra, tratando os feridos de acordo com a gravidade de seus ferimentos e urgência da necessidade de cuidados médicos, independentemente de sua posição ou nacionalidade. Relatos da época, descrevem que soldados de exércitos inimigos, assim como os franceses e seus aliados, eram adequadamente tratados. O cuidado era dimensionado no próprio campo de batalha, com o objetivo de prevenção de futuras complicações das lesões, que precocemente se ocorriam nos soldados vitimados.

Na prática civil, as instituições médicas demoraram a se mobilizar, mesmo diante do aumento progressivo de perdas de vidas humanas no ambiente pré-hospitalar, causadas por emergências cardiovasculares e acidentes de trânsito. Essa demora, fez com que autoridades sanitárias na França, delegassem no início do século XX, a responsabilidade deste serviço ao Corpo de Bombeiros, o que historicamente, pode explicar a importante abrangência deste serviço, que é de

responsabilidade das unidades de bombeiros espalhadas em todo o mundo, até os dias de hoje (Lopes; Fernandes, 2021).

Lopes e Fernandes (2021) descrevem que, na França, foram criadas, em meados do ano de 1955, as primeiras equipes móveis de reanimação, ou seja, foi neste período que emergiram as primeiras ambulâncias, colocando como missão inicial a assistência médica às pacientes vítimas de acidentes de trânsito, buscando a manutenção da vida deles.

O serviço de atendimento pré-hospitalar no Brasil tem um histórico ligado a instituição militar. Em 1856 é criado o Corpo Provisório de Bombeiros da cidade do Rio de Janeiro e 43 anos após sua criação, em 1899, a primeira ambulância puxada por tração animal é colocada em ação.

Em julho de 1986, é criado pelo Decreto nº 9.053 do Governo do Estado do Rio de Janeiro o Grupamento de Socorro de Emergência (GSE), constituído como um órgão do Poder Executivo Estadual, pertencente à estrutura operacional do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ), da Secretaria de Estado da Defesa Civil (SEDEC). O Grupamento de Socorro de Emergência constituía a unidade operacional do CBMERJ, cuja missão era o atendimento pré-hospitalar móvel à população do Estado do Rio de Janeiro, em situações de emergência ou urgência médica em vias e logradouros públicos, em sua essência.

Com a criação no Estado do Rio de Janeiro desta unidade militar de atendimento pré-hospitalar e de outros programas de trabalho afins em outras Unidades Federativas do Brasil, principalmente no Estado de São Paulo e no Rio Grande do Sul o modelo de prestação de serviço destas unidades ainda era incipiente, não contextualizado e adaptado principalmente ao modelo norte-americano. Havia falta de reconhecimento e oportuna normatização dos serviços de atendimento de urgência e emergência no país por parte das instituições responsáveis por estas demandas.

Somente em 1998, que o Conselho Federal de Medicina (CFM), lançou a Resolução nº 1529, que define a atividade médica na área de urgência/emergência em sua fase pré-hospitalar e em 1999 o Ministério da Saúde, através da Portaria nº 824, normatiza o atendimento pré-Hospitalar em todo território nacional. Dois anos mais tarde, em 2001, a portaria do Ministério da Saúde nº 814, define as diretrizes e princípios da regulação médica nas emergências/urgências.

Segundo o Ministério da Saúde, em 2001, no Brasil é de domínio do poder público prover para a sociedade, um atendimento qualificado para situações de agravo à saúde ou situações que atentem contra sua integridade física. No Brasil essa estrutura é provida por entidades públicas, como por exemplo: polícia (federal, civil e militar), corpo de bombeiros, serviço de atendimento móvel de urgência, rede de hospitais e unidades de atendimento, dentre outros.

Em razão a esta responsabilidade pública, o Ministério da Saúde em 2002, promove a estruturação dos Sistemas Estaduais de Urgências e Emergências, buscando envolver toda rede assistencial de forma regionalizada e hierarquizada. Esta estruturação é regulamentada pela Portaria 2048/GM de 05/11/2002. Esta portaria versa sobre as atribuições aos componentes do Sistema de Urgência e Emergências que compõe a rede de atendimento a pacientes em situação de emergência em todo o país. Para atingir este objetivo, descreve os princípios, as diretrizes, as normas e os critérios de funcionamento da Regulação Médica das Urgências e Emergências, do atendimento pré-hospitalar móvel e ainda das Unidades de Referência Hospitalar em Atendimento às Urgências e Emergências. Este Regulamento é de caráter nacional devendo ser utilizado pelas Secretarias de Saúde dos Estados e do Distrito Federal. Este é um documento norteador na constituição do atendimento pré-hospitalar realizado pelo CBMERJ e pelo Programa Emergência 192.

Segundo a Portaria GM/2048 (2002), o nível pré-hospitalar móvel na área de urgência, caracteriza-se pelo componente de um sistema de emergência que se define por uma assistência que procura chegar precocemente à vítima, após ter ocorrido um agravo à sua saúde (de natureza clínica, cirúrgica, traumática ou psiquiátrica), evento este, que possa levar a sofrimento, sequelas ou mesmo à morte, sendo necessário, portanto, prestar-lhe atendimento e/ou transporte adequado a um serviço de saúde devidamente hierarquizado e integrado ao sistema de emergência local. Pode ser chamado de atendimento pré-hospitalar móvel primário quando o pedido de socorro for oriundo de um cidadão ou de atendimento pré-hospitalar móvel secundário quando a solicitação ocorre a partir de um serviço de saúde, no qual o paciente já tenha recebido o primeiro atendimento, necessário para a estabilização do quadro de urgência apresentado, porém necessite ser conduzido a outro serviço de maior complexidade para a continuidade do tratamento.

O CBMERJ e o Emergência 192, através de suas ambulâncias de atendimento pré-hospitalar prestam o atendimento à população no serviço pré-hospitalar caracterizado pelo Ministério da Saúde, tanto o primário e como o secundário.

Ainda seguindo a portaria regulamentadora editada pelo ministério da saúde, a Portaria GM/2048 (2002) determina que os serviços de atendimento pré-hospitalar móvel devem contar com equipe de profissionais oriundos da área da saúde e não oriundos da área da saúde.

A equipe de profissionais oriundos da área da saúde deve ser composta por: médicos responsáveis pelo atendimento necessário para a reanimação e estabilização do paciente no local do evento e durante o transporte; enfermeiros responsáveis pelo atendimento de enfermagem necessário para a reanimação e estabilização do paciente no local do evento e durante o transporte e auxiliares e técnicos de Enfermagem com a atuação sob supervisão imediata do profissional enfermeiro.

O CBMERJ e o Emergência 192, apresentam na composição da guarnição de suas ambulâncias, profissionais compatíveis as diretrizes do Ministério da Saúde.

Além da equipe de saúde, segundo o Ministério da saúde, em situações de atendimento às urgências relacionadas às causas externas ou de pacientes em locais de difícil acesso, deverá haver uma ação pactuada, complementar e integrada com outros profissionais não oriundos da saúde – bombeiros militares, policiais militares e rodoviários e outros, formalmente reconhecidos para o desempenho das ações de segurança, socorro público e salvamento. O CBMERJ apresenta profissionais com esta formação na composição das suas equipes de socorro, porém o Emergência 192, não têm estes profissionais em seus quadros funcionais.

Segundo a Portaria GM/2048 (2002), define-se como ambulância um veículo (terrestre, aéreo ou aquaviário) que se destina exclusivamente ao transporte de enfermos. As dimensões e outras especificações do veículo terrestre deverão obedecer às normas da ABNT – NBR 14561/2000, de julho de 2000.

Ainda segundo a mesma Portaria, as Ambulâncias devem ser classificadas em: Tipo A – Ambulância de Transporte: veículo destinado ao transporte em decúbito horizontal de pacientes que não apresentam risco de vida, para remoções simples e de caráter eletivo. Tipo B – Ambulância de Suporte Básico: veículo destinado ao transporte inter-hospitalar de pacientes com risco de vida conhecido e

ao atendimento pré-hospitalar de pacientes com risco de vida desconhecido, não classificado com potencial de necessitar de intervenção médica no local e/ou durante transporte até o serviço de destino. Tipo C - Ambulância de Resgate: veículo de atendimento de urgências pré-hospitalares de pacientes vítimas de acidentes ou pacientes em locais de difícil acesso, com equipamentos de salvamento (terrestre, aquático e aéreo). Tipo D – Ambulância de Suporte Avançado: veículo destinado ao atendimento e transporte de pacientes de alto risco em emergências pré-hospitalares e/ou de transporte inter-hospitalar que necessitam de cuidados médicos intensivos e deve contar com os equipamentos médicos necessários para esta função. Tipo E – Aeronave de Transporte Médico: aeronave de asa fixa ou rotativa utilizada para transporte inter-hospitalar de pacientes e aeronave de asa rotativa para ações de resgate, dotada de equipamentos médicos homologados pelo Departamento de Aviação Civil - DAC. Tipo F – Embarcação de Transporte Médico: veículo motorizado aquaviário, destinado ao transporte por via marítima ou fluvial. Deve possuir os equipamentos médicos necessários ao atendimento de pacientes conforme sua gravidade. Estas ambulâncias deverão dispor de materiais e equipamentos ou similares em eficácia aqueles definidos na Portaria.

Seguindo a definição acima descrita e seguindo as Normas Gerais de Ação do Grupamento de Socorro de Emergência, publicadas em Boletim da Secretaria do Estado de Defesa Civil e Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro número 175 de 19 de setembro de 2008, o CBMERJ pode classificar os veículos que possui para transporte exclusivo de doentes como ambulâncias Tipo B, Tipo D, Tipo E, Tipo F.

No município de Campos dos Goytacazes, o atendimento pré-hospitalar realizado pelo CBMERJ e pelo Emergência 192, é operacionalizado de forma quase exclusiva, por ambulâncias Tipo B e Tipo D.

Em relação a composição de suas equipes, a estratificação define-se segundo a Portaria GM/2048 por, ambulância do Tipo A (1 profissional, sendo um motorista treinado em direção defensiva e primeiros socorros); ambulância do Tipo B (2 profissionais, sendo um o motorista e um técnico ou auxiliar de enfermagem); ambulância do Tipo C (3 profissionais militares, policiais rodoviários, bombeiros militares, e/ou outros profissionais reconhecidos pelo gestor público, sendo um motorista e os outros dois profissionais com capacitação e certificação em

salvamento e suporte básico de vida); ambulância do Tipo D (3 profissionais, sendo um motorista, um enfermeiro e um médico);

No CBMERJ, a configuração da composição das equipes estratificadas por viaturas difere das recomendações da Portaria vigente. A ambulância Tipo B do CBMERJ é composta por (3 profissionais, sendo um o motorista e dois técnicos ou auxiliares de enfermagem). A ambulância do Tipo D do CBMERJ é composta por (3 profissionais, sendo um motorista, um médico e outro um Técnico ou Auxiliar de enfermagem). Ainda possui uma composição de equipe que não consta nas normas vigentes de estratificação de equipes de ambulâncias do ministério da saúde, que no CBMERJ é chamada de viatura intermediária e sua equipe é composta por (3 profissionais, sendo um motorista, um enfermeiro e outro um Técnico ou Auxiliar de enfermagem).

No Emergência 192, a configuração da composição das equipes estratificadas por viaturas Tipo B e Tipo D segue as recomendações da Portaria vigente. Segundo a Portaria GM/2048 (2002), um dos componentes de um sistema de assistência a emergências é a Regulação Médica das Urgências, baseada em Centrais de Regulação, que é o elemento ordenador e orientador dos Sistemas Estaduais de Urgência e Emergência. As Centrais, estruturadas nos níveis estadual, regional e/ou municipal, organizam a relação entre os vários serviços, qualificando o fluxo dos pacientes no Sistema e geram uma porta de comunicação aberta ao público em geral, através da qual os pedidos de socorro são recebidos, avaliados e hierarquizados.

No CBMERJ, foi criado em 2011, o Centro de Operações GSE/SAMU (COGS), que é responsável pela atividade de Regulação Médica, que compreende desde o atendimento via telefonia dos chamados de emergência até o despacho das viaturas e acompanhamento remoto dos atendimentos até a sua resolução no local ou transporte para um hospital de referência. Este sistema de regulação, por definição deveria contribuir para a diminuição da deficiência existente entre a necessidade de atendimento da população e a capacidade de resposta do CBMERJ as solicitações de atendimento de emergência pré-hospitalar no interior do estado do Rio de Janeiro. Porém, esta unidade de regulação, por específicas limitações técnico-operacionais tem pouca influência no processo de tomada de decisão relacionada ao despacho de viaturas para o atendimento pré-hospitalar realizado no interior do estado, como no município de Campos dos Goytacazes, caracterizando

sua maior atividade e efetividade na cidade do Rio de Janeiro. Esta deficiência aumenta a importância de uma efetiva alocação dos recursos e ambulâncias no interior do estado, com o objetivo de prover uma adequada de serviço à população.

O Emergência 192, possui em sua base operacional, nas dependências do Hospital Geral de Guarus, a central de Regulação Médica, onde é realizado o atendimento via telefonia dos chamados de emergência, o despacho das viaturas e acompanhamento dos atendimentos até a sua resolução no local ou transporte para um hospital de referência.

Segundo a Portaria Ministério da Saúde 2.048 (Brasil, 2009), a distribuição de ambulâncias nos municípios da Federação, devem seguir um critério de alocação pré-estabelecido 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.

No município de Campos dos Goytacazes, com aproximadamente 700.000 habitantes, existem 7 veículos de suporte básico à vida e dois veículos de suporte avançado à vida, ou seja, uma quantidade maior de veículos do que preconizado pelo ministério da saúde.

Porém, este critério mostrou-se insuficiente em relação a promoção de um atendimento pré-hospitalar executado com tempos-resposta satisfatórios (intervalo entre acionamento e chegada da ambulância à cena), principal indicador de qualidade de um sistema de atendimento móvel de emergência. Condições geográficas e de mobilidade, além de distribuição e densidade populacional, passaram a ser consideradas como critérios mais úteis para alocação de ambulâncias (O'Dwyer *et al.*, 2017).

### 3.2 GESTÃO EM EMERGÊNCIA PRÉ-HOSPITALAR

Os serviços médicos de emergência organizam-se geralmente dentro uma área geográfica pré-estabelecida. Como o atendimento de emergência pré-hospitalar envolve a avaliação e tratamento de pacientes no local de um incidente, um dos principais inimigos de qualquer sistema de atendimento de emergência é a disponibilidade de veículos de emergência para pronta resposta a incidentes.

A migração da população para os centros, tornou a questão de otimização no planejamento urbano fundamental para o atendimento adequado a saúde de uma

população (Kaveh *et al.*, 2023). A expansão urbana está significativamente associada ao aumento do tempo de resposta do atendimento à emergência pré-hospitalar e uma maior probabilidade de atraso no deslocamento de ambulâncias para atendimento a acidentes automobilísticos (Trowbridge *et al.*, 2009).

Desta forma, a densidade demográfica e a extensão territorial das localidades são fatores que influenciam no desempenho da resposta das equipes médicas de emergência (Takeda *et al.*, 1990). Portanto, as condições geográficas e de mobilidade, além de distribuição e densidade populacional, são considerados como critérios úteis para alocação de ambulâncias (O'Dwyer *et al.*, 2017).

O tamanho da área geográfica pelo qual este sistema de resposta a emergências responde, é um dos principais fatores que aumentam o tempo de deslocamento das viaturas de atendimento e assim aumentam o tempo resposta, comprometendo a eficácia do atendimento. A abrangência geográfica da área operacional e a densidade populacional, também interferem no deslocamento das ambulâncias para as bases de atendimento que compõem o sistema de atendimento de emergência local (Stein, 2015). Além disso, quanto maior o tempo que uma viatura se encontra ocupada em atendimento, definida como taxa de ocupação, menor a disponibilidade de resposta as solicitações de socorro. Este fato, pode deslocar ambulâncias desocupadas, mas que estão distantes do local da solicitação, aumentando assim o tempo resposta (Lam *et al.*, 2015).

O efeito da densidade populacional sobre a sobrevivência em pacientes pós-eventos cardiovasculares agudos, associam uma pior sobrevida em áreas regionais de maior densidade populacional. Segundo Shaun *et al.* (2013), os resultados da parada cardíaca extra hospitalar não assistida, em áreas residenciais com maior densidade populacional, foram mais pobres do que em áreas não residenciais e o número de pacientes que entraram em colapso em áreas residenciais e sobreviveram foi significativamente menor do que os pacientes que sobreviveram em uma área não residencial e de menor densidade populacional.

Um dos fatores responsáveis por esta pior sobrevida é que o aumento populacional, aumenta o número de chamados, que conseqüentemente aumenta os tempos resposta das equipes de atendimento móvel de emergência (Nehme, 2014). Além disso, a densidade populacional interfere indiretamente, nas condições de tráficos das estradas, que segundo Lam *et al.* (2015), é um importante fator de risco que pode afetar os tempos de resposta de ambulâncias para incidentes de trauma e

Adarang *et al.* (2020) descrevem que a natureza incerta de parâmetros, como o tempo de viagem, interfere de forma importante na efetividade da prestação de serviços de emergência pré-hospitalar.

Assim, com este grande número de variáveis, é possível afirmar que atualmente em todos os países, os recursos públicos para a saúde são inadequados para atender às demandas pelos serviços de atendimento pré-hospitalar. Em contrapartida, os formuladores de políticas precisam fornecer os serviços de saúde mais eficazes aos cidadãos, dentro dos limitados recursos disponíveis. Durante as últimas décadas, muitas pesquisas utilizando técnicas, ferramentas e teorias de pesquisa operacional foram aplicadas a uma ampla gama de problemas na área da saúde. O planejamento de serviços de ambulância é um ramo da saúde. A localização da ambulância e os problemas de redistribuição são considerados duas questões importantes no planejamento do serviço de ambulância (Maleki *et al.*, 2014).

Segundo Babaei e Shahanaghi (2017) o processo de planejar, gerenciar e controlar os recursos são fundamentais para um sistema provedor de atendimento de emergência. Ao usar os recursos disponíveis, os melhores serviços de socorro são entregues aos necessitados. A criação de condições mais adequadas para a tomada de decisões, depende de uma prévia investigação da logística da assistência oferecida.

Portanto, planejar os cuidados em saúde empregados ao atendimento a vítimas em situação de emergência clínica e traumática no ambiente pré-hospitalar é fundamental para um adequado atendimento à população. Para isso faz-se necessário buscar indicadores fidedignos, em que se possa aferir a qualidade do serviço oferecido à população.

Uma definição clássica de qualidade em cuidados de saúde foi proposta por Donabedian (1980). De acordo com sua interpretação, existem três categorias para definição de qualidade em saúde: estrutura, processo e qualidade do resultado. Portanto a aferição da qualidade do resultado de um serviço de emergência, com posterior utilização como elemento norteador é por definição um importante instrumento para melhoria em qualidade de cuidados de saúde prestados a uma população.

Segundo Aboueljinnane, Sahin e Jemai (2013) três níveis de planejamento podem ser realizados com o intuito de melhorar o desempenho de sistemas de

emergência móvel. No nível estratégico as decisões são geralmente feitas para vários anos, como, por exemplo, a construção de novas bases. No nível tático, as decisões são válidas por períodos de um mês a um ano, como por exemplo o número e a alocação de ambulâncias. Por fim, no nível operacional, as decisões são feitas com informações diárias ou em tempo real, como a realocação dinâmica de ambulâncias durante o dia.

