



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências da Saúde Departamento de Medicina
Mestrado Profissional em Gestão, Tecnologia e Inovação em
Urgência e Emergência



Victor Szabo

**COBERTURA POPULACIONAL E TEMPO RESPOSTA DAS
AMBULÂNCIAS DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO MÉDICO DE
URGÊNCIA NO MUNICÍPIO DE ARAPONGAS, PARANÁ**

Maringá 2024

Victor Szabo

**COBERTURA POPULACIONAL E TEMPO RESPOSTA DAS
AMBULÂNCIAS DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO MÉDICO DE
URGÊNCIA NO MUNICÍPIO DE ARAPONGAS, PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Gestão, Tecnologia e Inovação em Urgência e Emergência da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Inovação em Urgência e Emergência.

Área de Concentração: Tecnologia e Inovação em Urgência e Emergência.

Orientador: Prof. Dr . Luciano de Andrade

Maringá

2024

**Dados Internacionais de
Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial do Hospital Universitário da
Universidade Estadual de Maringá, Maringá – PR., Brasil)**

S996c	Szabo, Victor Cobertura populacional e tempo resposta das ambulâncias do serviço de atendimento médico de urgência no município de Arapongas, Paraná / Victor Szabo. -- Maringá, PR, 2025. 123 f. : il., figs., tabs. Orientador: Prof. Dr. Luciano de Andrade. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências da Saúde, Departamento de Medicina, Programa de Pós-graduação em Gestão, Tecnologia e Inovação em Urgência-PROFURG, 2024. 1.Serviços médicos de emergência. 2. Assistência pré-hospitalar. 3.Transportes de pacientes. 4. Análise espacial. 5. Área de cobertura dos serviços de saúde. 6. Simulação por computador. 7. Ambulância. 7. I.Andrade, Luciano de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências da Saúde. Departamento de Medicina. Programa de Pós-graduação em Gestão, Tecnologia e Inovação em Urgência e Emergência-PROFURG.III.Título. CDD 23.ed. 616.025
-------	--

FOLHA DE APROVAÇÃO

Victor Szabo

COBERTURA POPULACIONAL E TEMPO RESPOSTA DAS AMBULÂNCIAS DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO MÉDICO DE URGÊNCIA NO MUNICÍPIO DE ARAPONGAS, PARANÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Gestão, Tecnologia e Inovação em Urgência e Emergência da Universidade Estadual de Maringá, como pré-requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Tecnologia e Inovação em Urgência e Emergência pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Luciano de Andrade

Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Alessandro Filla Rosaneli

Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Sanderland José Tavares Gurgel

Universidade Estadual de Maringá.

Aprovado em: 05/06/2024

Local da defesa: DMD sala 12

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, por me capacitar e me fazer perseverar nos meus objetivos.

Ao meu orientador, Profº Drº Luciano de Andrade, pela oportunidade do crescimento profissional através da Educação. Obrigado pela sua dedicação, competência e profissionalismo, essenciais ao desenvolvimento dessa pesquisa, a quem tenho grande admiração, carinho e respeito. Sem o seu voto de confiança, jamais alcançaria tudo o que estou conquistando. A você minha eterna gratidão.

A todos os docentes do Programa de Mestrado Profissional em Gestão, Tecnologia e Inovação em Urgência da Universidade Estadual de Maringá que tive oportunidade de conhecer durante esta etapa contribuindo imensamente para o meu crescimento profissional.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Alessandro Filla Rosaneli e Prof. Dr. Sunderland Gurgel por disponibilizarem tempo e conhecimento para finalização deste trabalho.

A Miyoko Massago, Vinícius Giacomini e Carlos Eduardo Arruda, por suas valiosas contribuições para a realização deste trabalho.

A todos, que direta ou indiretamente ajudaram em meu trabalho, o meu sincero agradecimento.

...Se a implementação é difícil de explicar, é por que é uma má ideia.
Se a implementação é fácil de explicar, pode ser que seja uma boa ideia...

Tim Peters.