Destri Junior (2005) constata que o planejamento estratégico a longo prazo, é comumente deixado em segundo plano, em detrimento aos aspectos operacionais e diários, porém ela é efetiva e deve ser valorizada na tomada de decisões.

Por outro lado, o processo de tomada de decisão tática, onde as decisões são válidas por períodos de um mês a um ano, como a alocação de ambulâncias é importante no contexto do Serviço de Atendimento Pré-hospitalar. As decisões tomadas impactarão diretamente na qualidade do serviço (Bélanger *et al.*, 2020), especialmente em emergências pré-hospitalares, que se caracterizam com uma demanda heterogênea de solicitações (Leknes *et al.*, 2017).

Vale ressaltar que segundo Babaei e Shahanaghi (2017), encontrar a decisão adequada em um atendimento de emergência, está sempre sob influência de considerar as limitações financeiras. A busca de uma adequada tomada de decisões na logística de assistência leva a estabelecer uma condição melhor, com menores custos.

Em relação à avaliação da qualidade do resultado de um sistema de emergência, embora a taxa de sobrevivência do paciente reflita a capacidade de um sistema de emergência móvel de atingir seu objetivo, poucos modelos a consideram, devido à dificuldade de vincular a medida da taxa de sobrevivência à mudanças viáveis no processo de resgate.

Na busca de soluções para esta questão, Sacco *et al.* (2005) propuseram superar esta dificuldade, avaliando a taxa de sobrevivência de pacientes gravemente feridos, através da estimativa da taxa de degradação, que é a probabilidade de declínio da taxa de sobrevivência do paciente, enquanto espera que os cuidados adequados sejam administrados.

### 3.3 SISTEMAS DE TRIAGEM

A triagem de pacientes por gravidade, através de estudos prospectivos, fornece uma ferramenta valiosa na tomada de decisão para o planejamento da distribuição de recursos de emergência. A classificação por gravidade permite que pacientes mais graves sejam atendidos em maior número, o que com certeza aumenta a efetividade de um serviço de emergência, portanto classificar áreas urbanas por níveis de gravidade do paciente atendido, otimiza o uso de um sistema de emergência.

Liu *et al.* (2016) demonstram que a classificação por gravidade em acidentes de trânsito em uma série histórica, quando utilizado como referência para a tomada de decisão, com o objetivo de aumentar a cobertura de eventos de acidentes, pode potencializar esta cobertura, além de também aumentar o número de pacientes atendidos por período (Cho *et al.*, 2014).

O estudo de uma série histórica de parada cardíacas pré-hospitalares em Copenhague de 1994 até 2016, serviu de referência para alocar desfibriladores externos automáticos na cidade, promovendo um aumento de alcance espaço temporal de 15% nas assistências (Sol *et al.*, 2018).

Métodos de otimização de sistemas, baseados em gravidade clínica, podem ser usados para comparar os impactos de diferentes configurações de recursos e seus possíveis efeitos no acesso aos cuidados. Estes métodos para determinar a alocação ideal de recursos podem ser aplicados para avaliar a eficácia dos resultados na assistência ao paciente (Branas; Mackenzie; Revelle, 2000).

Além da estratificação de risco, há evidências que a localização de serviços médicos de emergência em uma região urbana valorizando as suas mudanças sazonais, de acordo com o mês do ano, o dia da semana e em ciclos de 24 horas, respeitando as respectivas mudanças de demanda, tempo de viagem, a velocidade das ambulâncias e área de cobertura pode levar a uma maior relação custo-eficácia e qualidade dos cuidados de emergência (Degel *et al.*, 2015).

Yunus e Abdulkarim (2022) utilizaram dados históricos de GPS de viaturas do Corpo de Bombeiros para analisar a alocação de viaturas de emergência e sua proximidade com os locais com o maior número de acidentes e parada cardiorrespiratória. Ao analisar o provável tempo resposta de unidades móveis de emergência aos locais de maior risco de eventos críticos e traumáticos pôde sugerir

uma realocação destas unidades com o objetivo de aumentar a eficácia do atendimento.

De uma forma geral, pacientes atendidos por serviços de emergência, apresentam uma grande variedade de problemas e intensidade clínica, de alta gravidade clínica até lesões leves (Bittencourt; Hortale, 2009).

Em métodos de triagem os pacientes são classificados de acordo com a gravidade da doença e por conseguinte o seu risco de vida (Ganley *et al.*, 2011). Estes métodos, surgiram para otimizar o atendimento de pacientes, identificando aqueles que precisam de um atendimento imediato, em detrimento aqueles de menor gravidade e com isso aumentar a eficácia da assistência oferecida.

Em todo o mundo, escalas de triagem são utilizadas em serviços de emergência pré-hospitalar devendo ser de fácil compreensão e aplicabilidade (Christ *et al.*, 2010). O Sistema de Triagem de Manchester é um sistema de classificação de prioridade e predição de risco para pacientes atendidos por um sistema de emergência pré-hospitalar amplamente utilizado (Cooke *et al.*, 1999). Tem como objetivo estabelecer uma ferramenta de tomada de decisão por gravidade clínica, aumentando a eficácia do serviço e permitindo a utilização de recursos nos pacientes que mais precisam (Storm-Versloot *et al.*, 2011).

Esse sistema de triagem é utilizado nos prontuários de atendimento tanto das ambulâncias do Emergência 192, quanto das ambulâncias do CBMERJ. O Sistema de Triagem de Manchester possui uma classificação de gravidade que é dividida em cinco cores: vermelho (imediato), laranja (muito urgente), amarelo (urgente), verde (padrão) e azul (não urgente) (Speake *et al.*, 2003). O sistema é um algoritmo baseado em fluxogramas que são específicos para as questões clínicas apresentadas por cada paciente. Os fluxogramas mostram seis discriminadores principais (ameaça à vida, dor, hemorragia, gravidade do início, nível de consciência e temperatura), bem como discriminadores específicos relevantes para o problema apresentado. A seleção de um discriminador indica uma das cinco categorias de urgência, com tempo máximo de espera (“imediato” 0 minutos, “muito urgente” 10 minutos, “urgente” 60 minutos, “padrão” 120 minutos e “não urgente” 240 minutos). Estas categorias são classificadas nas cores descritas acima, respectivamente (Mackway-Jones, 1997).

O sistema de triagem de Manchester tem uma validade geral moderada, com uma sensibilidade por volta de 65% em pacientes de maior gravidade e uma

especificidade foi de 80%, implicando que pacientes tendem a ter uma classificação maior do que a sua gravidade clínica (Speake *et al.*, 2003). Esta característica estatística não atrapalha um estudo que tem o intuito de aproximar recursos disponíveis sempre para áreas de maior risco, potencializando assim os recursos a serem utilizados.

### 3.4 TEMPO RESPOSTA

Segundo Zeng *et al.* (2023), o tempo resposta é o tempo necessário para a ambulância chegar ao local designado para o atendimento e assim dar início ao tratamento. O aumento da taxa de sobrevivência do paciente, é inversamente proporcional ao tempo de espera, assim, o tempo de resposta é um fator crucial na sobrevivência do paciente e por isso, espera-se que a ambulância chegue ao local dos incidentes o mais rapidamente possível.

Eisemberg *et al.* (1990) relatam que a maior sobrevida em vítimas de parada cardíaca ocorre quando as manobras de reanimação são realizadas dentro de 8 minutos. Baseado nestas pesquisas, a Organização Mundial de Saúde estabelece o tempo ótimo de 8 minutos para resposta de chamadas de serviços de emergência (OMS, 2021). Estudos demonstram que, a redução do tempo de resposta da ambulância aumenta a probabilidade de sobrevivência dos pacientes (Sarac, 2014).

Neste sentido, a localização de ambulâncias é uma questão relevante, com o objetivo de prover uma melhora da qualidade dos serviços prestados, através de um adequado tempo resposta de atendimento. Além da diminuição da mortalidade, há também o aspecto financeiro em relação a investigação de uma adequada alocação de ambulâncias, visto que já foi provado que os tempos de resposta podem ser melhorados através da realocação de unidades pré-hospitalares móveis, sem a necessidade de recursos adicionais na construção de novas bases ou aquisição de novas viaturas (Dibene *et al.*, 2017).

Desta forma, para a maioria dos países, a qualidade do processo (tempo de resposta) é usada como objetivo para planejar os sistemas de emergência móvel e medir seu desempenho. A necessidade de estudos de alocação de unidades de atendimento é importante, pois, um serviço de atendimento médico pré-hospitalar funciona em um ambiente com muitas variáveis, como por exemplo as condições dinâmicas do tráfico, características clínicas do atendimento, o que torna o ambiente

incerto em relação aos seus tempos de viagem e assim os tempos de resposta (Yang *et al.*, 2019).

O atendimento de emergência tem como principal ferramenta para a diminuição da morbidade e mortalidade, a precocidade do atendimento, tanto em emergências clínicas como traumáticas, por isso a criação de um sistema de emergência móvel, tem como principal objetivo diminuir o máximo possível este tempo resposta, levando o atendimento ideal o mais breve possível ao encontro das vítimas e oferecer este atendimento para o maior número de pessoas (Jagtenberg *et al.*, 2021).

Yu e Huang (2017) afirmam que o tempo de resposta é um dos principais indicadores de desempenho de um sistema de atendimento médico de emergência móvel, uma vez que a resposta rápida à ambulância proporciona aos pacientes melhores chances de se recuperarem ou sobreviverem. Shetab-Boushehri *et al.* (2022) acrescentam que o tempo de resposta é um dos critérios mais importantes e comuns para avaliação dos sistemas de emergência médica.

#### 4 MODELOS MATEMÁTICOS DE LOCALIZAÇÃO DE AMBULÂNCIAS

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 das ambulâncias em relação as solicitações (Toro-Díaz; Albert, 2019).

Andrade e Cunha (2015) demonstraram na cidade de São Paulo, através de uma realocação de unidade móveis de emergência aumentar em 40% a cobertura esperada. Jánošíková *et al.* (2021) demonstraram que modelos matemáticos propostos para orientar realocações de veículos de emergência diminuem o tempo médio de resposta das chamadas de emergência e assim aumentam o número de chamadas atendidas e podem aumentar em até 5% e o número de chamadas de alta prioridade respondidas. Além do aumento da cobertura do atendimento e o aumento do número de solicitações atendidas, modelos matemáticos de otimização de alocação de unidades de emergência também podem diminuir o tempo resposta, apesar das variáveis como tempos de viagem e volumes de solicitações (Schmid, 2012).

Muitos estudos de alocação baseados em modelagem matemática reduzem tempos resposta por volta de 12% em atendimentos de emergência móvel (Zaheeruddin; Gupta, 2022).

Sund (2013) através de modelos de simulação que promovem a realocação de ambulâncias com o intuito de diminuir o tempo-resposta de atendimento, demonstrou que ao reduzir o tempo de resposta das ambulâncias envolvidas no atendimento a pacientes com parada cardíaca extra hospitalar em 1 minuto, ocorreu um aumento da taxa de sobrevivência dos pacientes atendidos de 4,6%, mostrando o impacto que esta redução do tempo exerce sobre a efetividade dos serviços móveis de assistência.

Existem vários modelos que localizam ambulâncias, com o intuito de proporcionar que a solicitação seja atendida dentro de um tempo de resposta mundialmente aceito como o satisfatório, que é em torno de 8 minutos, segundo Eisemberg *et al.* (1990). Estes modelos dividem-se basicamente em duas propostas para alcançar este objetivo: maximizar a cobertura ou minimizar o tempo de resposta.

O problema de localização de cobertura máxima é um dos modelos de localização de ambulâncias mais utilizados (Azizan *et al.*, 2017). Um exemplo é o Trauma Resource Allocation Model for Ambulances and Hospitals (TRAMAH), que foi formulado para maximizar a cobertura de pacientes gravemente feridos na cidade de Maryland (Estados Unidos da América). Neste modelo, uma lesão grave seria considerada atendida, se pelo menos um centro de trauma fosse localizado dentro de um tempo de resposta padronizado, seja por terra ou por ar. O modelo matemático TRAMAH é uma ferramenta de trabalho criado para que os planejadores de sistemas de trauma localizem melhores seus recursos, com relação às necessidades espaciais e tempos de resposta (Branas; Mackenzie; Reville, 2000).

A maximização do número de pessoas que podem ser alcançadas em um determinado tempo é reconhecida por beneficiar a assistência em áreas densamente povoadas (Jagtenberg *et al.*, 2021). 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 o tempo de resposta dos chamados recebidos podem ser otimizados (Barreto; Alexandrino; Coelho, 2016).

Segundo 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 da consequente melhoria na qualidade do serviço. Resultados sugerem que, para melhorar 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) afirmam que o tempo de resposta pode ser eficientemente aprimorado, através da realocação das instalações atuais, sem o dispêndio de recursos financeiros adicionais, através da utilização de modelos matemáticos de localização.

Shetab-Boushehri (2022) demonstrou que a realocação de ambulâncias por modelagem matemática leva a melhorias significativas no tempo de resposta.

A modelagem matemática tem sido utilizada constantemente para lidar com problemas reais do cotidiano. De acordo com Bassanezi (2002), a modelagem matemática é um processo utilizado para obtenção e validação de problemas matemáticos. Mais do que isso, ela é a arte de transformar situações reais em problemas matemáticos.

A ciência matemática de localização de instalações atraiu muitas pesquisas ao longo de quase quatro décadas. Os investigadores concentraram-se em algoritmos e formulações em diversos contextos no setor privado (fábricas, bancos) e no setor público (ambulâncias, hospitais). Cada formulação tem diferenças e semelhanças em relação às outras, mas as peculiaridades de cada problema fornecem impulso para centenas de investigações (Revelle *et al.*, 2003).

Para tratar problemas que envolvem a localização de ambulâncias, a literatura tem usado modelos de localização de instalações. A localização de instalações envolve determinar a melhor localização 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.

Para os problemas de localização de ambulâncias, os trabalhos pioneiros surgiram por volta da década de 1970. Estes modelos de localização foram classificados em duas categorias principais. Os modelos deterministas, que são utilizados no estágio de planejamento e ignoram considerações estocásticas sobre a disponibilidade de ambulâncias e os modelos probabilísticos, que refletem o fato de que as ambulâncias operam como servidores em um sistema de filas e nem sempre podem atender uma chamada. Em adição, os modelos dinâmicos foram desenvolvidos para realocar repetidamente as ambulâncias ao longo do dia (Brotcorne; Laporte; Semet, 2003).

Entre os modelos probabilísticos, pode-se citar o The Maximal Availability Location Problem (MALP), formulado para resolução do problema de localização máxima de cobertura. Como um modelo probabilístico, a aleatoriedade na disponibilidade de servidores é considerada. No MALP, no entanto, supõe-se que as probabilidades de diferentes servidores serem ocupados sejam independentes. Neste modelo é possível localizar um número limitado de veículos de emergência,

como ambulâncias, de modo a maximizar as chamadas para o serviço que têm uma ambulância disponível dentro de um padrão de tempo ou distância com confiabilidade (Marianov *et al.*, 1996).

Existem vários modelos deterministas com o objetivo de promover uma distribuição ideal de ambulâncias (Van Essen *et al.*, 2013). A maioria destes modelos 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 um determinado tempo de resposta desejado.

Entre os principais modelos propostos está o modelo Location Set Covering Model (LSCM), introduzido por Toregas *et al.* (1971), que tem por objetivo minimizar o número de ambulâncias necessárias para cobrir todos os pontos de demanda; o modelo Maximal Covering Location Problem (MCLP) desenvolvido por Church e Reville (1974), que busca maximizar a cobertura total da demanda de acordo com disponibilidade da ambulância; o modelo Maximal Covering Location Problem (MCLP) modificado, estudado por Daskin e Stern (1981) e que tem por objetivo maximizar a cobertura da demanda e o número de pontos de demanda atendidos. Outro modelo matemático de localização é o Maximum Expected Covering Location Problem (MEXCLP), que foi desenvolvido por Daskin em 1983 e usa critérios de cobertura de área para propor a melhor alocação de ambulâncias. Porém, quando os tempos de resposta são mais importantes do que a cobertura, o (MEXCLP) perde a sua eficiência (Van den Berg *et al.*, 2015).

O Maximum Expected Coverage Location Problem with Two Types of Servers (MEXCLP2), também usa critérios de cobertura para localizar ambulâncias e unidades médicas de atendimento (Mclay *et al.*, 2009). É utilizado em sistemas de emergência que são formados por unidades fixas e móveis de assistência, portanto, sua aplicação prática necessita de maiores recursos financeiros.

Por fim, o objetivo interferir no tempo resposta, para otimizar o atendimento de emergência móvel, através da diminuição do tempo resposta é possível através da alocação de ambulâncias norteadas por modelos matemáticos (Nogueira *et al.*, 2016).

Van den Berg *et al.* (2015) descrevem que estes modelos dependentes do tempo, podem resultar em melhores soluções do que os modelos independentes do tempo.

Segundo Cacetta e Dzator (2005), a minimização do tempo de resposta mede o desempenho das instalações de emergência. O desempenho dessas instalações pode ser melhorado, movendo os locais existentes das instalações de emergência ou aumentando o número de instalações. No entanto, aumentar o número de instalações é geralmente limitado devido a restrições de investimentos financeiros. Por isso, é importante localizar instalações de emergência de forma eficaz e eficiente. Uma maneira de medir a eficiência e a eficácia das instalações de emergência é avaliando a distância média entre os clientes e as instalações. Quando a distância média diminui, a acessibilidade das instalações aumenta e os tempos médios de resposta diminuem. Isso é conhecido como o problema da p-mediana, que foi introduzido por Hakimi (1964).

#### 4.1 MODELO P-MEDIANA

Dentre os modelos matemáticos conhecidos por buscar promover uma melhor alocação de ambulâncias, existem aqueles projetados para minimizar a distância média ponderada ou o tempo. Esse conceito leva a um modelo de localização conhecido como p-mediana.

O modelo p-mediana define a localização das instalações (p) para minimizar a distância média ou total entre demanda de uma população e a instalação mais próxima (Ruslim *et al.*, 2006). O objetivo é localizar a instalação onde o tempo médio de resposta (tempo entre o recebimento de uma chamada e a chegada do veículo de emergência) é minimizado. O modelo de p-mediana é um dos modelos de localização mais populares da literatura. Esse modelo foi aplicado várias vezes para localizar centros nos setores públicos e privados e conceitualmente, ele é muito simples (Lorena, 1994). Segundo Davoudpour, Mortaz e Hosseinijou (2014), o modelo p-mediana, ao minimizar a distância total de deslocamento das ambulâncias da sua base, para a cena de chamada, reduz também o 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 problemas de planejamento (Dzator; Dzator, 2013). O problema de p-mediana consiste em escolher um subconjunto de (p) localizações dentre os nós da rede, de forma a atender as demandas dos clientes ao menor tempo. Dentro do modelo p-mediana, existem os problemas de p-centros que

surtem para a escolha de localização de serviços públicos de emergência, como postos de bombeiros e hospitais. Nesses casos, deseja-se que o tempo máximo de deslocamento entre qualquer ponto de demanda e o ponto de atendimento mais próximo seja inferior a um dado limite. Assim, para dadas (p) localizações de oferta, atribui-se um ponto de demanda, de forma a buscar que a distância máxima total seja mínima. O modelo p-mediana é um modelo básico da teoria da localização, onde a distribuição espacial e a quantidade de demanda por um determinado serviço ou instalação são conhecidas. A tarefa é encontrar locais para um determinado número de instalações que satisfaçam a demanda. Os locais são ideais, se os esforços de viagens ponderados para atender a demanda, a partir das instalações mais próximas forem minimizados.

Um adequado tempo-resposta é fundamental para avaliação da qualidade do serviço prestado por uma instituição de atendimento pré-hospitalar. Assim, um critério importante para encontrar um bom local para instalações de emergência é a melhoria de tempos de resposta a chamadas de emergência. Este tempo depende principalmente da distância entre as instalações de emergência e o local da solicitação. Um objetivo importante é localizar essas instalações de modo que a média da distância percorrida por quem utiliza essas instalações seja minimizada. Isto mede a eficácia e eficiência das instalações de emergência. Assim, a utilidade dessas instalações aumenta à medida que a distância diminui. Em outras palavras, à medida que as distâncias de viagem diminuem, a acessibilidade das instalações aumenta e a eficácia das instalações também aumenta, dando origem a uma diminuição no tempo resposta (Ruslim *et al.*, 2006).

O modelo referido é caracterizado quando a distribuição espacial e a quantidade de demanda por um determinado serviço são conhecidas. A tarefa é encontrar locais para um determinado número de instalações que satisfaçam a demanda (Dzator; Dzator, 2013). Os locais são ideais, se os deslocamentos são minimizados.

Desta forma, o modelo p-mediana mede a eficácia das instalações de emergência, pois à medida que as distâncias de deslocamento diminuem promovem uma diminuição no tempo resposta (Serra *et al.*, 1998) e a qualidade do serviço prestado.

Segundo Jánošíková, Gábrišová e Ježek (2015), o modelo p-mediano simples pode melhorar significativamente a acessibilidade dos cuidados de saúde a pacientes que necessitam de um atendimento de emergência.

Em uma região urbana, sem dúvida há na maioria das cidades, uma diversidade geográfica e populacional, o que leva a importantes diferenças na efetividade do atendimento pré-hospitalar na população assistida. Na maioria dos serviços de emergência móvel, o número de ambulâncias é fixo. E nestas situações em que a distribuição tende a não ser uniforme, a utilização de modelo p-mediana, para promover a alocação e distribuição das unidades de emergência, promove uma distribuição mais efetiva e conseqüentemente um tempo resposta mais curto (Jánošíková; Gábrišová; Ježek, 2015).

Sem dúvida, todos os modelos matemáticos melhoram o desempenho de serviços de emergência ao realocar algumas bases, porém segundo Jánošíková *et al.* (2021), os melhores resultados são alcançados pelo modelo do tipo p-mediana.

## 5 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 descritiva e aplicada. Descritiva, no sentido de compreender os eventos de ocorrência a luz dos dados epidemiológicos. 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 (APH) realizado no município de Campos de Goytacazes - objetiva selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciar o objeto.

### 5.1 COLETA DE DADOS

Preliminarmente as variáveis selecionadas são eventos de emergências clínicas e traumáticas ocorridos durante o ano de 2017, 2018 e 2019 no Município de Campos dos Goytacazes, que foram atendidos pelas unidades de atendimento emergencial pré-hospitalar móveis do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ). As informações foram coletas no Centro de Processamento de Dados do Estado Maior Geral (EMG) do CBMERJ. A coleta de dados da pesquisa foi realizada no primeiro semestre de 2022. Optou-se da não coletar os dados referentes aos anos de 2020 e 2021, visto que, neste período, durante a pandemia da COVID-19 e o conseqüente lockdown que ocorreu durante a maior parte dos meses destes anos, mudou o perfil dos eventos atendidos.

Os dados selecionados foram coletados manualmente dos Registros de Atendimento Pré-Hospitalar (RAPH), que são os prontuários dos pacientes atendidos pelos profissionais de saúde responsáveis pelo atendimento realizado pelas ambulâncias do CBMERJ.

As informações obtidas destes registros de atendimento, descritas no Quadro 1, foram compiladas e tabuladas em planilha eletrônica Excel, para que fossem submetidas posteriormente a análise estatística.

Quadro 1 – Variáveis pesquisadas

Dimensões	Variáveis	Descrição
Epidemiológicas	Data do atendimento	Dia, mês e ano do atendimento.
	Dia do atendimento	Dia da semana do atendimento.
	Estação do ano	Estação do ano em que ocorreu o atendimento.
	Horário do atendimento	Hora em que foi registrada a saída da viatura de emergência para realizar o atendimento.
	Turno do atendimento	Os turnos foram divididos em madrugada (0h às 5h:59), manhã (6h às 11h:59), tarde (12h às 17h:59) e noite (18h às 23h:59).
	Bairro do atendimento	O bairro em que se localiza a rua do atendimento descrita no registro.
	Classificação de gravidade do atendimento	Classificação do atendimento pelo Sistema de Triagem de Manchester, de acordo com a gravidade do paciente, classificado ao fim do atendimento.
Localização	Latitude, Longitude	Coordenadas geográficas
	I	localização da demanda (bairros)
	J	unidades de emergência 24h e quartéis
	$t_{ij}$	tempo de viagem de todos os possíveis locais de base $j \in J$ aos municípios $i \in I$
	$d_i$	Peso que denota a importância de cada local de demanda $i \in I$

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Além disso, foram coletados dados referentes as unidades de atendimento de emergência 24 horas e os quartéis do CBMERJ, que foram identificados com base no site da Secretaria de Saúde do Município de Campos dos Goytacazes e no Anuário do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro.

Posteriormente, essas unidades foram mapeadas pelo API do Google Maps obtendo os seus dados de localização geográfica (latitude e longitude). Também foi coletado dados do tempo de deslocamento entre as bases (unidades de atendimento e quartéis CBMERJ) e os bairros do município de Campos dos Goytacazes.

## 5.2 ANÁLISES

### 5.2.1 Análise descritiva

Foram analisados os dados epidemiológicos em relação às ocorrências, que foram a data, o dia da semana, o horário, o turno (madrugada, manhã, tarde e noite), estação do ano, bairro do atendimento e a classificação da gravidade ao fim do atendimento pelo Sistema de Triagem de Manchester, associado aos dados de localização do evento, como a localização das unidades de emergência 24 horas e quartéis do Corpo de Bombeiros e consequente de tempo de viagem para a realização destes atendimentos.

A frequência de ocorrência dos eventos foi estratificada pelo dia da semana, horários, turnos, estação do ano e a gravidade do atendimento. Foi definido também, partindo de cada unidade de emergência 24 horas existente no Município de Campos dos Goytacazes e dos quartéis do Corpo de Bombeiros, qual seria a distância em quilômetros e o tempo em minutos, para cada bairro em que as ocorrências foram registradas.

### 5.2.2 Análise espacial

Foi utilizado um modelo de estatística espacial (densidade de kernel), por intermédio do mapeamento de eventos de emergência, que avaliou a variação espacial de taxas de incidência, com o intuito de identificar as áreas de maior risco.

Os eventos foram distribuídos espacialmente de acordo com os dados obtidos destacando as áreas de maior ocorrência e as áreas de maior ocorrência ponderadas pela gravidade, segundo o Sistema de Triagem de Manchester.

A análise estatística propôs um sistema de valores ponderados pela gravidade do paciente calculado a partir do Sistema de Triagem de Manchester. Esta proposta de valores ponderados pela gravidade, foi baseado no estimado tempo máximo de espera adequado para o atendimento de um paciente de acordo com suas características clínicas, indicado pelo Sistema de Triagem de Manchester, o que possibilitou uma análise mais fidedigna, a partir do momento que fornece pesos diferentes, para eventos com diferentes gravidades e isto permite não

somente a quantificação dos eventos, mas também a qualificação, tornando mais eficaz a alocação proposta por estes números ponderados.

Esta classificação proposta seguiu a ordenação a seguir, onde foi calculado (vazio: 0 ponto), (azul: 1 ponto), (verde: 2 pontos), (amarelo: 4 pontos) e (laranja/vermelho: 24 pontos).

Estes valores foram obtidos a partir do adequado tempo de espera para cada paciente de acordo com a sua gravidade proposto por Manchester. O Sistema de Triagem de Manchester possui uma classificação de gravidade que é dividida em cinco cores: vermelho (imediato), laranja (muito urgente), amarelo (urgente), verde (padrão) e azul (não urgente). O sistema é um algoritmo baseado em fluxogramas que são específicos para as questões clínicas apresentadas por cada paciente. Os fluxogramas mostram seis discriminadores principais (ameaça à vida, dor, hemorragia, gravidade do início, nível de consciência e temperatura), bem como discriminadores específicos relevantes para o problema apresentado. A seleção de um discriminador indica uma das cinco categorias de urgência, com tempo máximo de espera (“imediato” 0 minutos, “muito urgente” 10 minutos, “urgente” 60 minutos, “padrão” 120 minutos e “não urgente” 240 minutos). Estas categorias são classificadas nas cores descritas acima.

Assim, estratificando minutos em um sistema de pontuação, os pacientes receberam pontos estatisticamente compatíveis com a minutagem adequada de espera, proposta pelo sistema de triagem, de acordo com a sua gravidade. O paciente classificado como vermelho e laranja, foram classificados juntos em termos de tempo para atendimento, ou seja, 10 minutos, pois para que a análise estatística fosse realizada, seria impossível dividir 240 pelo tempo de 0 minutos. Assim, o valor de referência para realizar a comparação, foi o valor mais alto de atendimento, que é de 240 minutos pelo Sistema de Triagem de Manchester e que corresponde a vítima classificada como azul. A partir deste valor, a pontuação foi proposta dividindo 240 pelo tempo recomendável de atendimento segundo Manchester, ou seja, azul (240 dividido por 240 = 1 ponto), verde (240 dividido por 120 = 2 pontos), amarelo (240 dividido por 60 = 4 pontos) e vermelho (240 dividido por 10 = 24 pontos).

### 5.2.3 Modelo matemático

Foi utilizado o modelo matemático p-mediana, com o intuito de propor uma melhor distribuição das ambulâncias de atendimento pré-hospitalar no município de Campos dos Goytacazes com a finalidade de diminuir o tempo resposta para os locais com maior número de ocorrências e de maior ocorrência de eventos com maior gravidade. A equação abaixo mostra o modelo matemático do método utilizado.

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

Restrição

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

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

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

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

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

A localização da demanda (bairros) é dada por  $I$  e as potenciais bases (unidades de emergência 24 horas)  $J$ . O tempo de viagem de todos os possíveis locais de base  $j \in J$  aos municípios  $i \in I$  é atribuída a  $t_{ij}$ . No modelo, a variável binária  $z_{ij}$  é 1 se a base aberta  $j \in J$  é a mais próxima base para exigir a localização  $i \in I$ , 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 seja aberta 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.

Os dados que foram utilizados no modelo são os bairros (clientes) e as 11 unidades de emergência 24 horas e os quartéis do Corpo de Bombeiros localizadas no município de Campos dos Goytacazes (facilidades). A matriz representa as distâncias e o tempo de cada facilidade (unidades de emergência 24 horas e os quartéis do Corpo de Bombeiros) até os seus clientes (bairros). Os pesos estabelecidos foram com base na gravidade do evento. Estas unidades de emergência 24 horas e os quartéis do Corpo de Bombeiros são entendidas como os locais onde se é possível alocar as 9 unidades móveis de atendimento pré-hospitalar existentes na cidade.

Quadro 2 – Os seguintes cenários foram simulados, com as respectivas descrições

<b>Cenário</b>	<b>Descrição</b>
Sem ponderação	Sem ponderação, considera somente os tempos de deslocamento
Ponderado	Ponderado pela escala Manchester
Inverno	Ponderado pela escala Manchester considera estratificado por estação do ano
Primavera	Ponderado pela escala Manchester considera estratificado por estação do ano
Verão	Ponderado pela escala Manchester considera estratificado por estação do ano
Outono	Ponderado pela escala Manchester considera estratificado por estação do ano

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O Quadro 2 descreve os cenários que foram analisados. O cenário chamado de Sem ponderação, analisou o tempo de deslocamento dos veículos de socorro, a partir das unidades de emergência 24 horas e dos quartéis do Corpo de Bombeiros para as localizações das ocorrências, estudadas em relação ao seu número de atendimentos, não ponderados de acordo com a sua gravidade. O cenário chamado de Ponderado, analisou o tempo de deslocamento dos veículos de socorro, a partir das unidades de emergência 24 horas e dos quartéis do Corpo de Bombeiros para as localizações dos atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester, com o intuito de analisar a distribuição também no aspecto qualitativo do atendimento baseado pela gravidade do paciente e não somente pela quantidade, pois estudos demonstram que a redução do tempo de resposta das ambulâncias envolvidas no atendimento a pacientes com parada cardíaca no ambiente extra-hospitalar, promove um aumento da taxa de sobrevivência dos pacientes atendidos. Os cenários chamados pelos nomes das estações do ano, analisaram o tempo de deslocamento dos veículos de socorro, a

partir das unidades de emergência 24 horas e dos quartéis do Corpo de Bombeiros para as localizações dos atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester, nas diferentes estações do ano, para observar se os efeitos migratórios da população que é uma característica do Município de Campos dos Goytacazes, principalmente nos meses de julho, dezembro, janeiro e fevereiro (período de férias escolares). Estes cenários refletem a importância do deslocamento da população como fator de estudo em relação ao número de eventos.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 ANÁLISE DESCRITIVA

A Tabela 1 apresenta a análise de gravidade, dos 9.400 eventos atendidos pelas ambulâncias do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro nos anos de 2017, 2018 e 2019 distribuídos pelos dias da semana, horário e gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester. Estes dados foram obtidos pelo preenchimento do Registro de Atendimento Pré-hospitalar por parte dos profissionais de saúde que realizaram o atendimento.

Ao observar a Tabela 1, o horário ficou dividido por quatro turnos, da seguinte forma, madrugada (0h às 5h:59), manhã (6h às 11h:59), tarde (12h às 17h:59) e noite (18h às 23h:59). A divisão das cores seguiu o Sistema de Triagem de Manchester, que possui uma classificação de gravidade baseada no estimado tempo máximo de espera adequado para o atendimento de um paciente de acordo com suas características clínicas e classificou os eventos atendidos em vermelho/laranja (imediato/0 minutos), amarelo (urgente/60 minutos), verde (padrão/120 minutos) e azul (não urgente/240 minutos).

Tabela 1 – Número de ocorrências de eventos de emergência. A tonalidade das cores varia de um tom claro (menor incidência) para tons mais escuros (maior incidência), em um gradiente linear

Turno	Dias da Semana							Total
	1- Domingo	2- Segunda	3- Terça	4- Quarta	5- Quinta	6- Sexta	7- Sábado	
<b>Vazio</b>								
1- Madrugada	59	47	18	24	19	25	53	<b>245</b>
2- Manhã	88	178	85	75	113	117	80	<b>736</b>
3- Tarde	121	209	121	87	138	141	92	<b>909</b>
4- Noite	139	112	65	70	66	104	90	<b>646</b>
<b>Subtotal</b>	<b>407</b>	<b>546</b>	<b>289</b>	<b>256</b>	<b>336</b>	<b>387</b>	<b>315</b>	<b>2536</b>
<b>Azul</b>								
1- Madrugada	6	9		4	4	12	3	<b>38</b>
2- Manhã	21	14	26	22	54	19	15	<b>171</b>
3- Tarde	17	12	11	25	58	11	19	<b>153</b>
4- Noite	20	6	7	20	49	5	8	<b>115</b>
<b>Subtotal</b>	<b>64</b>	<b>41</b>	<b>44</b>	<b>71</b>	<b>165</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>477</b>
<b>Verde</b>								
1- Madrugada	61	21	9	25	28	23	37	<b>204</b>
2- Manhã	96	126	239	169	126	145	127	<b>1028</b>
3- Tarde	94	152	335	177	183	155	174	<b>1270</b>
4- Noite	133	80	196	116	97	97	144	<b>863</b>
<b>Subtotal</b>	<b>384</b>	<b>379</b>	<b>779</b>	<b>487</b>	<b>434</b>	<b>420</b>	<b>482</b>	<b>3365</b>
<b>Amarelo</b>								
1- Madrugada	60	13	10	11	15	19	49	<b>177</b>
2- Manhã	56	129	89	78	122	107	100	<b>681</b>
3- Tarde	91	171	105	118	177	157	116	<b>935</b>
4- Noite	102	90	73	60	111	132	136	<b>704</b>
<b>Subtotal</b>	<b>309</b>	<b>403</b>	<b>277</b>	<b>267</b>	<b>425</b>	<b>415</b>	<b>401</b>	<b>2497</b>
<b>Vermelho</b>								
1- Madrugada	20	14	5	6	1	7	14	<b>67</b>
2- Manhã	11	17	25	24	17	21	16	<b>131</b>
3- Tarde	22	15	24	17	25	33	19	<b>155</b>
4- Noite	21	12	26	13	30	28	42	<b>172</b>
<b>Subtotal</b>	<b>74</b>	<b>58</b>	<b>80</b>	<b>60</b>	<b>73</b>	<b>89</b>	<b>91</b>	<b>525</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Tabela 1 oferece informações em relação ao número de pacientes atendidos por dia da semana, por turno e por gravidade. Em relação ao dia da semana, em um total de 2536 atendimentos analisados; 21,5% destes atendimentos foram realizados na segunda-feira; 11,4% na terça-feira; 10% na quarta-feira; 13,25% na quinta-feira; 15,25% na sexta-feira; 12,4% no sábado e 16% no domingo. Estes números mostram uma tendência de um maior número de eventos durante o

fim de semana e na segunda-feira, onde as pessoas saem de suas casas para resolver as suas questões.

Em relação a gravidade dos atendimentos realizados neste período, 6,4% foram classificados como azul (não urgente), com uma necessidade de atendimento em até 240 minutos. A quinta-feira foi o dia com o maior número de atendimentos de pacientes classificados com a cor azul (34,5%) e junto com a quarta-feira respondem por 49,3% de todos os pacientes azuis atendidos, o que reflete uma menor gravidade de pacientes atendidos nos dias do meio da semana. Em relação aos pacientes classificados como verdes (padrão), com uma necessidade de atendimento em até 120 minutos, que correspondem a 49% do total de pacientes classificados, sendo a maior porcentagem de pacientes atendidos nesta linha histórica. Na análise, 50,5% dos pacientes desta categoria são atendidos na terça, quarta e quinta-feira. Porém em relação aos pacientes classificados como amarelo (urgente), com necessidade de atendimento em até 60 minutos, que correspondem a 36% do total de pacientes atendidos, os dias do fim de semana são os dias com o maior número de eventos, respondendo por 60% do total de pacientes amarelos atendidos. Por fim, pacientes classificados com a cor vermelha e laranja (imediate), que necessitam de atendimento imediato e por isso balizam a eficácia da assistência de um sistema de emergência, responderam por 7,5% do total de pacientes atendidos e concentram na sexta-feira, sábado e domingo (50% do total de pacientes atendidos com esta classificação), o que demonstra a influência da densidade de pessoas e da intensidade do trânsito, que aumenta nos fins de semana, como determinantes na gravidade de eventos de emergência.

Em relação aos turnos de atendimento, pacientes classificados como azuis e verdes, ou seja, de menor gravidade, concentram os seus atendimentos nos turnos da manhã e tarde, correspondendo por 69% dos pacientes atendidos. Porém em relação aos pacientes amarelos e vermelhos, que são pacientes de maior gravidade e assim com necessidade de maior brevidade de atendimento, a maior porcentagem aparece em atendimentos nos turnos à noite e de madrugada (70%).