Cobertura populacional e tempo resposta das ambulâncias do serviço de atendimento médico de urgência no município de Arapongas, Paraná

RESUMO

A redução do tempo de resposta no atendimento médico extra-hospitalar é fundamental para a sobrevivência dos pacientes, principalmente os críticos. Porém, a localização geográfica dos serviços médicos, tais como a base das ambulâncias do Serviço de Atendimento Médico de Urgência (SAMU), podem influenciar na cobertura populacional, desfavorecendo a população residente em regiões mais distantes da base, e consequentemente no tempo de atendimento extra-hospitalar. Assim, o objetivo desta pesquisa é analisar a cobertura territorial, populacional e o tempo resposta das ambulâncias do Serviço Médico de Urgência (SAMU) do município de Arapongas, Paraná, por meio da análise geoespacial e uso de modelos de simulação computacional. Trata-se de um estudo observacional, ecológico de corte transversal que propõe realizar uma simulação geoespacial para indicar o melhor local para a locação de uma base de ambulâncias em um município de médio porte no Brasil. Para isso foram utilizados dados secundários para avaliar as coberturas por meio da técnica denominada Problema de localização de cobertura máxima (*Maximal Covering Location Problem - MCLM*). Com base nestas informações foram realizadas simulações para determinar a melhor região da cidade para alocação de uma base do SAMU. Como principais resultados a média atual do tempo resposta do município foi de 14.9 ± 8.77 minutos, com idade média de 48 ± 24.47 anos dos pacientes atendidos, sendo 618 chamados de origem clínica e 401 traumas. As simulações demonstraram que o melhor local para a central da ambulância era a atual, porém com duas estações de ambulâncias a cobertura melhorava tanto o número de ocorrências quanto na cobertura populacional. Conclui-se que, apesar de a central atual ser a de melhor local quando considerada apenas uma base, ela é insuficiente para a demanda atual do município e a alocação de uma segunda base pode levar a uma melhoria de todos os parâmetros analisados. Assim, as informações obtidas no presente estudo poderão auxiliar os gestores a determinarem o melhor local para uma base do SAMU a fim de aumentar a sobrevivência, principalmente dos pacientes críticos.

Palavras-chave: Transporte de Pacientes, Serviços Médicos de Emergência, Análise Espacial, Área de Cobertura dos Serviços de Saúde, Simulação por Computador, Ambulância, Assistência Pré-Hospitalar.

ABSTRACT

The reduction of response time in prehospital medical care is crucial for survival, especially for critical patients. However, the geographical location of medical services, such as the ambulance base of the Emergency Medical Service (EMS), can influence population coverage, disadvantaged residents in more distant regions from the station, and consequently affecting extra-hospital response time. The main objective of this research was to analyze the territorial and population coverage, as well as the response time of ambulances from the Emergency Medical Service (EMS) in the municipality of Arapongas, Paraná, through geospatial analysis and the use of computational simulation models. This is an observational, cross-sectional ecological study that proposes to simulate the best location for ambulance base placement. Secondary data will be used to assess response time, population coverage, and territorial coverage using the Maximal Covering Location Problem technique. Based on this information, simulations will be conducted to determine the optimal region for EMS base allocation. As main results, the average response time for the municipality was 14.9 ± 8.77 minutes, with a mean age of 48 ± 24.47 years for treated patients. There were 618 clinical origin calls and 401 trauma cases out of 1019. Simulations could identify the location for an ambulance station, and for even better coverage, two stations could be allocated for comparisons. The simulations demonstrated good performance, and the information obtained in this study may assist managers in determining the best location for an EMS base to increase the survival rate, especially for critical patients.

KEYWORDS: Patient Transport, Emergency Medical Services, Spatial Analysis, Health Service Coverage Area, Computer Simulation, Ambulance, Pre- Hospital Care.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do município de Arapongas no estado do Paraná.....	44
Figura 2: Limites de Isocronia para uma base.....	53
Figura 3: Limites do tempo de deslocamento.....	55
Figura 4: Mediana dos tempos de deslocamento.....	56
Figura 5: Mediana dos tempos de deslocamento de cada cenário correspondente.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHA	American Heart Association.
APH	Atendimento pré-hospitalar.
AESP	Atividade elétrica sem pulso.
ANZCOR	Australian and New Zealand Committee on Resuscitation.
ATP	Adenosina trifosfato.
ASC	American College of Surgeons.
DEA	Desfibrilador externo automático.
ERC	European Resuscitation Council.
FV	Fibrilação ventricular.
GPS	Global Positioning System.
IAM	Infarto agudo do miocárdio.
ILCOR	International Liaison Committee on Resuscitation.
LSCM	Location Set Covering Model.
MCLP	Maximal Covering Location Problem.
OMS	Organização Mundial de Saúde.
OPAS	Organização Panamericana de Saúde.
PCR	Parada cardiorrespiratória.
QGIS	Quantum Geographic Information System.
RCA	InterAmerican Heart Foundation e Resuscitation Council.
RCE	Retorno da circulação espontânea.
RCP	Reanimação cardiopulmonar.
RCSA	Resuscitation Council of Southern Africa.
SAMU	Serviço de Atendimento Médico de Urgência.
SAVC	Suporte Avançado de Vida em Cardiologia.
SESA	Secretaria da Saúde do Estado do Paraná.
TARM	Técnico Auxiliar de Regulação Médica.
TV	Taquicardia ventricular.