Os pacientes classificados como vermelho (imediate) pelo Sistema de Triagem de Manchester, são aqueles que necessitam de atendimento imediato. 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. A Organização Mundial de Saúde estabelece o tempo de 8 minutos para

resposta de chamadas de serviços de emergência (OMS, 2021). Desta forma, para a maioria dos países, a qualidade do processo (tempo de resposta) é usada como objetivo para planejar os sistemas de emergência móvel e medir seu desempenho. Desta forma, os pacientes classificados como vermelho, são os pacientes que devem nortear a tomada de decisões com o objetivo de aumentar a eficácia de sistemas móveis de emergência.

A Tabela 2 apresenta os dados relacionados a frequência absoluta (número de ocorrências) vezes a gravidade do atendimento (pontos). Portanto, é proposto um sistema de valores ponderados calculado pela multiplicação do número de ocorrências pela gravidade do paciente calculado pelo Sistema de Triagem de Manchester. Esta classificação seguiu a ordenação a seguir, onde foi calculado (vazio: 0 ponto), (azul: 1 ponto), (verde: 2 pontos), (amarelo: 4 pontos) e (laranja/vermelho: 24 pontos). Esta proposta de valores ponderados pela gravidade, baseado no estimado tempo máximo de espera adequado para o atendimento de um paciente de acordo com suas características clínicas, indicado pelo Sistema de Triagem de Manchester, possibilitou uma análise mais fidedigna, a partir do momento que fornece pesos diferentes, para eventos com diferentes gravidades e isto permite não somente a quantificação dos eventos, mas também a qualificação, tornando mais eficaz a alocação proposta por estes números ponderados.

Tabela 2 – Número de ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Gravidade de Manchester. A tonalidade das cores varia de um tom claro (menor incidência) para tons mais escuros (maior incidência), em um gradiente linear

Horas	Dias da Semana							Total Geral
	1- Domingo	2- Segunda	3- Terça	4- Quarta	5- Quinta	6- Sexta	7- Sábado	
0	269	92	44	28	51	84	161	729
1	179	145	20	114	37	92	88	675
2	122	58	50	63	8	41	94	436
3	76	76	2	14	15	13	66	262
4	100	0	4	16	9	34	86	249
5	102	68	58	7	24	38	114	411
6	108	54	126	62	55	61	96	562
7	84	106	180	186	152	143	142	993
8	148	172	271	313	204	194	133	1435
9	93	322	280	166	245	338	237	1681
10	137	253	255	262	287	257	255	1706
11	131	283	348	259	259	248	190	1718
12	125	295	368	186	414	299	209	1896
13	185	234	321	191	256	212	214	1613
14	105	185	247	186	266	363	211	1563
15	201	275	313	292	238	301	173	1793
16	259	152	228	161	165	328	236	1529
17	222	219	200	243	393	238	244	1759
18	260	252	302	289	266	309	331	2009
19	247	178	283	168	278	249	294	1697
20	220	141	340	122	282	277	262	1644
21	264	108	150	95	181	206	466	1470
22	121	100	146	116	321	208	243	1255
23	86	35	94	14	79	150	252	710
<b>Total Geral</b>	<b>3844</b>	<b>3803</b>	<b>4630</b>	<b>3553</b>	<b>4485</b>	<b>4683</b>	<b>4797</b>	<b>29795</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Podemos observar, na Tabela 2, que ao aproximarmos do fim de semana, os eventos em valores ponderados pela gravidade tornam-se mais frequentes, sendo o sábado o dia com maior número de eventos de maior gravidade (16%). Em relação ao turno, o pico de eventos acontece às 21h, que é o horário que aumenta a densidade do tráfego no sábado à noite. O turno da noite do sábado responde por 38,5% de todos os atendimentos e é o turno com maior número de eventos de maior gravidade ao longo de toda a semana. Durante os dias úteis, os turnos com maior número de eventos de maior gravidade acontecem nos horários do deslocamento para o trabalho, pela manhã e à tarde, sendo estes dois turnos responsáveis por

77% dos eventos, em contraposição ao fim de semana, que os turnos da manhã e à tarde, respondem somente por 22% dos eventos.

A Tabela 3 demonstra que a segunda-feira, é responsável por 12,7% dos atendimentos de maior gravidade, que os eventos acontecem com maior frequência durante o dia (3,3%) em relação à noite (2,7%) e estão mais no centro da cidade, principalmente pela manhã, onde ocorrem 20% dos eventos. A noite o centro da cidade ainda prevalece com um maior número de eventos, porém com uma porcentagem menor (3%). Terça-feira, que é responsável por 12% dos atendimentos de maior gravidade, os eventos acontecem com maior frequência durante o dia (2,7%) em relação à noite (0,9%) e assim como na segunda-feira, ocorrem mais no centro da cidade, principalmente pela manhã, onde ocorrem 22% dos eventos. A noite o centro da cidade ainda prevalece com um maior número de eventos, porém com uma porcentagem menor (5,7%). Quarta-feira, que é responsável por 15,5% dos atendimentos de maior gravidade, os eventos acontecem com maior frequência durante o dia (2,2%) em relação à noite (0,5%) e assim como na segunda-feira e na terça-feira, ocorrem mais no centro da cidade, principalmente pela manhã, onde ocorrem 18,8% dos eventos. A noite o centro da cidade ainda prevalece com um maior número de eventos, porém com uma porcentagem menor (4,7%). A quinta-feira, que é responsável por 15% dos atendimentos de maior gravidade, os eventos acontecem com maior frequência durante o dia (2,6%) em relação à noite (1,3%), porém já é possível perceber uma diminuição da diferença da porcentagem do número de eventos que ocorrem durante o dia e à noite. Esta tendência se mantém, à medida que e que vai se aproximando o fim de semana. Assim como na segunda, terça e na quarta, os eventos ocorrem mais no centro da cidade, sendo responsável por 27% dos atendimentos que são realizados, em relação a todas as outras localizações.

Tabela 3 – Número de ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Gravidade de Manchester – Turnos vs Dias da semana. A tonalidade das cores varia de um tom claro (menor incidência) para tons mais escuros (maior incidência), em um gradiente linear

Turno	Dias da Semana							Total Geral
	1- Domingo	2- Segunda	3- Terça	4- Quarta	5- Quinta	6- Sexta	7- Sábado	
1- Madrugada	848	439	178	242	144	302	609	2762
2- Manhã	701	1190	1460	1248	1202	1241	1053	8095
3- Tarde	1097	1360	1677	1259	1732	1741	1287	10153
4- Noite	1198	814	1315	804	1407	1399	1848	8785
<b>Total Geral</b>	<b>3844</b>	<b>3803</b>	<b>4630</b>	<b>3553</b>	<b>4485</b>	<b>4683</b>	<b>4797</b>	<b>29795</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A sexta-feira, que é responsável por 15,7% dos atendimentos de maior gravidade, os eventos acontecem com maior frequência durante o dia (2,5%) em relação à noite (1,35%), porém permanecendo a tendência de uma diminuição da diferença da porcentagem do número de eventos que ocorrem durante o dia e à noite. Assim, como todos os dias úteis analisados, os eventos ocorrem mais no centro da cidade, sendo responsável por 25% dos atendimentos que são realizados, em relação a todas as outras localizações.

O sábado é responsável por 16,1% dos atendimentos de maior gravidade, sendo o dia com maior número de eventos de maior gravidade. Este número seria ainda maior, se a madrugada de sábado para domingo fosse contabilizada no sábado, porém seguindo o método aplicado, a madrugada é contabilizada no seguinte, ou seja, no domingo. Os eventos acontecem com maior frequência durante o dia (2%) em relação à noite (0,8%), porém experimentando a menor diferença da porcentagem do número de eventos que ocorrem durante o dia e à noite. Assim como todos os dias úteis analisados, os eventos ocorrem mais no centro da cidade, sendo responsável por 17% dos atendimentos que são realizados, em relação a todas as outras localizações.

O domingo é responsável por 13% dos atendimentos de maior gravidade. Os eventos acontecem com maior frequência durante o dia (1,1%) em relação à noite (0,5%), experimentando como demonstrado a partir de sexta-feira, uma pouca diferença na porcentagem do número de eventos que ocorrem durante o dia e à noite. Diferente do que acontece em todos os outros dias da semana, durante o dia, os eventos acontecem mais no centro da cidade, sendo responsável por 8,7% dos atendimentos que são realizados. Porém, durante a noite, o local com o maior número de eventos de maior gravidade é o bairro de Guarus, sendo responsável por

4% dos eventos de maior gravidade, deixando o centro da cidade com o segundo lugar com 3% dos eventos. É provável que a maior incidência de eventos no bairro de Guarus durante a noite de domingo, possa significar uma maior saída para as praias naquela região, além de um número maior de eventos sociais que caracteristicamente ocorrem neste bairro com maior frequência no domingo.

### 6.1.1 Análise por estação

A Tabela 4 apresenta a análise dos pacientes classificados pela gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester adaptada, atendidos pelas ambulâncias do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro nos anos de 2017, 2018 e 2019 distribuídos pelos dias da semana e horário durante as estações do ano. Estes dados foram obtidos pelo preenchimento do Registro de Atendimento Pré-hospitalar por parte dos profissionais de saúde que realizaram o atendimento.

Tabela 4 – Número de ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Gravidade de Manchester - Estações do Ano. A tonalidade das cores varia de um tom claro (menor incidência) para tons mais escuros (maior incidência), em um gradiente linear

Estação/Turno	Dias da Semana							Total Geral
	1- Domingo	2- Segunda	3- Terça	4- Quarta	5- Quinta	6- Sexta	7- Sábado	
<b>Inverno</b>	<b>1171</b>	<b>1148</b>	<b>1274</b>	<b>822</b>	<b>980</b>	<b>1117</b>	<b>1458</b>	<b>7970</b>
1- Madrugada	191	252	20	63	44	59	147	776
2- Manhã	206	317	342	271	295	294	351	2076
3- Tarde	376	401	523	328	402	460	460	2950
4- Noite	398	178	389	160	239	304	500	2168
<b>Outono</b>	<b>943</b>	<b>866</b>	<b>1297</b>	<b>995</b>	<b>1206</b>	<b>1136</b>	<b>1235</b>	<b>7678</b>
1- Madrugada	252	114	74	88	17	46	168	759
2- Manhã	167	270	494	359	366	286	269	2211
3- Tarde	236	314	415	288	418	316	225	2212
4- Noite	288	168	314	260	405	488	573	2496
<b>Primavera</b>	<b>878</b>	<b>952</b>	<b>921</b>	<b>957</b>	<b>1114</b>	<b>1161</b>	<b>1027</b>	<b>7010</b>
1- Madrugada	191	33	66	21	62	107	140	620
2- Manhã	169	349	276	332	269	314	194	1903
3- Tarde	332	305	317	385	452	425	280	2496
4- Noite	186	265	262	219	331	315	413	1991
<b>Verão</b>	<b>852</b>	<b>837</b>	<b>1138</b>	<b>779</b>	<b>1185</b>	<b>1269</b>	<b>1077</b>	<b>7137</b>
1- Madrugada	214	40	18	70	21	90	154	607
2- Manhã	159	254	348	286	272	347	239	1905
3- Tarde	153	340	422	258	460	540	322	2495
4- Noite	326	203	350	165	432	292	362	2130
<b>Total Geral</b>	<b>3844</b>	<b>3803</b>	<b>4630</b>	<b>3553</b>	<b>4485</b>	<b>4683</b>	<b>4797</b>	<b>29795</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Podemos observar na Tabela 4 que houve pouca influência da sazonalidade na variação do número de eventos ao longo do período avaliado. Porém, durante o inverno, é possível observar que no sábado e no domingo, os eventos em valores ponderados pela gravidade tornam-se mais frequentes, sendo o sábado o dia com maior número de eventos de maior gravidade (18%) e no domingo 14,7%. Este maior número de eventos nestes dias durante o inverno é provável que ocorra devido a menor mobilidade urbana para fora dos limites do município.

De outra forma, durante os meses que compõe a estação do verão, na sexta-feira é possível observar, que os eventos em valores ponderados pela gravidade tornam-se mais frequentes (17,7%). Este maior número de eventos durante as sextas no verão, provavelmente é ocasionado pelo deslocamento da população para a região litorânea da região e em outros municípios, devido a coincidir com o período das férias escolares.

### **6.1.2 Análise mensal**

A Figura 1, o gráfico A, construído a partir de dados do número de eventos de emergência, demonstra que a segunda-feira (dia escolhido para caracterizar um comportamento afim de dias úteis, por representar o dia útil com o maior número de eventos), o turno do dia é o período em que acontece o número maior de eventos ao longo do ano. Ao contrário, a segunda-feira à noite é o turno onde acontece o menor número de eventos durante o ano. Este maior número de eventos durante o dia de segunda-feira, provavelmente aconteça devido ser o dia de maior deslocamento urbano durante o horário comercial.

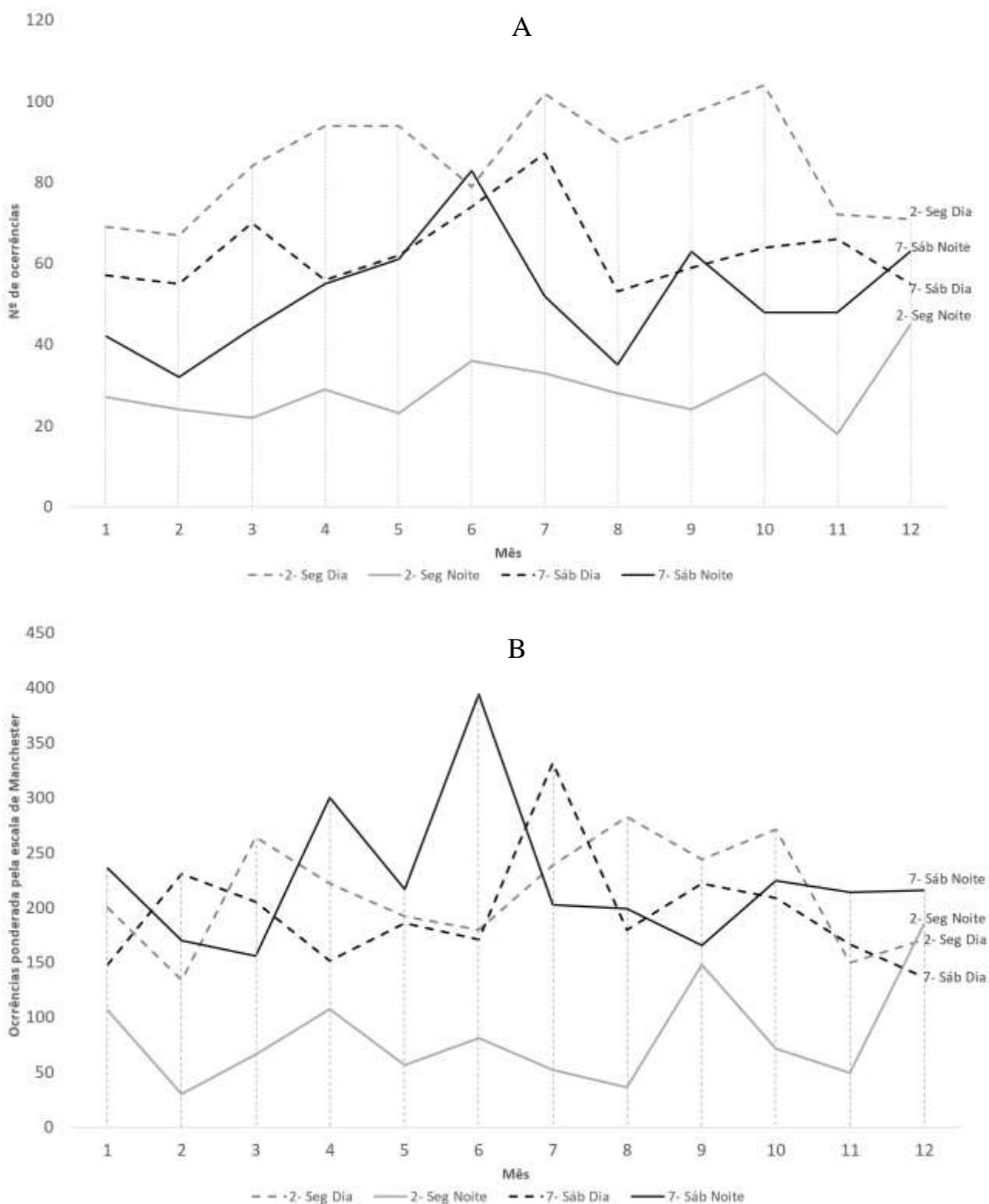
O sábado (dia escolhido para representar o comportamento dos finais de semana, por ser o dia do fim de semana com o maior número de eventos), no turno do dia também acontecem um número maior de eventos em relação ao turno da noite em quase todo o ano, sendo ultrapassado pelo sábado à noite, nos meses de junho, setembro e dezembro, que são meses que apresentam períodos de férias escolares e feriados nacionais.

O gráfico B, construído a partir de dados do número de eventos de emergência ponderados pela gravidade adaptado pelo Sistema de Triage de Manchester, demonstra que o sábado à noite, ao longo de todo o ano é o turno em que acontecem os eventos de maior gravidade. Além disso, nos meses de abril,

junho, dezembro e janeiro, que são os meses de férias escolares e feriados nacionais, o número de eventos no sábado à noite se tornaram ainda mais proeminentes. Culturalmente, o sábado à noite, caracteriza o principal momento de lazer noturno dos fins de semana.

O sábado dia apresenta um pico no número de ocorrência ponderadas pela gravidade no mês de julho. Este valor também coincide com uma maior mobilidade urbana, deslocamento em estradas e atividades recreativas que acontecem nas férias do meio do ano.

Figura 1 – Gráfico A: Número de ocorrências de eventos de emergência acontecidos por mês e dias da semana. Gráfico B: Número de ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Gravidade de Manchester por mês e dias da semana.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

## 6.2 ANÁLISE ESPACIAL DOS EVENTOS

A Figura 2 representa um Cartograma que demonstra as localizações de todas as ocorrências por bairro, analisadas em relação ao seu número de atendimentos, não ponderados pela gravidade, de acordo com dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, retirados dos Registros de Atendimento Pré-hospitalar de atendimentos prestados ao longo dos anos de 2017, 2018 e 2019.

Figura 2 – Cartograma com a localizações das ocorrências de eventos de emergência ao nível de bairro



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Como demonstra a Figura 2, é possível observar que o maior número de eventos ocorrem nos bairros centrais do município, dentre estes, 5 deles, Centro, Guarus, Parque Turf Club, Parque Jockey Club e Penha respondem por 39% de todos os eventos ocorridos durante o período estudado, em detrimento a todos os 165 bairros enumerados. Esta localização de eventos, está em concordância com a maior densidade populacional nestas regiões, que é uma variável que interfere no

número de eventos de emergência (Buzna; Cimmermann, 2021) e também pelo maior tráfego da região, o que aumenta o número de eventos de trauma.

A Figura 3 representa um Cartograma que demonstra as localizações de todas as ocorrências por bairro, analisadas em relação ao seu número de atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester, de acordo com dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, retirados dos Registros de Atendimento Pré-hospitalar de atendimentos prestados ao longo dos anos de 2017, 2018 e 2019.

Figura 3 – Densidade de kernel com as localizações das ocorrências de eventos de emergência adaptado ponderadas pelo Sistema de Triagem de Manchester



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

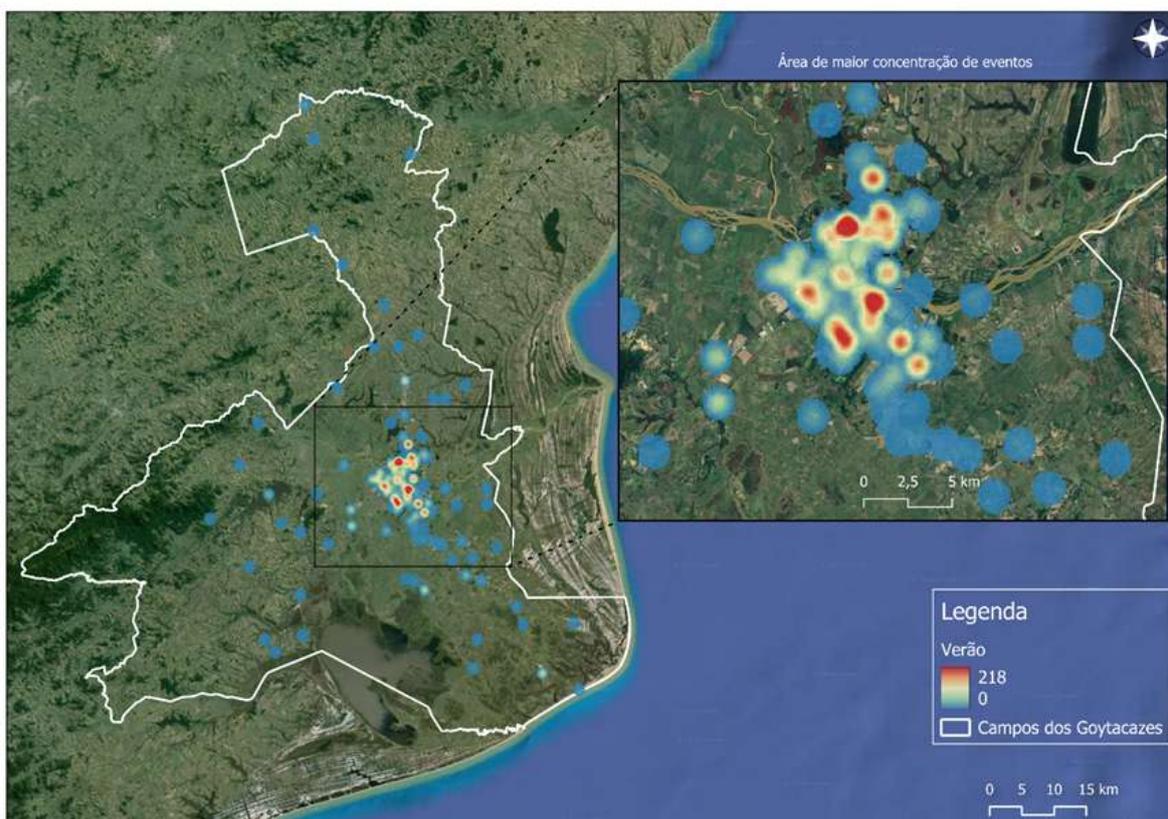
De acordo com o Cartograma, os locais com ocorrências de maior gravidade, visualizadas pelas cores vermelho e amarelo, seguindo as cores do Sistema de Triagem de Manchester e evidenciado pela estimativa de Densidade de Kernel, que é uma ferramenta utilizada para estimar a densidade de eventos em uma área de forma não-paramétrica, a região central do município de Campos dos Goytacazes é o local com o maior número de eventos com maior gravidade. O bairro Centro, corresponde sozinho a 22,5% de todos os eventos de gravidade vermelha

classificados no estudo. Esta avaliação por gravidade é um instrumento que oferece confiabilidade a gestão a um serviço de emergência pré-hospitalar, pois oferece um indicador fidedigno para alocar veículos de emergência com o suporte adequado para tratar acidentes com diferentes níveis de gravidade dentro do padrão de cobertura da área (Liu *et al.*, 2016).

Na análise por estação do ano a área de visualização do mapa foi aproximada para exibir o 1º Distrito de Campos dos Goytacazes, pois essa concentra o maior número de ocorrências. No Apêndice A consta a visualização de todo município.

A Figura 4 representa um Cartograma que demonstra as localizações de todas as ocorrências por bairro, que ocorrerão durante os meses que compõe a estação do verão, analisadas em relação ao seu número de atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester, de acordo com dados fornecidos pelo CBMERJ, retirados dos Registros de Atendimento Pré-hospitalar de atendimentos prestados ao longo dos anos de 2017, 2018 e 2019.

Figura 4 – Densidade de kernel ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Triagem de Manchester por estação – verão.

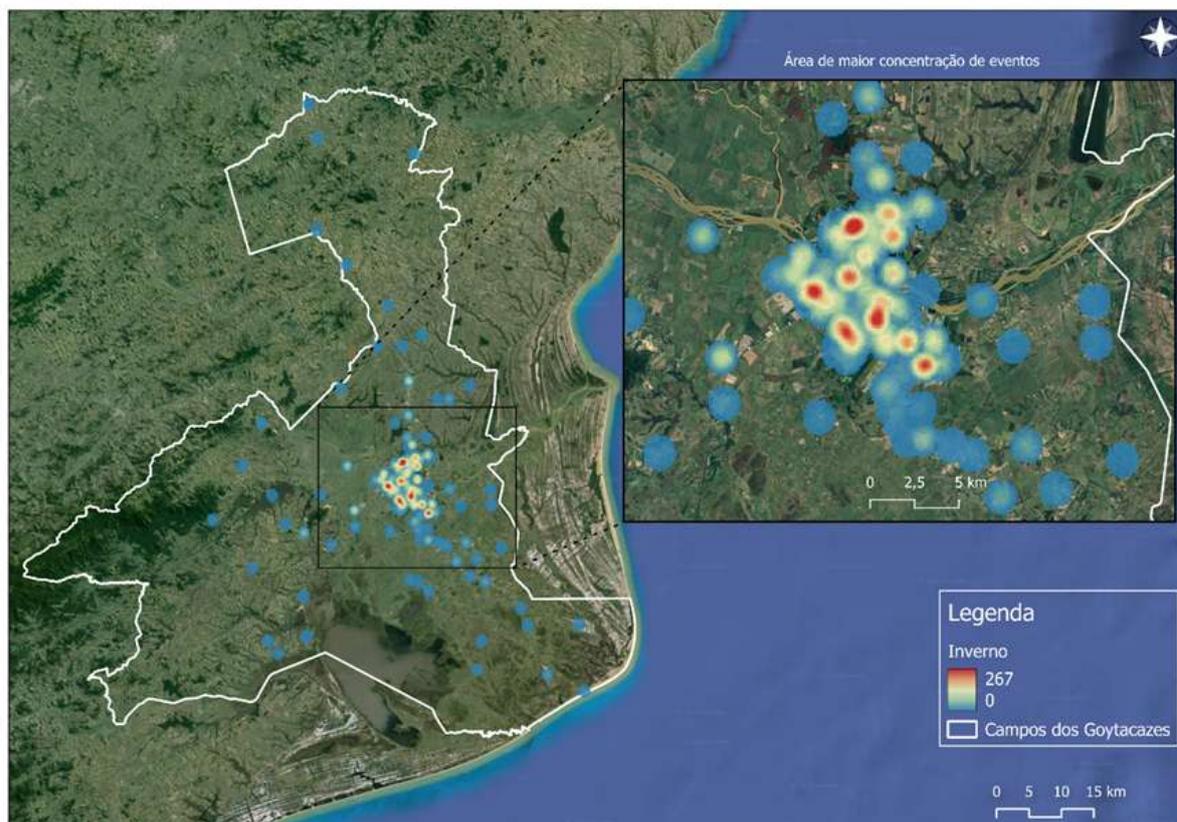


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com o Cartograma, os locais com ocorrências de maior gravidade, visualizadas pelas cores vermelho e amarelo, seguindo as cores do Sistema de Triagem de Manchester e evidenciado pela estimativa de Densidade de Kernel, a região central do município de Campos dos Goytacazes é o local com o maior número de eventos com maior gravidade. O bairro Centro, corresponde sozinho a 22,8% de todos os eventos de gravidade vermelha classificados no estudo, porém é possível observar uma maior distribuição entre os bairros restantes daqueles próximos as saídas da cidade.

A Figura 5 representa um Cartograma que demonstra as localizações de todas as ocorrências por bairro, que ocorrerão durante os meses que compõe a estação do inverno, analisadas em relação ao seu número de atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester, de acordo com dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5 – Densidade de kernel ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Triagem de Manchester por estação-inverno

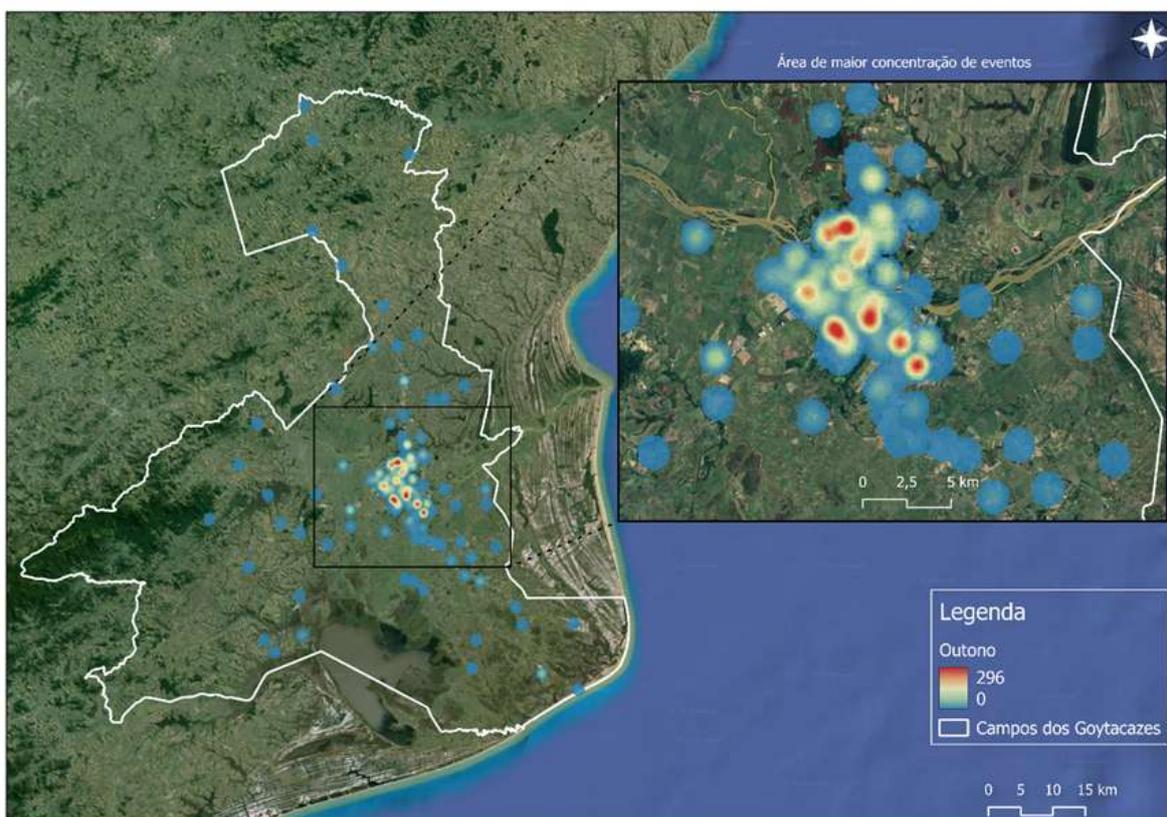


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com o Cartograma, os locais com ocorrências de maior gravidade, visualizadas pelas cores vermelho e amarelo, seguindo as cores do Sistema de Triagem de Manchester e evidenciado pela estimativa de Densidade de Kernel, a região central do município de Campos dos Goytacazes é o local com o maior número de eventos com maior gravidade. O bairro Centro, corresponde sozinho a 20% de todos os eventos de gravidade vermelha classificados no estudo, sendo o bairro com o maior número de eventos neste período e em todos os outros períodos estudados.

A Figura 6 representa um Cartograma que demonstra as localizações de todas as ocorrências por bairro, que ocorreram durante os meses que compõe a estação do outono, analisadas em relação ao seu número de atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester, de acordo com dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro.

Figura 6 – Densidade de kernel ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Triagem de Manchester por estação – outono

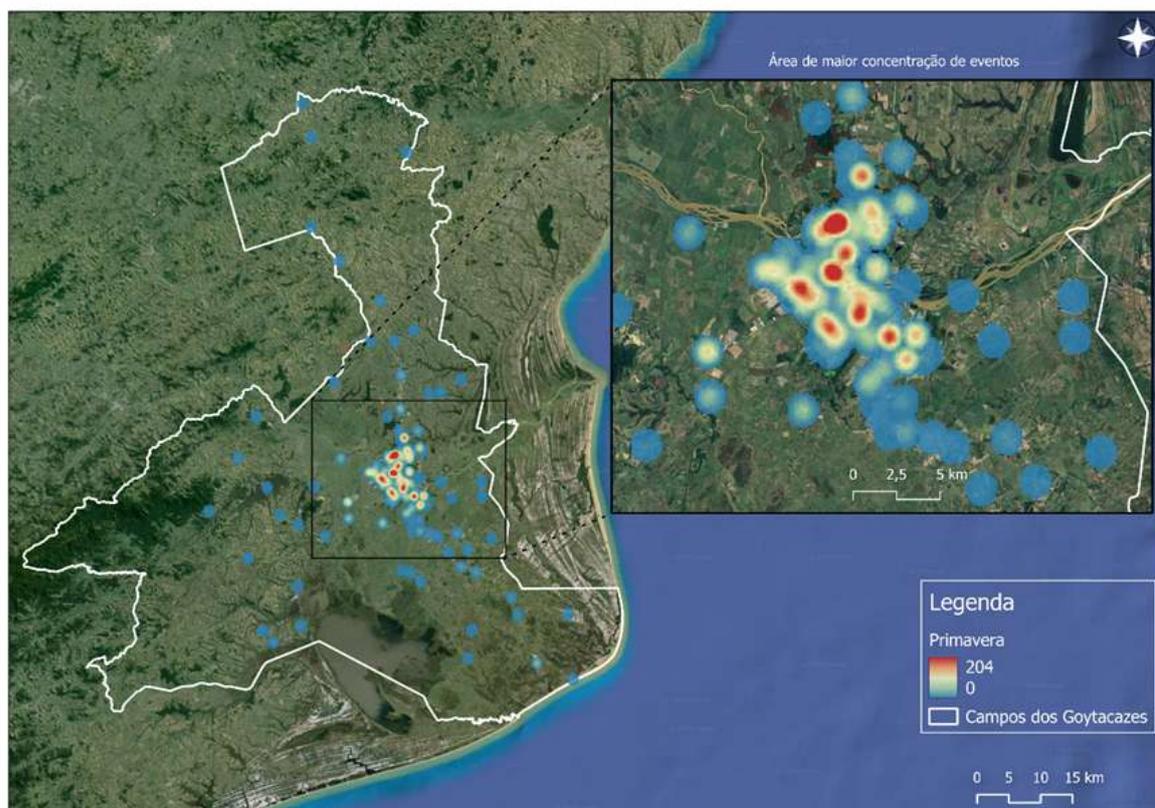


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com o Cartograma, os locais com ocorrências de maior gravidade, visualizadas pelas cores vermelho e amarelo, seguindo as cores do Sistema de Triagem de Manchester e evidenciado pela estimativa de Densidade de Kernel, a região central do município de Campos dos Goytacazes, também é o local com o maior número de eventos com maior gravidade. O bairro Centro, corresponde sozinho a 22% de todos os eventos de gravidade vermelha classificados no estudo, sendo o bairro com o maior número de eventos neste período.

A Figura 7 representa um Cartograma que demonstra as localizações de todas as ocorrências por bairro, que ocorreram durante os meses que compõe a estação da primavera, analisadas em relação ao seu número de atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester, de acordo com dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro.

Figura 7 – Densidade de kernel ocorrências de eventos de emergência ponderadas adaptado pelo Sistema de Triagem de Manchester por estação – primavera



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com o Cartograma, os locais com ocorrências de maior gravidade, visualizadas pelas cores vermelho e amarelo, seguindo as cores do Sistema de Triagem de Manchester e evidenciado pela estimativa de Densidade de Kernel, a região central do município de Campos dos Goytacazes é o local com o maior número de eventos com maior gravidade. O bairro Centro, corresponde sozinho a 24% de todos os eventos de gravidade vermelha classificados no estudo, sendo o bairro com o maior número de eventos, que assim como observado, independente da estação do ano.

### 6.3 MODELO MATEMÁTICO

A Tabela 5 demonstra resultados que descrevem as bases elegíveis para a alocação de veículos de emergência, divididos no cenário atual, no cenário não-ponderado pela gravidade, no cenário ponderado pela gravidade e nos cenários ponderados pela gravidade baseados nas estações do ano. Em seguida, representa a variação de valores numéricos obtidos por meio de quartis, que são valores que dividem uma amostra em quatro partes iguais. Descreve o tempo máximo em segundos de deslocamento partindo das bases estudadas por cenário para atender a 25%, 50%, 75% e o total de ocorrências.

Tabela 5 – Bases elegíveis em cada cenário pelo modelo P-mediana e métricas de comparação

Cenários	Bases*	Estatística descritiva (unidade segundos)**							
		count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Atual	5 GBM DBM 1/5 GUARUS HOSP. G. GUARUS	165	1108,81	957,54	122	447	722	1447	4075
Não ponderado	DBM 1/5 GUARUS HOSP. FERREIRA M HOSP. SÃO JOSÉ HOSP. TRAVESSÃO SANDU UBS SATURNINO BRAGA UBS TOCOS UPA UPH ST EDUARDO	165	673,96	648,41	0	315	450	712	3687
Ponderado	5 GBM DBM 1/5 GUARUS HOSP. FERREIRA M HOSP. SÃO JOSÉ HOSP. TRAVESSÃO PS GUARUS SANDU UBS SATURNINO BRAGA UPA	165	781,29	821,58	43	307	453	880	4120
Inverno	5 GBM DBM 1/5 GUARUS HOSP. FERREIRA M HOSP. SÃO JOSÉ HOSP. TRAVESSÃO PS GUARUS SANDU UBS SARTUNINO BRAGA UPA	165	898,56	945,72	43	311	516	1017	4606
Outono	5 GBM DBM 1/5 GUARUS HOSP. FERREIRA M HOSP. SÃO JOSÉ HOSP. TRAVESSÃO PS GUARUS SANDU UBS SARTUNINO BRAGA UPA	165	914,24	993,50	43	315	517	1007	4606
Primavera	5 GBM DBM 1/5 GUARUS HOSP. FERREIRA M HOSP. SÃO JOSÉ HOSP. TRAVESSÃO PS GUARUS SANDU UBS SARTUNINO BRAGA UPA	165	902,89	971,84	43	310	516	1028	4606
Verão	5 GBM DBM 1/5 GUARUS HOSP. FERREIRA M HOSP. SÃO JOSÉ HOSP. TRAVESSÃO SANDU UBS SARTUNINO BRAGA UPA UPH ST EDUARDO	165	868,52	875,39	0	319	511	1026	4120

\*5 GBM: Grupamento de Bombeiro Militar, DBM1/5 GUARUS: Destacamento de Bombeiro Militar, HOSP G. GUARUS: Hospital Geral de Guarus, HOSP. FERREIRA M.: Hospital Ferreira Machado, HOSP. SÃO JOSE: Hospital São José, HOSP. TRAVESSÃO: Hospital de Travessão, SANDU: Serviço de Atendimento Médico de Urgência, UBS SATURNINO BRAGA: Unidade Básica de Saúde de Saturnino Braga, UBS TOCOS: Unidade Básica de Saúde de Tocos, UPA: Unidade de Pronto Atendimento UPH ST EDUARDO: Unidade de Pronto Atendimento de Santo Eduardo.