Dissertação elaborada e formatada
conforme as normas da ABNT (Capítulo I)
e da publicação científica (Capítulo II)
Conclusão (Capítulo III)

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1.1. Introdução.....	01
1.2. Lacuna da Literatura.....	03
1.3. Revisão da Literatura.....	04
1.3.1. O Atendimento Pré-hospitalar.....	04
1.3.2. O Trauma no atendimento Pré-hospitalar	07
1.3.2.1. Etiologia do Trauma.....	07
1.3.2.2. Evolução da Mortalidade no Contexto do Trauma.....	07
1.3.2.3. O Atendimento ao Traumatizado.....	08
1.3.3. Atendimento Clínico na Emergências Pré-hospitalares.....	10
1.3.3.1. Doenças Cardiovasculares e a Parada Cardiorrespiratória.....	11
1.3.3.1.1. Etiologia.....	11
1.3.3.1.2. Fisiopatologia da Parada Cardiorrespiratória.....	12
1.3.3.1.3. Modalidades da Parada Cardiorrespiratória.....	13
1.3.3.1.4. Reanimação Cardiopulmonar.....	14
1.3.2. Cobertura x Tempo Resposta na Alocação das Bases das Ambulâncias.....	17
1.3.3. Técnica de Location-Allocation.....	19
1.4. Justificativa.....	20
1.5. Objetivos.....	21
1.5.1. Objetivo Geral.....	21
1.5.2. Objetivos Específicos.....	21
1.6. Referências	23

CAPÍTULO II

2.1. Introdução.....	41
2.2. Materiais e Métodos.....	43
2.2.1. Tipo e local do estudo.....	43
2.2.2. Fonte de dados.....	45
2.2.3.1. Seleção das ocorrências.....	45

2.2.4. Análise Geoespacial.....	46
2.2.5. Modelagem Matemática.....	46
2.2.5.1. Delimitando pontos de demanda.....	48
2.2.5.2. Escolha das bases candidatas.....	49
2.2.5.3. Geração das matrizes de tempo.....	50
2.2.5.4. Definição dos cenários.....	50
2.2.5.5. Comparação do tempo de deslocamento das ambulâncias.....	51
2.3. Aspectos Éticos.....	52
2.4. Resultados.....	52
2.5. Discussão.....	58
2.6. Conclusão.....	61
2.7. Referências.....	61

3. CAPÍTULO III

3.1. Conclusão.....	68
3.2. Perspectivas Futuras.....	68

CAPÍTULO I

1.1. Introdução.

Com o crescimento populacional, é inevitável observar um considerável aumento no número de acidentes de trânsito e outras ocorrências graves tais como paradas cardiorrespiratórias, ferimentos por arma de fogo e desastres naturais. Esse aumento de eventos críticos repercute diretamente no crescimento proporcional dos custos dos sistemas de saúde em escala global (Nogueira Junior, Pinto, Silva, 2014). No Brasil, entre os anos 2010 e 2019, houve um aumento de 13,5% das mortes no trânsito em números absolutos em relação à década anterior e a taxa de mortalidade por 100 mil habitantes cresceu 2,3% neste período (Carlos e Guedes, 2023). Considerando o Infarto Agudo do Miocárdio (IAM), o levantamento do Instituto Nacional de Cardiologia mostra um aumento em 158% das internações para esta doença no Brasil entre os anos de 2008 e 2022 (Instituto Nacional de Cardiologia, 2023).

No Paraná os números de atendimentos pré hospitalares também têm aumentado. No ano de 2019, 520.502 pessoas foram atendidas pelo serviço, somando cerca de 1.637 pacientes por dia e 49.097 por mês. Esse número de atendimentos dobrou no ano seguinte, que contou com 1.055.448 pacientes no ano, sendo 2.932 a média diária e 87.954 ao mês. (SESA, 2022). Em 2021, o número de atendimentos seguiu aumentando, desta vez com 1.118.961 atendimentos, sendo 3.128 a média/dia e 93.832 a média mensal. No ano de 2022, dados preliminares revelam um cenário constante, com 1.198.447 ocorrências até novembro, o que representa uma média diária de 3.631 e 108.949 ao mês (SESA, 2022).

O aumento significativo no número de ocorrências apresenta um desafio considerável para os gestores públicos, que buscam fornecer serviços de atendimento médico de emergência que atendam adequadamente às necessidades da população (Cabral et al., 2018). Nesse cenário, o atendimento pré-hospitalar desempenha um papel vital ao oferecer assistência médica e transporte a pacientes críticos. No entanto, a complexa tarefa de determinar a localização e o número adequado de estações de ambulância, especialmente diante de pressões financeiras, nem sempre é executada de maneira eficaz (Liu, 2017).

Dentro desse contexto, o critério de maior importância para o atendimento pré-hospitalar é o tempo de resposta. Esse indicador crucial refere-se ao intervalo entre o recebimento de uma chamada solicitando socorro e a chegada de uma ambulância ao local.

Estudos indicam que a probabilidade de óbito ou incapacidade permanente está diretamente associada ao tempo de resposta do chamado (Sarac & Özer, 2014).

Essa correlação enfatiza a necessidade crítica de otimizar não apenas a distribuição das estações de ambulância, mas também garantir que o tempo de resposta seja minimizado para melhorar os resultados clínicos e a sobrevivência dos pacientes atendidos.

Após um acidente grave de trânsito, 10% das mortes ocorrem em até 5 minutos e 60% em até 30 minutos (Terzi *et al.*, 2013). Do total dessas mortes, até 50% ocorrem ainda no local do acidente e 16% ocorrem durante o transporte para o hospital (Hashtarkhani *et al.*, 2023).

No Brasil (2023), foram registradas 30.000 mortes decorrentes de acidentes automobilísticos em 2022 e aproximadamente 3.270 óbitos por parada cardiorrespiratória em 2021, conforme dados do DATASUS. Estudos indicam que muitas dessas vidas poderiam ser salvas com a implementação de serviços de atendimento pré-hospitalar mais eficientes (Gonzales *et al.*, 2019; Cummins, 1989; Terzi *et al.*, 2013).

“...o momento favorável para intervir passa rapidamente e a morte pode ocorrer se houver muita demora.” (Hipócrates, 400 a.C. apud Feriani *et al.*, 2015). O tempo é um tema na medicina desde os seus primórdios e com a estruturação e constante evolução dos serviços de APH ele tem se tornado cada vez mais importante (Feriani *et al.*, 2015). Em 1979 Eisenberg *et al.*, relataram que a sobrevivência em casos de parada cardíaca pré-hospitalar testemunhada era maximizada quando o tempo entre o colapso e a ressuscitação cardiopulmonar (RCP) e o tempo entre o colapso e o cuidado definitivo (ou seja, desfibrilação) eram de 4 e 8 minutos, respectivamente. A partir deste estudo, muitos sistemas de Serviço de Atendimento Móvel de Urgência adotaram um tempo de resposta de 8 minutos para unidades de Suporte Avançado de Vida em casos de eventos que representam risco iminente à vida (Blanchard *et al.*, 2012). De acordo com alguns autores a Organização Mundial de Saúde, preconiza um tempo de resposta ideal a emergências médicas de 8 minutos, meta que deve ser atingida em até 90% dos chamados, um padrão já adotado em várias regiões pelo mundo (Nogueira Junior, Pinto, Silva, 2014, Rhodes, 2023; Reuter-Oppermann, 2017; Olivos & Caceres, 2020). Para um melhor estudo e comparação, esse tempo resposta pode ser dividido em Tempo de Regulação que deve levar 2 minutos e Tempo de Deslocamento que deve ser realizado em 6 minutos (Forastieri *et al.*, 2022

FORASTIERI, Helton Luis Ayello; FERRAZ DE ARAUJO, Carolina Mendonça; MENDONÇA JUNIOR, Anderson de Souza; COSTA FORASTIERI, Higner Luis. Tempo resposta no SAMU – 192 e suas implicações. Cadernos UniFOA. v. 17 n. 49 2022.).