\*\*count: número, mean: média, std: desvio padrão, min: mínimo, max: máximo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No cenário atual, as 9 ambulâncias de atendimento de emergência pré-hospitalar do município estão distribuídas nas seguintes bases: 2 ambulâncias no 5º GBM, 1 ambulância no DBM 1/5 e 6 ambulâncias no Hospital Geral de Guarus. Neste cenário, 25% das ocorrências são atendidas em um intervalo de tempo de 447 segundos (7 minutos e 45 segundos), ou seja dentro do tempo de resposta ideal preconizado pela Organização Mundial de Saúde. Para que 50% das ocorrências sejam atendidas, é necessário um tempo de deslocamento de 722 segundos (12 minutos), ou seja, acima do tempo ideal. Para que 75% das ocorrências sejam atendidas no atual cenário de distribuição, são necessários 1.447 segundos (24 minutos), três vezes o tempo ideal preconizado para o atendimento de uma emergência. Por fim, para que 100% das ocorrências sejam atendidas, nos diferentes locais do município e com a distribuição atual de ambulâncias, faz-se necessário um tempo de deslocamento de 4.075 segundos (1 hora e 7 minutos).

Para que este tempo seja mais bem compreendido, 5,5% das ocorrências descritas nos Registros de Atendimento Pré-hospitalar de atendimentos prestados ao longo dos anos de 2017, 2018 e 2019 no município de Campos dos Goytacazes foram classificadas como vermelhas pelo Sistema de Triagem de Manchester, ou seja, deveriam ser atendidas de forma imediata. Para estas, define-se que a cada minuto, perde-se 10% de chance de sobrevida, em paralelo a estatística de chance de sobrevida relacionada ao tempo de retardo para realização da desfibrilação em pacientes com fibrilação ventricular (ACLS, 2021).

Desta forma, para as ocorrências classificadas como vermelhas, no atual modelo de distribuição, somente 25% delas, teria acesso a um tempo de resposta adequado, segundo as métricas da OMS.

No cenário não ponderado, as localizações das ocorrências ao nível de bairro foram estudadas em relação ao seu número de atendimentos, não ponderados de acordo com a sua gravidade. Neste cenário, visando alocar as ambulâncias de uma forma em que, de acordo com as localizações das ocorrências, as ambulâncias sejam distribuídas nas unidades de atendimento 24 horas já existentes e nos quartéis do Corpo de Bombeiros, com o intuito de diminuir o tempo-resposta para o maior número possível de atendimentos, as 9 ambulâncias estão distribuídas nas seguintes bases, sendo 1 ambulância por cada base: DBM 1/5 Guarus, Hospital Ferreira Machado, Hospital São José, Hospital de Travessão, Posto de Urgência da Saldanha Marinho, UBS Saturnino Braga, UBS de Tocos, UPA – Campos, UPH de

Santo Eduardo. Neste cenário, 25% das ocorrências são atendidas em um intervalo de tempo de 315 segundos (7 minutos e 45 segundos), ou seja, dentro do tempo de resposta ideal preconizado pela Organização Mundial de Saúde. Para que 50% das ocorrências sejam atendidas, é necessário um tempo de deslocamento de 450 segundos (7 minutos e 30 segundos), dentro do tempo de resposta preconizado. Para que 75% das ocorrências sejam atendidas no atual cenário de distribuição, são necessários 712 segundos (12 minutos), acima do tempo ideal preconizado para o atendimento de uma emergência. Por fim, para que 100% das ocorrências sejam atendidas, nos diferentes locais do município e com a distribuição atual de ambulâncias, faz-se necessário um tempo de deslocamento de 3.687 segundos (1 hora), também acima do tempo de deslocamento preconizado.

Neste modelo de distribuição de viaturas, orientado pelos locais com o maior número de ocorrências, a redistribuição das ambulâncias dobrou para 50%, o número de pessoas atendidas dentro do tempo de resposta adequado. O impacto observado neste modelo de distribuição foi que o dobro de pessoas foi atendido no tempo adequado e, portanto, com uma maior chance de sobrevivência.

No cenário ponderado, as localizações das ocorrências ao nível de bairro foram estudadas pelo número de atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester. Neste cenário, visando alocar as ambulâncias de uma forma em que, de acordo com as localizações das ocorrências, as ambulâncias sejam distribuídas nas unidades de atendimento 24 horas já existentes e nos quartéis do Corpo de Bombeiros, com o intuito de diminuir o tempo-resposta para os atendimentos de maior gravidade, as 9 ambulâncias estão distribuídas nas seguintes bases, sendo 1 ambulância por cada base: 5º GBM, DBM 1/5 Guarus, Hospital Ferreira Machado, Hospital São José, Hospital de Travessão, Posto de Urgência da Saldanha Marinho, Posto de Urgência de Guarus, UBS Saturnino Braga, UPA - Campos.

Neste cenário, 25% das ocorrências são atendidas em um intervalo de tempo de 307 segundos (5 minutos e 11 segundos), ou seja, quase metade do tempo de resposta ideal preconizado pela Organização Mundial de Saúde. Para que 50% das ocorrências sejam atendidas, é necessário um tempo de deslocamento de 453 segundos (7 minutos e 33 segundos), dentro do tempo de resposta preconizado. Para que 75% das ocorrências sejam atendidas no atual cenário de distribuição, são necessários 880 segundos (14 minutos), acima do tempo ideal preconizado para o

atendimento de uma emergência. Por fim, para que 100% das ocorrências sejam atendidas, nos diferentes locais do município e com a distribuição atual de ambulâncias, faz-se necessário um tempo de deslocamento de 4.120 segundos (1 hora e 8 minutos), acima do tempo de deslocamento preconizado.

Neste modelo de distribuição de viaturas, orientado pelos locais com os atendimentos de maior gravidade, ponderados pelo Sistema de Triagem de Manchester, a redistribuição das ambulâncias manteve em 50%, o número de pessoas atendidas dentro do tempo de resposta adequado. O que ratifica a importância desta realocação, pois aumenta o número de pacientes atendidos além disso, os que são classificados como mais grave.

No cenário ponderado por gravidade e comparado com as 4 estações do ano, as localizações das ocorrências ao nível de bairro foram estudadas pelo número de atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester, ao longo dos meses que compõe as estações do ano. Neste cenário, visando alocar as ambulâncias de uma forma em que, de acordo com as localizações das ocorrências, as ambulâncias sejam distribuídas nas unidades de atendimento 24 horas já existentes e nos quartéis do Corpo de Bombeiros, com o intuito de diminuir o tempo resposta para os atendimentos de maior gravidade, nas estações da primavera, outono e inverno, as 9 ambulâncias estão distribuídas da mesma forma que no cenário ponderado, nas seguintes bases, sendo 1 ambulância por cada base: 5º GBM, DBM 1/5 Guarus, Hospital Ferreira Machado, Hospital São José, Hospital de Travessão, Posto de Urgência da Saldanha Marinho, Posto de Urgência de Guarus, UBS Saturnino Braga, UPA - Campos.

Neste cenário relacionado as estações do inverno, primavera e outono, 25% das ocorrências são atendidas em um intervalo de tempo que variou entre 311 segundos (5 minutos e 18 segundos) e 315 segundos (5 minutos e 25 segundos), ou seja, quase metade do tempo de resposta ideal preconizado pela Organização Mundial de Saúde. Para que 50% das ocorrências sejam atendidas, é necessário um tempo de deslocamento de 516 segundos (8 minutos e 6 segundos), muito próximo do tempo de resposta preconizado. Para que 75% das ocorrências sejam atendidas no atual cenário de distribuição, o tempo variou entre 1007 segundos (16 minutos e 8 segundos) e 1028 segundos (17 minutos e 13 segundos), acima do tempo ideal preconizado para o atendimento de uma emergência. Por fim, para que 100% das ocorrências sejam atendidas, nos diferentes locais do município e com a distribuição

atual de ambulâncias, faz-se necessário um tempo de deslocamento de 4.606 segundos (1 hora e 16 minutos), acima do tempo de deslocamento preconizado.

No cenário ponderado por gravidade na estação do verão, visando alocar as ambulâncias, com o intuito de diminuir o tempo-resposta para os atendimentos de maior gravidade, as 9 ambulâncias estão distribuídas, semelhante ao cenário ponderado, nas seguintes bases, sendo 1 ambulância por cada base: 5º GBM, DBM 1/5 Guarus, Hospital Ferreira Machado, Hospital São José, Hospital de Travessão, Posto de Urgência da Saldanha Marinho, UBS Saturnino Braga, UPA – Campos e com uma alteração em relação as outras estações do ano, a UBS de Santo Eduardo, em substituição ao Posto de Saúde de Guarus. Neste, 25% das ocorrências são atendidas em um intervalo de tempo de 319 segundos (5 minutos e 31 segundos) e para que 50% das ocorrências sejam atendidas, é necessário um tempo de deslocamento de 511 segundos (8 minutos e 5 segundos), muito próximo do tempo de resposta preconizado. Para que 75% das ocorrências sejam atendidas no atual cenário de distribuição, o tempo foi de 1026 segundos (17 minutos), acima do tempo ideal preconizado para o atendimento de uma emergência. Por fim, para que 100% das ocorrências sejam atendidas, faz-se necessário um tempo de deslocamento de 4.120 segundos (1 hora e 8 minutos), acima do tempo de deslocamento preconizado.

Neste modelo de distribuição de viaturas, orientado pelos locais com os atendimentos de maior gravidade, ponderados pelo Sistema de Triagem de Manchester, a redistribuição das ambulâncias manteve em 50%, o número de pessoas atendidas dentro do tempo de resposta adequado, com pouca variação ao longo das estações do ano do inverno, primavera e outono. No verão, houve somente a necessidade de uma troca de uma unidade de alocação localizada na região mais central, por uma unidade mais periférica, próximo ao Estado do Espírito Santo. O que ratifica a importância desta realocação, pois aumenta o número de pacientes atendidos além disso, os que são classificados como mais grave, ao longo do ano inteiro.

Tabela 6 – Número e porcentagem de bairros cobertos em até 8 minutos dividido pelos cenários

<b>Cenário</b>	<b>Cobertura (8&lt;=min)</b>	<b>Cobertura (8&lt;=min) %</b>
<b>Atual</b>	44	26,7
<b>Não ponderado</b>	91	55,2
<b>Ponderado</b>	88	53,3
<b>Inverno</b>	79	47,9
<b>Outono</b>	78	47,3
<b>Primavera</b>	79	47,9
<b>Verão</b>	80	48,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Complementando os resultados até aqui discutidos, a Tabela 6 demonstra que no cenário atual de distribuição das ambulâncias, 44 bairros, ou seja, 26,7% dos bairros que representam a amostra são atendidos em até 8 minutos do tempo resposta, que é o tempo de resposta ideal preconizado pela OMS.

No cenário não ponderado, onde a matriz p mediana propôs a alocação das ambulâncias nas bases usando como referência a proximidade dos locais com o maior número de eventos, 91 bairros, ou seja, 55,2% dos bairros da amostra passaram a ser atendidos em até 8 minutos. Este valor demonstrou que a realocação das ambulâncias promoveu um aumento de aproximadamente 106% no número de bairros atendidos dentro do tempo resposta ideal, em relação ao modelo atual.

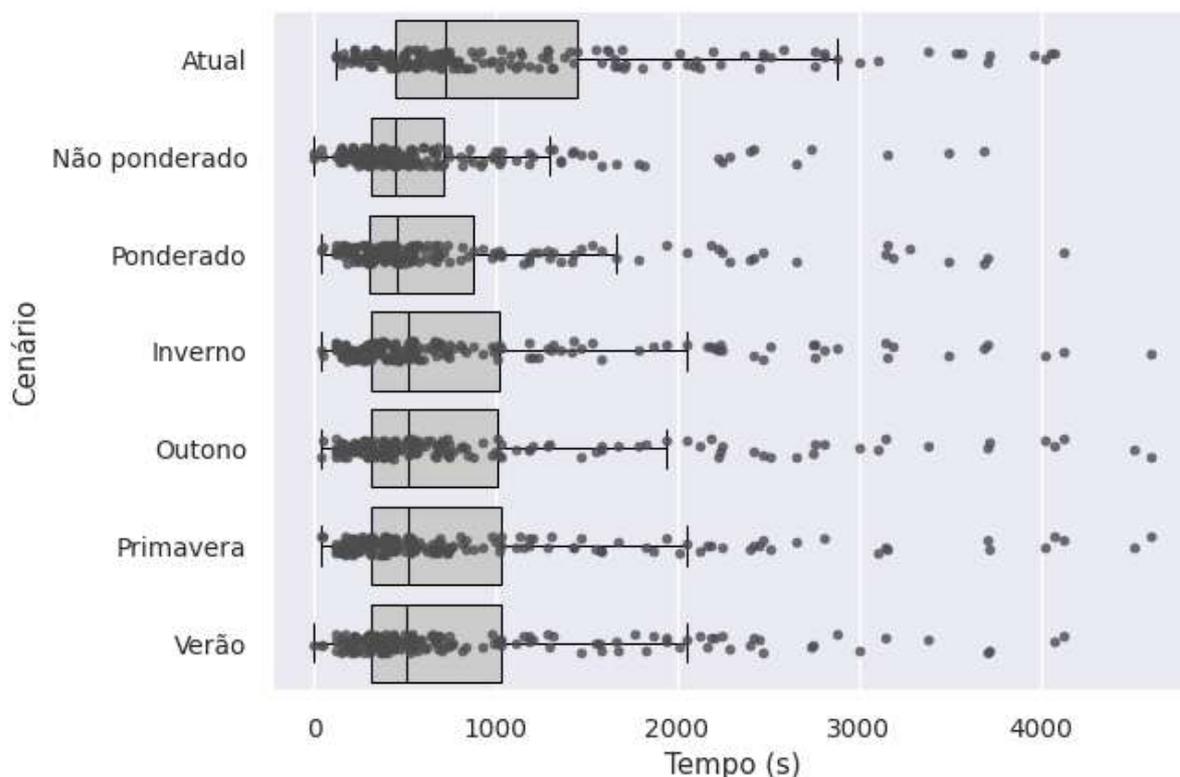
No cenário ponderado, onde a matriz p mediana propôs a alocação das ambulâncias usando como referência a proximidade dos locais com o maior número de eventos de maior gravidade ponderado pelo Sistema de Triagem de Manchester, 88 bairros, ou seja, 53,3% dos bairros da amostra foram atendidos em até 8 minutos. Este cenário de alocação manteve uma maior abrangência da assistência em relação ao modelo atual, contudo com uma maior relevância estatística, visto que neste cenário são assistidos bairros com pacientes de maior gravidade.

Nos cenários das quatro estações do ano, ponderados por gravidade adaptado pelo Sistema de Triagem de Manchester, uma maior abrangência de bairros atendidos se manteve ao longo do ano, com uma média de 79 bairros, ou seja, 47,9% da quantidade total de bairros da amostra atendidos dentro de 8 minutos. Este dado representa um aumento de aproximadamente 79,55%, em relação ao modelo atual de distribuição. O que ratifica a importância desta

realocação, pois demonstra um aumento do número de pacientes atendidos classificados como os mais graves ao longo do ano inteiro.

A Figura 8 é um gráfico Boxplot, que é uma ferramenta gráfica que representa a variação de valores numéricos obtidos por meio de quartis, ou seja, valores que dividem uma amostra em quatro partes iguais. A descrição estatística reflete o tempo de atendimento da base mais próxima as ocorrências nos bairros. O gráfico de caixa de tempo relaciona o tempo de deslocamento com o cenário padrão, que é o atual modelo de alocação das ambulâncias, com o cenário não ponderado, que é o modelo de alocação de ambulâncias em relação aos bairros com o maior número de ocorrências, com o cenário ponderado, que é o modelo de alocação de ambulâncias em relação aos bairros com as ocorrências ponderadas pela gravidade classificadas pelo Sistema de Triagem de Manchester e por fim com o cenário ponderado pela gravidade, ao longo das estações do ano.

Figura 8 – Gráfico de caixa do tempo de deslocamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No cenário padrão, é possível observar que a maioria das ocorrências ocorreram entre 447 e 1.447 segundos e o tempo mínimo e máximo de resposta, foram os maiores, entre os cenários. O segundo quartil, que corresponde ao tempo resposta onde metade das ocorrências foi atendida foi de 722 segundos (12 minutos), ou seja, acima do tempo ideal preconizado. Fazendo uma análise visual dos dados, a distribuição foi assimétrica, pois, a maioria dos tempos de deslocamento foram relativamente curtos, porém, comparando os cenários, o cenário padrão apresentou o maior tempo de deslocamento maior. Neste cenário, o tempo de deslocamento apresentou a maior variabilidade de valores, representando um maior número de atendimentos com um maior tempo de deslocamento.

No cenário não ponderado, é possível observar que a maioria das ocorrências ocorreu entre 315 e 712 segundos e que o tempo mínimo e máximo de resposta foram os menores entre os cenários. O segundo quartil, que corresponde ao tempo resposta onde metade das ocorrências foram atendidas foi de 450 segundos (7 minutos e 30 segundos), ou seja, dentro do tempo ideal preconizado. Fazendo uma análise visual dos dados, a distribuição foi assimétrica, pois, a maioria dos tempos

de deslocamento foram relativamente curtos e entre os cenários, o cenário não ponderado obteve o menor tempo de deslocamento. O tempo de deslocamento neste cenário apresentou a menor variabilidade de valores. Comparando com o cenário anterior, há uma visível diminuição dos tempos resposta com a alocação das ambulâncias baseadas pela proximidade aos locais com o maior número de ocorrências.