No entanto, no Brasil, a ausência de regulamentação específica para o tempo de resposta em atendimentos a pacientes graves é apontada por estudos como os de Takeda et al. (2007) e Cabral et al. (2018), destacando uma área crítica que necessita de atenção e melhorias.

Na saúde, decisões equivocadas sobre a localização de instalações, têm um impacto significativo na comunidade. Instalações de difícil acesso, podem estar diretamente ligadas ao aumento na mortalidade e morbidade, o que torna a tomada de decisão para a alocações na área de saúde mais crítica que em outras áreas do serviço público (Ahmadi-javid, 2017).

Dado que o tempo resposta é um fator crítico na redução das taxas de mortalidade e morbidade, a determinação e a implantação otimizada (localização ou realocação) dessas bases, assume uma importância fundamental (Berg *et al.*, 2019).

Os gestores então deparam-se com vários desafios de logística para serem enfrentados para a melhor decisão na alocação de recursos (Kazemi, 2012). Porém, existem ferramentas e tecnologias que podem ser implementadas tais como Sistemas de Informação Geográficos. Essas ferramentas têm sido usadas na saúde pública em diversas aplicações, inclusive para alocação e planejamento de centrais de ambulâncias (Brotcorne, 2003).

A presente dissertação pretende responder às seguintes inquietações: O tempo resposta para a cidade de Arapongas é adequado? A atual base do município está em local adequado? Qual seria o número ideal de bases para o município? Para melhor elucidar tais perguntas, a revisão de literatura irá introduzir uma discussão subjetiva sobre o atendimento pré - hospitalar e como a modelagem computacional pode ajudar no planejamento e alocação de centrais de ambulâncias.

1.2. Lacuna da Literatura.

A literatura carece de análises abrangentes sobre a cobertura populacional e o tempo de resposta das ambulâncias dos Serviços Médicos de Urgência no Brasil e em países com condições socioeconômicas e de infraestrutura semelhantes. A busca por atender pacientes

dentro do intervalo de tempo resposta ideal , é um desafio pouco explorado na literatura existente (Nogueira Junior, Pinto, Silva, 2014). Enquanto a maioria dos estudos concentra-se na aplicação de técnicas geoespaciais para otimizar empiricamente a localização das estações de ambulâncias, há uma notável lacuna de investigações que empreguem modelos matemáticos e simulações computacionais para avaliar os locais ideais que proporcionam eficiência operacional (Takeda *et al.*, 2007). Assim, a falta de uma análise detalhada sobre como as mudanças na localização da central de ambulâncias influenciam diretamente na cobertura efetiva do serviço e no tempo de resposta, às chamadas de emergência representa um espaço significativo para contribuições nesse campo de pesquisa.

1.3. Revisão da Literatura.

1.3.1. O Atendimento Pré-hospitalar.

O atendimento pré-hospitalar (APH) surgiu da necessidade de prover cuidados imediatos e essenciais a pacientes com ameaça iminente à vida (Elbaz-greener *et al*, 2021). No Brasil, sua criação ocorreu por meio de um acordo bilateral entre Brasil e França e através do decreto 5055/2004 do Ministério da Saúde foi implantado o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) no Sistema Único de Saúde (Sala de apoio [...] , 2012, Lopes, 2003).

Inicialmente este serviço entrou em atividade nas capitais dos estados brasileiros. Porém, hoje ele está presente em pelo menos 3618 municípios do país, atingindo uma área de cobertura populacional de 83% no Brasil (Pacheco, 2022). No Paraná são 399 municípios com atuação do SAMU, o que corresponde a uma cobertura municipal de 100%. O serviço conta com 12 centrais de Regulação de Urgência, que mobilizam 186 ambulâncias de suporte básico e outras 57 de suporte avançado, além de cinco helicópteros e um avião para atendimento e remoção em locais de difícil acesso. O município de Arapongas conta com 1 central de ambulâncias que contém 1 veículo de suporte avançado e 3 de suporte básico, sendo a Central de Regulação localizada na cidade de Apucarana, a 20.4 km do município.

O fluxo de atendimentos do SAMU tem início com os pedidos de ajuda para agravos agudos à saúde, que são acolhidos através do telefone 192, podendo ser de origem clínica, psiquiátrica, traumática, cirúrgica, ginecológica, pediátrica e obstétrica. O chamado é inicialmente identificado e localizado por um Técnico Auxiliar de Regulação Médica

(TARM), sendo na sequência julgado por um Médico Regulador que classifica o nível de urgência, ministra orientações e define o tipo de recurso necessário exclusivamente para aquele tipo de chamado. O Operador de Radiocomunicação tem então a responsabilidade de acionar o recurso designado podendo ser feito o contato por rádio, telefone, ou aplicativo de comunicação, informando a localização, gravidade e detalhes do chamado à equipe designada para o atendimento. O Médico Regulador também exerce outras atividades que vão além de classificar os chamados. Ele exerce atividades técnicas, administrativas, gerenciando conflitos e poderes, sempre no sentido de garantir acesso ao recurso mais adequado a cada necessidade e propiciando um adequado fluxo de usuários na Rede de Atenção às Urgências (Gentil, 2006, Pereira *et al.*, 2023).

Dentre todos os tipos de recursos que podem ser empregados pelo SAMU, as ambulâncias do tipo B (suporte básico) e tipo D (suporte avançado) são as mais empregadas (Battisti *et al.*, 2019). Ambulância de Suporte Básico: são veículos destinados ao transporte inter-hospitalar de pacientes com risco de vida conhecido e que não venham apresentar piora do quadro, ao atendimento pré hospitalar de pacientes com risco de vida desconhecido e não classificados com potencial necessidade de intervenção médica no local ou durante o transporte. É tripulada por um motorista e um técnico ou auxiliar de enfermagem. Ambulância de Suporte Avançado: veículo destinado aos atendimentos e transporte de pacientes de alto risco em emergências pré-hospitalares ou de transporte inter-hospitalar que necessitam de cuidados médicos intensivos. Deve contar com os equipamentos médicos necessários para esta função. Tripulada por três profissionais, sendo um motorista, um enfermeiro e um médico (Brasil, 2012).

A função primordial do SAMU é responder de forma organizada, a fim de evitar o uso excessivo de recursos. Desde o primeiro contato telefônico até a liberação das vítimas ou seus encaminhamentos aos serviços de referência. O sistema deve determinar e responder o mais adequado possível a cada caso, assegurar a disponibilidade dos meios hospitalares, escolher o tipo de transporte exigido e assegurar o acolhimento dos pacientes nos serviços de saúde. Ele ocupa-se ainda em conhecer a magnitude, caracterização e tendências no que diz respeito ao tempo médio de resposta dos atendimentos de urgência, percentual de atendimento por meio de intervenção básica e avançada e tipos de atendimentos, propiciando uma postura mais pró-ativa frente a morbidade/mortalidade (Sala de apoio [...], 2012).

O APH é um dos importantes marcadores de qualidade da saúde da população. Também pode auxiliar na identificação de agravos não esperados ou até mesmo recorrentes, como uma alta incidência de atropelamentos que se repetem em uma determinada região, crises asmáticas, dentre outros (Gentil, 2006). Para o planejamento, implantação e implementação da regionalização, interiorização e ampliação do acesso ao SAMU 192 no Brasil, deverá ser utilizado, prioritariamente, o parâmetro de tempo resposta, ou seja, o tempo adequado tecnicamente transcorrido entre a ocorrência do evento de urgência e emergência e a intervenção necessária (Brasil, 2012).

A dependência direta do tempo resposta dos serviços de APH encontram uma justificativa maior quando se percebe a relação do curto período de tempo que as patologias atendidas por esse serviço demandam, estando associadas a um melhor prognóstico quando este curto período de tempo é atingido (Liu *et al.*, 2014). Como é o caso da parada cardíaca, que a cada minuto de atraso no resgate diminui a taxa de sobrevivência de 7-10%. Também foi observado que se a reanimação cardiopulmonar (RCP) for feita dentro de 5 minutos desde o instante da parada cardiorrespiratória (PCR) e a desfibrilação ocorrer dentro de 10 minutos, a porcentagem de sobrevivência até a alta hospitalar é de 30%, caso contrário a taxa de sobrevida reduz em torno de 7% a 10% (Bernoche *et al.*, 2019).