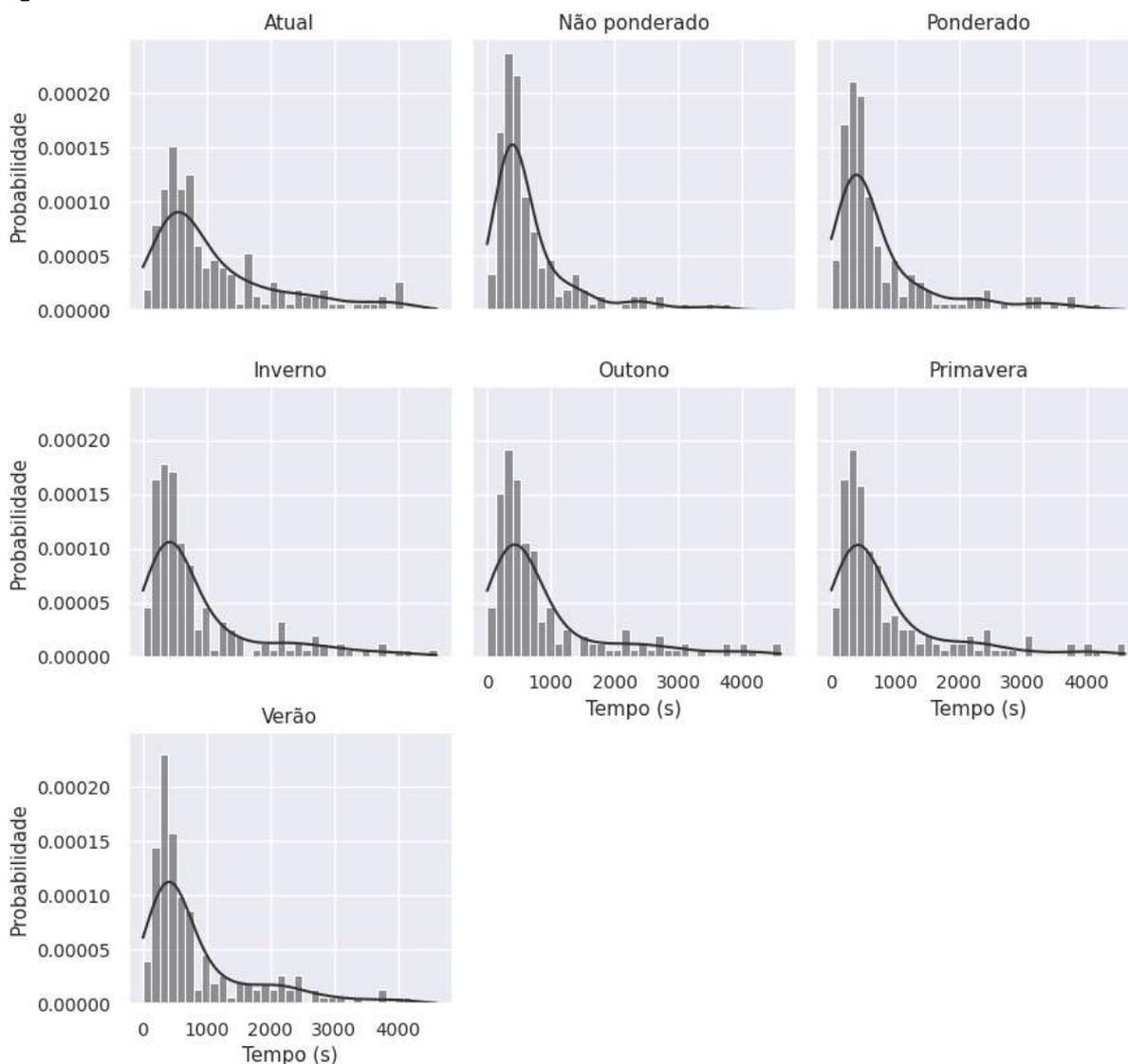
No cenário ponderado, é possível observar que a maioria das ocorrências ocorreu entre 307 e 880 segundos. O segundo quartil, que corresponde ao tempo resposta onde metade das ocorrências foram atendidas foi de 453 segundos (7 minutos e 33 segundos), ou seja, dentro do tempo ideal preconizado. Fazendo uma análise visual dos dados, a distribuição foi assimétrica, pois, a maioria dos tempos de deslocamento foram relativamente curtos. O tempo de deslocamento neste cenário apresentou a menor variabilidade de valores. Comparando com o cenário padrão, assim como no cenário não ponderado, há uma diminuição dos tempos resposta, porém com o tempo máximo de resposta maior, para atender a todas as ocorrências.

No cenário ponderado, ao longo das estações do ano, é possível observar que a maioria das ocorrências ocorreu entre 307 e 1026 segundos. O segundo quartil, que corresponde ao tempo resposta onde metade das ocorrências foi atendida ao longo do ano, foi entre 511 e 516 segundos (8 minutos), ou seja, dentro do tempo ideal preconizado. Comparando com o cenário padrão, assim como no cenário não ponderado, há uma diminuição dos tempos resposta.

Todos os cenários que promoveram a realocação, apresentaram uma menor variabilidade de valores, ou seja, menor tempo de resposta do que o cenário atual de distribuição. Além disso, o menor tempo resposta encontrado pela realocação promovida no cenário baseado pelo número de ocorrências, se manteve também em cenários ponderados pela gravidade e ao longo das estações do ano, o que sugere a efetividade da realocação proposta.

A Figura 9 apresenta curvas de densidade, onde no espaço abaixo das curvas representam 100% dos tempos de deslocamento em segundos, das viaturas de emergência proveniente das bases até o local do socorro das ocorrências atendidas e o eixo y representa o número de pessoas atendidas nestes tempos de deslocamento.

Figura 9 – Curvas de densidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Observando as áreas abaixo das curvas, é possível visualizar que a área da curva de densidade que apresenta o cenário não ponderado e que representa o cenário ponderado, mesmo estratificado pelas estações do ano, são maiores, representando desta forma, maiores números de ocorrências atendidas dentro de um menor tempo resposta. Isto demonstra visualmente um maior número de ocorrências atendidas com um menor tempo resposta, quando se faz uma realocação das ambulâncias em relação ao modelo atual.

A maior altura das curvas que representam os cenários não ponderado e o cenário ponderado, mantendo nos cenários estratificados pelas estações do ano, demonstram na interpretação visual, um maior número de ocorrências atendidas,

com menores tempo de resposta, promovidos pela realocação das viaturas de emergência, em comparação da menor altura da curva no modelo atual de distribuição.

O modelo atual apresenta uma curva que se mantém mais alta após o pico, em relação ao tempo de atendimento, pois o modelo atual de distribuição apresenta uma maior frequência de atendimentos que precisam de mais tempo para serem atendidos do que os modelos onde foram propostos a realocação, independente da ponderação por gravidade ou estação do ano, que apresentam uma menor frequência ao longo do tempo.

De forma prática, para que esta maior abrangência de atendimento, que dobrou com a realocação de 25% para 50% dos pacientes atendidos dentro do tempo resposta preconizado seja mais bem compreendido, define-se que a cada minuto, perde-se 10% de chance de sobrevivência, no atendimento de uma vítima classificada como grave e ao reduzir o tempo de resposta das ambulâncias envolvidas no atendimento em 1 minuto, pode ocorrer um aumento da taxa de sobrevivência dos pacientes atendidos por volta de 5% por minuto, mostrando assim, o impacto que esta redução do tempo exerce sobre a efetividade dos serviços móveis de assistência.

A Tabela 7 apresenta os cenários estudados que descrevem as bases elegíveis para a alocação de veículos de emergência, divididos em cenário padrão (atual), não-ponderado, ponderado pela gravidade e estratificado ao longo das estações do ano.

Tabela 7 – Indica as bases selecionadas em cada cenário (1: Verdadeiro, 0: Falso).

Bases*	Padrão	Não ponderado	ponderado	Inverno	Outono	Primavera	Verão
5 GBM	1	0	1	1	1	1	1
DBM 1/5 GUARUS	1	1	1	1	1	1	1
HOSP. FERREIRA M	0	1	1	1	1	1	1
HOSP. G. GUARUS	1	0	0	0	0	0	0
HOSP. SÃO JOSÉ	0	1	1	1	1	1	1
HOSP. TRAVESSÃO	0	1	1	1	1	1	1
PS GUARUS	0	0	1	1	1	1	0
SANDU	0	1	1	1	1	1	1
UBS Sartunino Braga	0	1	1	1	1	1	1
UBS TOCOS	0	1	0	0	0	0	0
UPA	0	1	1	1	1	1	1
UPH F. SÃO THOMÉ	0	0	0	0	0	0	0
UPH MORRO DO COCO	0	0	0	0	0	0	0
UPH ST EDUARDO	0	1	0	0	0	0	1

\*5 GBM: Grupamento de Bombeiro Militar, DBM1/5 GUARUS: Destacamento de Bombeiro Militar, HOSP. G. GUARUS: Hospital Geral de Guarus, HOSP. FERREIRA M.: Hospital Ferreira Machado, HOSP. SÃO JOSÉ: Hospital São José, HOSP. TRAVESSÃO: Hospital de Travessão, SANDU: Serviço de Atendimento Médico de Urgência, UBS SATURNINO BRAGA: Unidade Básica de Saúde de Saturnino Braga, UBS TOCOS: Unidade Básica de Saúde de Tocos, UPA: Unidade de Pronto Atendimento UPH ST EDUARDO: Unidade de Pronto Atendimento de Santo Eduardo, UPH F. SÃO THOMÉ: Unidade de Pronto Atendimento de Farol de São Thomé, UPH MORRO DO COCO: Unidade de Pronto Atendimento de Morro do Coco, PS GUARUS: Pronto Socorro de Guarus.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No cenário Padrão atual, as ambulâncias de atendimento de emergência pré-hospitalar do município estão distribuídas no 5º GBM, no DBM 1/5 e no Hospital Geral de Guarus. Neste modelo de alocação, 25% das ocorrências são atendidas em um intervalo de tempo de 447 segundos (7 minutos e 45 segundos), ou seja, dentro do tempo de resposta ideal preconizado pela Organização Mundial de Saúde.

No cenário não ponderado, as localizações das ocorrências ao nível de bairro foram estudadas em relação ao seu número de atendimentos, não ponderados de acordo com a sua gravidade. Neste cenário, visando alocar as ambulâncias de uma forma em que, de acordo com as localizações das ocorrências, as ambulâncias sejam distribuídas com o intuito de diminuir o tempo resposta para o maior número possível de atendimentos, as ambulâncias foram distribuídas nas seguintes bases DBM 1/5 Guarus, Hospital Ferreira Machado, Hospital São José, Hospital de Travessão, Posto de Urgência da Saldanha Marinho, UBS Saturnino Braga, UBS de Tocos, UPA – Campos, UPH de Santo Eduardo. Neste cenário, 50% das ocorrências foram atendidas em um tempo de deslocamento de 450 segundos (7 minutos e 30 segundos), ou seja, dentro do tempo de resposta preconizado,

dobrando o número de ocorrências atendidas, em comparação ao modelo atual de distribuição.

No cenário ponderado, as localizações das ocorrências ao nível de bairro foram estudadas pelo número de atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester. Neste cenário, visando alocar as ambulâncias de acordo com as localizações das ocorrências por gravidade com o intuito de diminuir o tempo-resposta as ambulâncias foram distribuídas no 5° GBM, DBM 1/5 Guarus, Hospital Ferreira Machado, Hospital São José, Hospital de Travessão, Posto de Urgência da Saldanha Marinho, Posto de Urgência de Guarus, UBS Saturnino Braga, UPA - Campos.

Por fim, no cenário ponderado, distribuído ao longo das estações do ano, as localizações das ocorrências ao nível de bairro foram estudadas pelo número de atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester. Neste cenário, visando alocar as ambulâncias de acordo com as localizações das ocorrências por gravidade com o intuito de diminuir o tempo-resposta as ambulâncias foram distribuídas nos meses da primavera, outono e inverno no 5° GBM, DBM 1/5 Guarus, Hospital Ferreira Machado, Hospital São José, Hospital de Travessão, Posto de Urgência da Saldanha Marinho, Posto de Urgência de Guarus, UBS Saturnino Braga, UPA – Campos e na estação do verão, o Posto de Urgência de Guarus, foi substituído pela UBS de Santa Eduardo, que é uma unidade mais periférica, próximo das estradas que saem de Campos em direção ao Estado do Espírito Santo.

Neste modelo de distribuição de viaturas, orientado pelos locais com os atendimentos de maior gravidade, ao longo das estações do ano, a redistribuição das ambulâncias manteve em 50%, o número de pessoas atendidas dentro do tempo de resposta adequado, porém estes pacientes, de maior gravidade, o que ratifica a importância desta realocação.

A Figura 10 exibe o Cartograma com a distribuição atual das ambulâncias de atendimento de emergência pré-hospitalar do município, alocadas no 5° GBM, no DBM 1/5 e no Hospital Geral de Guarus. Este modelo de alocação comparativamente, foi o que mostrou a menor porcentagem de ocorrências dentro do tempo de resposta ideal preconizado pela Organização Mundial de Saúde.

Figura 10 – Cartograma com as bases selecionadas para o cenário Padrão



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 11 exibe o Cartograma com a distribuição das ambulâncias no cenário não ponderado. Neste modelo a realocação das viaturas de socorro foram distribuídas com o intuito de diminuir o tempo resposta baseada nas localizações das ocorrências ao nível de bairro em relação ao número de atendimentos. As ambulâncias foram alocadas no DBM 1/5 Guarus, Hospital Ferreira Machado, Hospital São José, Hospital de Travessão, Posto de Urgência da Saldanha Marinho, UBS Saturnino Braga, UBS de Tocos, UPA – Campos, UPH de Santo Eduardo. Com esta realocação, em comparação com a distribuição atual, dobrou para 50%, o número de pessoas atendidas dentro do tempo de resposta adequado.

Figura 11 – Cartograma com as bases selecionadas para o cenário não ponderado



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 12 exibe o Cartograma com a distribuição das ambulâncias no cenário ponderado, onde as localizações das ocorrências ao nível de bairro foram estudadas pelo número de atendimentos ponderados de acordo com a sua gravidade pelo Sistema de Triagem de Manchester. Com o intuito de diminuir o tempo-resposta para os atendimentos de maior gravidade, as ambulâncias foram distribuídas no 5º GBM, DBM 1/5 Guarus, Hospital Ferreira Machado, Hospital São José, Hospital de Travessão, Posto de Urgência da Saldanha Marinho, Posto de Urgência de Guarus, UBS Saturnino Braga, UPA - Campos. Neste modelo a redistribuição das ambulâncias manteve em 50%, o número de pessoas atendidas dentro do tempo de resposta adequado, porém é importante ressaltar que estes eventos atendidos, eram de maior gravidade, mostrando a importância deste modelo de realocação, pois manteve uma maior abrangência de atendimentos dentro do tempo resposta e de vítimas mais graves, ou seja, as que mais precisam da precocidade do atendimento.

Figura 12 – Cartograma com as bases selecionadas para o cenário ponderado



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

## 7 DISCUSSÃO

Sacco *et al.* (2005) e Wang *et al.* (2012) propuseram que a taxa de sobrevivência para pacientes gravemente feridos, pode ser estimada através da taxa de degradação, isto é, a probabilidade de declínio da taxa de sobrevivência do paciente, enquanto ele espera que os cuidados adequados sejam administrados. Desta forma, o tempo resposta de atendimento para pacientes vítimas de trauma, é um instrumento importante para aumentar a sobrevida destes pacientes (Branas *et al.*, 2005) e as abordagens que buscam otimizar a alocação de unidades móveis de emergência devem levar em consideração a demanda espacial característica (Boutilier; Chan, 2020).

A Organização Mundial de Saúde estabelece o tempo de 8 minutos como o ideal, para resposta de chamadas de serviços de emergência (OMS, 2021). Para que a importância do tempo resposta de atendimento seja compreendida, partindo do pressuposto de utilizá-lo como um indicador da realocação dos veículos de emergência, entende-se que em ocorrências classificadas como vermelhas pelo Sistema de Triagem de Manchester, ou seja, em pacientes que devem ser atendidos de forma imediata, define-se que a cada minuto sem o atendimento, perde-se 10% de chance de sobrevida (ACLS, 2021). Da mesma forma, Sund (2013) através de modelos de simulação que promovem a realocação de ambulâncias com o intuito de diminuir o tempo-resposta de atendimento, demonstrou que ao reduzir o tempo de resposta das ambulâncias envolvidas no atendimento a pacientes com parada cardíaca extra hospitalar em 1 minuto, ocorreu um aumento da taxa de sobrevivência dos pacientes atendidos de 4,6% por minuto, mostrando assim, o impacto que esta redução do tempo exerce sobre a efetividade dos serviços móveis de assistência.

Jánošíková *et al.* (2021) demonstraram que modelos matemáticos propostos para orientar realocações de veículos de emergência diminuem o tempo médio de resposta das chamadas de emergência. Na pesquisa realizada, avaliando a distribuição das ambulâncias no momento da coleta dos dados, 25% das ocorrências eram atendidas em um intervalo de tempo de 7 minutos e 45 segundos, ou seja dentro do tempo de resposta ideal preconizado pela Organização Mundial de Saúde. Com a realocação das ambulâncias nas unidades já existentes, norteadas pela proximidade dos locais com o maior número de ocorrências, 50% das ocorrências passaram a ser atendidas dentro do tempo de atendimento ideal. Pensando nas vítimas classificadas como vermelhas, que precisam de um atendimento imediato para aumentar a sua sobrevivência, o impacto deste modelo de distribuição, dobra o número de pessoas ao serem atendidas no tempo adequado e, portanto, com uma maior chance de sobrevivência. Em tempo, sem aumentar o custo com a construção de novas bases. Interessante notar que, quando a realocação proposta usou como referência os locais com os atendimentos de vítimas da maior gravidade, ponderado pelo Sistema de Triagem de Manchester, a porcentagem de ocorrências atendidas dentro do tempo resposta adequado manteve-se de 50%, ou seja, a realocação aumentou o número de atendimentos e o número de pacientes mais graves que foram atendidos no tempo ideal de atendimento. Com o objetivo de confirmar a eficácia da proposta de realocação de veículos de emergência, foi inferido as demandas características ao longo dos meses do ano, dias da semana e as diferentes horas do dia (Boutilier; Chan, 2020). No cenário estudado, de acordo com as localizações das ocorrências, manteve-se a porcentagem de 50% das ocorrências atendidas, ao longo do ano inteiro, dentro do tempo de resposta ideal preconizado pela OMS. Para facilitar a interpretação visual dos resultados foi utilizada a ferramenta gráfica Boxplot, onde a análise de valores de tempo de deslocamento numéricos foi obtida por meio de quartis (Sizenando, 2015). Este instrumento gráfico demonstrou que a realocação baseada pela proximidade das bases, aos locais com o maior número de ocorrências, demonstrou uma visível diminuição dos tempos resposta de atendimento.

Segundo Buzna e Cimmermann (2021), o uso da densidade populacional é uma variável razoável que interfere no número de eventos de emergência, tanto pelo potencial número de pessoas que possam necessitar de atendimento e pelo maior tráfego da região (Roislien *et al.*, 2018), o que aumenta o número de eventos de

emergência. Assim, estudar regiões com maior densidade e trânsito de pessoas é comparável a importância de se estudar horários e dias com o maior número e deslocamento de pessoas, pois estes momentos são os locais de maior risco e incidência de eventos de emergência.

Desta forma, o cartograma elaborado a partir das localizações das ocorrências, demonstrou que o maior número de eventos ocorreu nos bairros centrais do município, dentre estes, Centro, Guarus, Parque Turf Club, Parque Jockey Club e Penha, em relação aos 165 bairros enumerados, distribuídos pelos dias da semana e horário, sendo o centro da cidade, o local com maior número e maior gravidade de eventos independente do horário e dia da semana. Já em relação aos dias da semana, os resultados mostraram um maior número e maior gravidade de eventos, na segunda-feira, sexta-feira e no fim de semana. Em relação ao horário, os eventos ocorreram mais à noite nos fins de semana, por outro lado, nos dias úteis, nos horários do deslocamento para a escola e trabalho, pela manhã e à tarde. Tais resultados corroboram com o estudo Macedo *et al.* (2009), que demonstrou a influência da densidade de pessoas e da intensidade do trânsito como determinantes na frequência e gravidade de eventos de emergência. Assim, a interpretação dos cartogramas confirma que a cobertura de eventos de emergência, assim com o tempo resposta do atendimento, pode ser substancialmente melhorado, através da relocação de veículos de emergência, das bases atuais, baseados em indicadores de atendimento, sem a necessidade de recursos adicionais (Dibene *et al.*, 2017).

Ao quantificar pacientes atendidos ao longo dos 12 meses do ano, demonstrou-se que a segunda-feira é o dia com o maior número de eventos graves, nos meses de dezembro, janeiro e julho, devido ao deslocamento da população durante o período de férias escolares. Porém, durante os meses de março a novembro, excluindo o mês de julho, o sábado à noite predomina com eventos de maior gravidade. Segundo Kaveh *et al.* (2023), o uso de modelagem matemática utilizando taxas de emigração e imigração de uma população ao longo de um determinado período mostram valores superiores de eficiência em problemas de otimização de alocação de veículos de emergência no mundo real, pois a demonstração dentro de uma área de abrangência, de quais são os locais, dias e horários de maior número e gravidade de eventos, pode proporcionar a realocação

de viaturas e com isso promover uma precocidade na cobertura das áreas de maior número ou gravidade de vítimas (Boutilier *et al.*, 2020).