No atendimento a vítimas de trauma, o fator tempo é crucial para a sobrevivência. A noção da 'Hora de Ouro', introduzida pelo Dr. R. Adams Cowley em 1975, sustenta que pacientes de trauma têm uma janela crítica de 60 minutos para receber cuidados em um centro de trauma para maximizar as chances de sobrevivência. Essa ideia foi mais tarde complementada pelo conceito dos 'platinum 10 minutes' do estudo de Quebec em 1990, que preconiza que os socorristas devem limitar o tempo de permanência no local do acidente a no máximo 10 minutos para agilizar o transporte ao hospital. Avançando para os tempos modernos, o estudo de Blackwell & Kaufman em 2002 recomenda que o tempo de resposta dos socorristas deve ser de 5 e, idealmente, até 4 minutos, enfatizando uma resposta ainda mais rápida para aumentar as taxas de sobrevivência em emergências traumáticas. (Cowley, 1975, Rogers, 2015, Blackwell & Kaufman 2002).

Um tempo resposta eficiente tem se tornado cada vez mais crucial. Uma abordagem efetiva para assegurar um rápido e adequado deslocamento, consiste em estabelecer uma localização estratégica para a central de ambulâncias. Ao posicionar a central de maneira

otimizada, é possível melhorar o deslocamento reduzindo o tempo de resposta para um maior número de ocorrências. Essa estratégia visa não apenas a eficiência operacional, mas também a maximização do suporte a situações emergenciais. (Toregas *et al.*, 1971, Carvalho, 2019, Yavari, 2022).

1.3.2. O Trauma no atendimento Pré-hospitalar.

Do grego *trauma* que significa ferida, é também um termo usado pelo Colégio Americano de Cirurgiões, *American College of Surgeons* (ASC) para se referir a alterações fisiológicas e estruturais de um organismo decorrentes de várias formas de energia, podendo ser mecânica, elétrica ou química (Moraes *et al.*, 2015).

O atendimento ao trauma no ambiente pré-hospitalar desempenha um papel crítico na assistência médica de emergência, garantindo que pacientes gravemente feridos recebam cuidados imediatos e adequados antes de chegarem ao hospital. O trauma, muitas vezes resultado de acidentes automobilísticos, quedas, ferimentos por arma de fogo ou outras causas externas, representa uma das principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo e no Brasil (Franck *et al.*, 2021, Simões *et al.*, 2012).

1.3.2.1. Etiologia do Trauma.

Todos os anos, aproximadamente 5 milhões de pessoas perdem suas vidas por causas traumáticas sendo 10% de todas as mortes no mundo (Lara de Paulo *et al.*, 2021). No Brasil, no ano de 2021, foram 149322 óbitos por causas externas, destas 45562 por agressões, 35032 por acidentes de transporte e quase 16000 por lesões provocadas voluntariamente (DATA-SUS).

Os fatores de risco responsáveis pela grande parte das lesões traumáticas no mundo e principalmente nos países em desenvolvimento podem incluir o álcool ou substâncias ilícitas. Inadequado controle de segurança de produtos potencialmente perigosos e de fácil acesso como drogas, armas de fogo, facas e pesticidas. Falha nas redes sociais de segurança, falha nos sistemas de justiça (WHO, 2024). E também a inadequada aplicação, consistência e efetividade dos serviços primários responsáveis pelo atendimento ao trauma (Rossiter, 2022).

1.3.2.2. Evolução da Mortalidade no Contexto do Trauma.

A mortalidade devida ao trauma pode ser observada como uma distribuição trimodal. Descrita primeiramente por Trunkey et al em 1983, onde o primeiro pico ocorre nos primeiros segundos a minutos após o trauma o que é decorrente a lesões fatais como parada respiratória resultado de traumatismos cerebrais ou da medula espinhal alta e também a ruptura do coração, aorta e outros grandes vasos. O segundo pico ocorre de minutos a várias horas, consequente a lesões graves, geralmente devidas a hematoma subdural e epidural, hemopneumotórax ruptura esplênica e ou do fígado, fraturas de pelve e outras lesões que resultem em perda significativa de sangue. O terceiro pico ocorre de vários dias a semanas após o trauma, devido a complicações, como sepse e falência múltipla de órgãos (ATLS, 2018).

O primeiro pico de mortalidade do trauma é decorrente de lesões graves e frequentemente fatais, apesar de o estudo de Wilson *et al.*, 2011 ter demonstrado que até 1% das mortes do primeiro pico podem ser evitadas com intervenção rápida na cena. Gallaher, 2023 afirma que apenas a prevenção pode ser empregada na sua redução. No segundo pico da distribuição trimodal o atendimento pré-hospitalar se torna o principal elo para o sucesso no atendimento pós-trauma quando se é realizada avaliação, reanimação e transporte rápido das vítimas. No terceiro pico, devido ao paciente estar em ambiente hospitalar, pode exercer apenas uma pequena influência do atendimento primário (Sueoka & Abgussen, 2019).