Segundo Roislien *et al.* (2018), variáveis sazonais interferem diretamente nas interações diárias por trauma, ainda de forma mais fidedigna do que informações sobre os dias do ano. Com os resultados encontrados, que durante o inverno, foi possível observar que no sábado e no domingo, os eventos em valores ponderados pela gravidade tornam-se mais frequentes, provavelmente devido a uma menor mobilidade urbana para fora dos limites do município durante este período do ano. Já no verão, a sexta-feira, foi o dia com maior número de eventos, devido ao deslocamento da população para a região litorânea, devido as férias escolares. Para as outras estações houve pouca influência da sazonalidade na variação do número de eventos ao longo do período avaliado.

## 8 CONCLUSÃO

É indiscutível que o planejamento ao atendimento a urgência e emergência constitui um importante componente da assistência à saúde, pois atualmente, em diversos países, os recursos públicos para a saúde são insuficientes para atender às demandas pelos serviços. Neste sentido, a localização dos eventos que precisam ser atendidos e a análise destes eventos em relação ao seu número e gravidade é uma questão relevante, pois estudos demonstram que a redução do tempo de resposta de uma ambulância ao atendimento, aumenta a probabilidade de sobrevivência dos pacientes. Assim, ao recorrer a dados coletados de eventos de emergência ocorridos no município de Campos dos Goytacazes atendidos no ambiente pré-hospitalar nos anos de 2017, 2018 e 2019, foi possível traçar um perfil epidemiológico das urgências e emergências atendidas, o que serviu como um indicador para a alocação de veículos de emergência. Os resultados mostraram que a segunda-feira, no início da manhã e fim da tarde e a sexta-feira e fim de semana, no turno da noite, foram os períodos com maior número e gravidade de eventos. Além disso, a segunda-feira foi o dia com o maior número de eventos graves, nos meses de dezembro, janeiro e julho. Nos meses de março a novembro, excluindo julho, o maior número de eventos graves ocorreu no sábado à noite. Estes eventos ocorreram com maior frequência nos bairros centrais do município, sendo o centro da cidade, o local com maior número e maior gravidade de eventos independente do horário e dia da semana.

Para reduzir o tempo resposta, a partir do reconhecimento dos períodos e locais com maior número e gravidade de eventos e da identificação da localização das instalações de emergência 24 horas e quartéis do CBMERJ já existentes, foi possível encontrar o melhor local para alocar os veículos de emergência, usando para este fim o modelo matemático p-mediana de distribuição espacial, que se

baseia na diminuição da média da distância percorrida entre a base onde a ambulância se encontra e os locais de maior risco de eventos.

Os resultados demonstraram que na distribuição existente, 25% das ocorrências eram atendidas em um intervalo de tempo de 7 minutos e 45 segundos, ou seja dentro do tempo de resposta ideal preconizado pela Organização Mundial de Saúde. Com a realocação das ambulâncias, norteadas pela proximidade dos locais com o maior número de ocorrências e pela gravidade, demonstrou-se uma visível diminuição dos tempos resposta de atendimento, pois com a realocação, 50% das ocorrências passaram a ser atendidas dentro do tempo de atendimento ideal, aumentando assim o número de atendimentos e de pacientes mais graves que foram adequadamente atendidos ao longo do ano.

O uso de variáveis estatísticas, como meses do ano, dias da semana e horários, podem influenciar na localização de eventos de emergência no município de Campos dos Goytacazes. Sendo assim, em tempo oportuno, estes dados reunidos, também poderão ser utilizados como uma ferramenta dinâmica, que proponha uma alocação de viaturas de atendimento pré-hospitalar ao longo dos dias e horários de maior incidência, baseando-se em uma série histórica de localização dos eventos, objetivando sempre o alcance do menor tempo resposta.

Pode-se observar nos resultados, pode-se concluir que, ao utilizar um modelo de estatística espacial, com o intuito de identificar áreas com maior número de eventos e submeter esta demanda ao modelo p-mediana para propor a distribuição espacial das ambulâncias no município de Campos dos Goytacazes, houve uma melhor distribuição das ambulâncias, promovendo uma diminuição do tempo resposta de atendimento, o que aumentou a abrangência de ocorrências que foram atendidas dentro de um tempo de resposta ideal de atendimento, sem que fosse necessário o aumento de recursos para a compra de novas viaturas ou construção de novas bases.

Desta forma, em relação a trabalhos futuros, é possível conceber que a utilização de modelos matemáticos e ferramentas de alocação dinâmica emerge como uma solução promissora para otimizar a alocação de recursos de saúde pública, especialmente no que diz respeito à distribuição eficiente de viaturas de atendimento. Por meio da construção de cenários baseados em dados reais e ideais, é possível simular diferentes contextos que reflitam as condições atuais do sistema de saúde e as metas desejadas. Esses modelos permitem avaliar o impacto

de variáveis como a demanda por serviços, padrões geográficos e horários de pico, possibilitando uma visão estratégica para tomada de decisão.

Ferramentas de alocação dinâmica, baseadas em algoritmos de otimização, podem ser implementadas para reavaliar e redistribuir os recursos de forma adaptativa e em tempo real. Isso significa que, à medida que a demanda por atendimento varia, o sistema pode ajustar a localização e a disponibilidade das viaturas de forma eficiente, reduzindo o tempo de resposta e maximizando o alcance dos serviços. Além disso, modelos preditivos podem ser integrados para antecipar picos de demanda com base em dados históricos, sazonalidades ou fatores contextuais, como eventos de grande porte ou condições climáticas adversas.

Outro aspecto fundamental dessa abordagem é a tomada de decisão baseada em dados. Sistemas de monitoramento e análise podem reunir informações provenientes de diversas fontes, como sistemas de emergência, hospitais e órgãos de saúde pública, para alimentar os modelos matemáticos. Isso garante que as decisões sobre alocação de recursos sejam embasadas em informações precisas e atualizadas, promovendo um planejamento mais assertivo e alinhado às necessidades reais da população.

A integração dessas ferramentas com políticas públicas amplia ainda mais seu impacto, permitindo que os recursos sejam distribuídos de forma equitativa e eficiente, considerando as metas globais do sistema de saúde. O monitoramento contínuo dos resultados também é essencial para ajustes e melhorias ao longo do tempo, garantindo que a tecnologia contribua de maneira significativa para a transformação do planejamento em saúde pública.

## REFERÊNCIAS

ABOUELJINANE, L.; SAHIN E.; JEMAI, Z. A review on simulation models applied to emergency medical service operations. **Computers and Industrial Engineering**, [S.l.], v. 66, n. 4, p. 734-750, dez. 2013.

AMERICAN HEART ASSOCIATION. **Advanced Cardiac Life Support (ACLS)**. 2021. Disponível em: <https://shopcpr.heart.org/pt/courses/acls>. Acesso em: 10 maio 2024.

ADARANG, H.; BOZORGI-AMIRI, A.; KHALILI-DAMGHANI, K.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. A robust bi-objective location-routing model for providing emergency medical services. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 285-319, 2020.

ANDRADE, L. A. C. G.; CUNHA, C. B. An ABC heuristic for optimizing moveable ambulance station location and vehicle repositioning for the city of São Paulo. **International Transactions In Operational Research**, [S.l.], v. 22, n. 3, p. 473-501, 21 mar. 2015.

AMERICAN COLLEGE OF SURGEONS COMMITTEE ON TRAUMA. **Advanced Trauma Life Support (ATLS) Student Course Manual**. 9th ed. Chicago: American College of Surgeons, 2012.

AZIZAN, M. H.; GO, T. L.; HATTA, W. A. L. W. M.; LIM, C. S.; TEOH, S. S. Comparison of Emergency Medical Services Delivery Performance using Maximal Covering Location and Gradual Cover Location Problems. **International Journal Of Electrical And Computer Engineering (Ijece)**, Yogyakarta, v. 7, n. 5, p. 2791, 1 out. 2017.

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

BALLESTEROS-PEÑA, S.; ABECIA-INCHAURREGUI, L. C.; ECHEVARRÍA-ORELLA, E. Factores asociados a la mortalidad extrahospitalaria de las paradas cardiorrespiratorias atendidas por unidades de soporte vital básico em el País Vasco. **Revista Española de Cardiología**, Madri, v. 66, n. 4, p. 269-274, abr. 2013.

BARRETO, B.; ALEXANDRINO, F.; COELHO, O. Posicionamento de ambulâncias do SAMU através de Programação Inteira e Teoria de Filas. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 23, n. 4, p. 828-841, dez. 2016.

BASSANEZI, C. R. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. 3. ed. São Paulo: Ed. Contexto, 2002.

BÉLANGER, V.; LANZARONE, E.; NICOLETTA, V.; RUIZ, A.; SORIANO, P. A recursive simulation-optimization framework for the ambulance location and dispatching problem. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 286, p. 713-725, 2020.

BITTENCOURT, R. J.; HORTALE, V. A. Intervenções para solucionar a superlotação nos serviços de emergência hospitalar: uma revisão sistemática. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 7, p. 1439-1454, jul. 2009.

BOUTILIER, J. J.; CHAN, T. C. Y. Ambulance emergency response optimization in developing countries. Catonsville. **Operations Research**, [S.l.], v. 68, n. 5, p. 1315-1334, 2020.

BRANAS, C. C.; MACKENZIE, E. J.; REVELLE, C. S. A Trauma Resource Allocation Model for Ambulances and Hospitals. **Health Services Research**, Chicago, v. 35, n. 2, p. 489–507, 2000.

BRANAS, C. *et al.* Access to trauma centers in the United States. **JAMA**, Chicago, v. 293, p. 2626-2633, 2005.

BRASIL. **Portaria n.º 2.048, de 3 de setembro de 2009**. Aprova o Regulamento do Sistema Único de Saúde (SUS). Brasília: do Ministério da Saúde, 2009. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2009/prt2048\\_03\\_09\\_2009.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2009/prt2048_03_09_2009.html). Acesso em: 10 maio 2023.

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

BUZNA, L.; CIMMERMANN, P. On the modelling of emergency ambulance trips: The case of the Žilina region in Slovakia. **Mathematics**, Basileia, v. 9, n. 17, p. 2165-2180, 2021.

CBMERJ – CORPO DE BOMBEIROS DO RIO DE JANEIRO. **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.

CACETTA, L.; DZATOR, M. Heuristics methods for locating emergency facilities. *In*: ZERGER, A.; ARGENT, R. M. (Eds.). *Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND*

SIMULATION, 1., 2005, Canberra. **Proceedings** [...] Canberra: MODSIM, 2005. p. 1744-1750.

CHO, S. H.; JANG, H.; LEE, T.; TURNER, J. Simultaneous location of trauma centers and helicopters for emergency medical service planning. **Operations Research**, [S.l.], v. 62, n. 4, p. 713-824, 2014.

CHRIST, M. *et al.* Modern triage in the emergency department. **Deutsches Ärzteblatt International**, Colônia, v. 107, n. 50, p. 892-898, 2010.

COOKE, M. W. *et al.* Does the Manchester triage system detect the critically ill? **Journal of Accident & Emergency Medicine**, Reino Unido, v. 16, p. 179-181, 1999.

DAVOUDPOUR, H.; MORTAZ, E.; HOSSEINIJO, S. A. A new probabilistic coverage model for ambulances deployment with hypercube queuing approach. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S.l.], v. 70, n. 5, p. 1-15, 2014.

DEGEL, D.; WIESCHE, L.; RACHUBA, S.; WERNERS, B. Time-dependent ambulance allocation considering data-driven empirically required coverage 2015. **Health Care Management Science**, [S.l.], v. 18, n. 4, p. 444-58, 2015.

DEMIROVIC, J.; MYERBURG, R. J. Epidemiology of sudden coronary death: an overview. **Prog Cardiovasc Dis**, [S.l.], v. 10, p. 37-39, 1994.

DESTRI JUNIOR, J. **Sistema de apoio à decisão espacial aplicado ao serviço de atendimento móvel de urgência em vias de trânsito**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DIBENE, J. C. *et al.* Optimizing the location of ambulances in Tijuana, Mexico. **Computers in Biology and Medicine**, Tijuana, v. 1, n. 80, p. 107-115, jan. 2017.

DONABEDIAN, A. The definition of quality: A conceptual exploration. *In*: EXPLORATIONS IN QUALITY ASSESSMENT AND MONITORING, 1., 1980, Michigan. **Proceedings** [...] Michigan: Health Administration Press, 1980. p. 3-31.

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

EISEINBERG, H. M. *et al.* Initial CT findings in 753 patients with severe head injury. A report from the NIH Traumatic Coma Data Bank. **Journal of Neurosurgery**, Rolling Meadows, v. 73, n. 5, p. 688-698, nov. 1990.

ENAYATI, S.; MAYORGA, M. E.; TORO-DÍAZ, H.; ALBERT, L. A. Identifying trade-offs in equity and efficiency for simultaneously optimizing location and multipriority dispatch of ambulances. **International Transactions in Operational Research**, Oxford, v. 26, n. 2, p. 415-438, 2019.

FONTANELLA, J. M.; CARLI, P. Les matériels et les techniques de réanimation pré-hospitalière – Les Unités Mobiles Hospitalière des Samu. **Collection Médecine d'Urgence SAMU**, Paris, v. 31, p. 123-134, 1993.

GANLEY, L. *et al.* Na overview of triage in the emergency department. **Nursing Standard**, Londres, v. 26, n. 12, p. 49-56, 2011.

GAWRYSZEWSKI, V. P.; KOIZUMI, M. S.; MELLO-JORGE, M. H. P. As causas externas no Brasil no ano 2000: comparando a mortalidade e a morbidade. **Cad Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 995-1003, 2004.

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

HAKIMI, S. Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. **Operations Research**, [S.l.], v. 12, p. 450-459, 1964.

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

HIND, J. *et al.* Seasonal variation in trauma admissions to a level III trauma unit over 10 years. **Injury**, Amsterdã, v. 51, n. 10, p. 2209-2218, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. Campos dos Goytacazes. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/campos-dos-goytacazes.html>. Acesso em: 10 maio 2024.

JAGTENBERG, C. J.; VOLLEBERGH, M. A. J.; ULEBERG, O.; RØISLIEN, J. Introducing fairness in Norwegian air ambulance base location planning. **Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine**, Londres, v. 29, n. 1, p. 50-67, 2021.

JÁNOŠÍKOVÁ, L.; GÁBRIŠOVÁ, L.; JEŽEK, B. Load balancing location of emergency medical service stations. **E a M: Ekonomie a Management**, Liberec, v. 1, n. 13, p. 123-136, 2015.

JÁNOŠÍKOVÁ, L.; JANKOVIČ, P.; KVET, M.; ZAJACOVÁ, F. Coverage versus response time objectives in ambulance location. **European Journal of Operational Research**, Amsterdã, v. 10, n. 15, p. 12-27, 2021.

KAVEH, M. *et al.* TDMBBO: a novel three-dimensional migration model of biogeography-based optimization (case study: facility planning and benchmark problems). **Journal of Supercomputing**, Heidelberg, v. 79, p. 9715-9770, 2023.

LAM, S. S. W.; NGUYEN, F. N. H. L.; NG, Y. Y.; LEE, V. P.-X.; WONG, T. H.; FOOK-CHONG, S. M. C.; ONG, M. E. H. Factors affecting the ambulance response times of trauma incidents. *In*: SINGAPORE ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION, 1., 2015, Amsterdã. **Proceedings** [...] Amsterdã: SAAP, 2015.

LEKNES, H.; AARTUN, E. S.; ANDERSSON, H.; CHRISTIANSEN, M.; GRANBERG, T. A. Strategic ambulance location for heterogeneous regions. **European Journal Of Operational Research**, Amsterdã, v. 260, n. 1, p. 122-133, jul. 2017.

LIU, Y *et al.* A double standard model for allocating limited emergency medical service vehicle resources ensuring service reliability. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Oxford, v. 69, p. 120-133, 2016.

LOPES, S. L. B.; FERNANDES, R. J. Uma breve revisão do atendimento médico pré-hospitalar. São Paulo. **Revista do Hospital das Clínicas e da Universidade Federal de São Paulo**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2021.

NEVES, A. C.; LIMA, J. A. Análise e otimização do sistema de ambulância no município de Juiz de Fora. **Revista Brasileira de Pesquisa em Saúde**, Vitória, v. 16, n. 3, p. 243-250, 2021.

RODRIGUES, A. M. S.; SIMÕES, A. G.; FERREIRA, J. J. Analyzing the impact of new ambulance stations on emergency response times using simulation models. **Simulation Modelling Practice and Theory**, Amsterdã, v. 10, p. 1-15, 2017.

SACCO, W. *et al.* Precise formulation and evidence-based application of resource constrained triage. Des Plaines. **Academic Emergency Medicine**, [S.l.], v. 12, p. 759-770, ago. 2005.

SANTOS, C. L.; CORDOVIL, C. R. Modelos e estratégias para a otimização de serviços de emergência. **Revista Brasileira de Pesquisa em Saúde**, Vitória, v. 21, n. 2, p. 185-197, 2020.

SANTOS, C. L.; CORDOVIL, C. R. Uma abordagem quantitativa para a gestão de recursos de serviços de emergência. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 75, p. 1-8, 2019.

SOUSA, J. L.; TORO, F. A. Otimização da localização de ambulâncias para o atendimento de emergências em áreas urbanas. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 47-63, 2021.

TORO-DÍAZ, H.; ALBERT, L. A. Integrating fairness into emergency medical services optimization. **Computers & Industrial Engineering**, Amsterdã, v. 78, p. 110-117, 2019.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3. São Paulo: Atlas, 2000.

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

XU, C.; LI, J.; LI, M.; ZHANG, J. A novel approach for dynamic ambulance deployment with real-time traffic information. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Amsterdã, v. 65, p. 110-123, 2020.

YANG, W.; SU, Q.; HUANG, S. H.; WANG, Q.; ZHU, Y.; ZHOU, M. Simulation modeling and optimization for ambulance allocation considering spatiotemporal stochastic demand. **Journal of Management Science and Engineering**, [S.l.], v. 4, p. 252-265, 2019.

YU J.-Y.; HUANG, K.-L. Improving emergency medical services with time-region-specific cruising ambulances Springer Proceedings in Mathematics and Statistics **Healthcare**, [S.l.], v. 13, p. 150-165, 2017.

YUNUS, S.; ABDULKARIM, I. A. Road traffic crashes and emergency response optimization: a geo-spatial analysis using closest facility and location-allocation methods. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [S.l.], v. 3, p. 1535-1555, 2022.

ZAHEERUDDIN, A.; GUPTA, H. An optimized deployment plan of ambulances for trauma patients. **International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration**, [S.l.], v. 67, p. 1567-1578, 2022.

ZENG, J.; CHEN, W.; CHEN, W.; WANG, Y.; LI, X. Optimization of pre-hospital first aid management strategies for patients with infectious diseases in huizhou city using deep learning algorithm. **Acta Clinica Croatica**, [S.l.], v. 62, n. 1, p. 131-140, 2023.

ZHENG, Z. J.; CROFT, J. B.; GILES, W. H.; MENSAH, G. A. Sudden cardiac death in the United States, 1989 to 1998. **Circulation**, [S.l.], v. 104, p. 2158-2163, 2001.