1.3.2.3. O Atendimento ao Traumatizado

O conceito de cuidado quando desempenhado de uma forma sistemática e a boa comunicação da equipe de regulação, equipe de cena, solicitante e se possível a vítima, é o que garante o primeiro contato com o traumatizado de forma eficaz. Este é um conceito básico que é ensinado nos mais diversos treinamentos destinados aos profissionais de saúde que atendem ao trauma em ambiente pré-hospitalar (Wilkinson, Sinner, 2018).

Quando um chamado de emergência é recebido, a central de regulação prontamente notifica a equipe apropriada. Antes de partir, essa equipe equipa-se com os necessários equipamentos de proteção individual, garantindo sua própria segurança desde o início da ocorrência. Embora a rapidez seja essencial, a equipe deve aderir aos limites de velocidade e priorizar a segurança de todos durante o deslocamento. Ao chegarem ao local do trauma, o primeiro passo é assegurar que a cena seja segura para atendimento. Dependendo do

incidente, como em acidentes de trânsito, medidas de sinalização são adotadas para prevenir riscos adicionais, podendo incluir a alteração do fluxo de tráfego. Em situações de violência, a equipe deve aguardar a chegada do apoio policial antes de aproximar-se, para evitar confronto com possíveis agressores. Ademais, em ambientes com riscos de incêndio, eletricidade ou substâncias químicas, a equipe deve comunicar-se com a central de regulação e aguardar por especialistas capazes de manejar tais perigos, assegurando a proteção de todos envolvidos (Feriani *et al.*, 2015).

Deve-se realizar a aproximação do paciente, identificar-se, e avaliar a responsividade (chamar o paciente) e permeabilidade das vias aéreas, enquanto é executada simultaneamente a estabilização manual da coluna cervical e inicia-se a verificação da respiração. Na sequência a circulação do paciente deve ser avaliada e o estado neurológico. Deverá então seguir-se a exposição do paciente, tais passos consistem na avaliação primária do paciente, e após essa avaliação inicial deverá ser realizado contato com a regulação para definir a unidade de saúde de destino (Trino *et al.*, 2016).

Após realizada a avaliação primária e o contato com a regulação, segue-se a avaliação secundária. Ela não deve ter início até que os esforços de ressuscitação estejam em andamento (caso necessário) e ou a melhora dos sinais vitais do paciente tenha sido demonstrada. Quando há disponibilidade de equipe, parte da avaliação secundária pode ser conduzida enquanto a primária é realizada, desde que não interfira com esta. A avaliação secundária examina o paciente da cabeça aos pés devendo ainda ser realizada uma história completa acompanhada por exame físico e reavaliação periódica de todos os sinais vitais. Inicia-se com sinais vitais e antecedentes a oximetria de pulso e a glicemia deverão ser verificadas se disponível. Na sequência é realizado o exame da cabeça aos pés, frente e dorso, com o objetivo de localizar: ferimentos, sangramentos, afundamentos, desvios, hematomas, alterações na cor da pele ou mucosas, assimetrias, instabilidades, alterações de motricidade e sensibilidade com a inspeção seguida de palpação, ausculta e percussão (Norman, 2017, Trino *et al.*, 2016).

A avaliação da cinemática do trauma é um recurso importante no atendimento pré-hospitalar e de extrema importância para o atendimento hospitalar a posteriori. Tem por objetivo relacionar o mecanismo do trauma à presença de lesões específicas o que vem a ampliar a capacidade de suspeição para a presença de lesões e a tomada de decisão. Deverá

ser compreendido os mecanismos de lesão, identificação de lesões ocultas, priorização da avaliação, decisão sobre imobilização e transporte e previsão de lesões específicas. O entendimento da cinemática é essencial para uma abordagem sistemática e abrangente. Ela orienta as decisões de avaliação, imobilização, transporte e comunicação, contribuindo para a prestação de cuidados de emergência eficazes e personalizados a cada paciente. A resposta rápida e eficaz a essas situações, principalmente com um tempo resposta ótimo é essencial para melhorar as chances de sobrevivência e minimizar sequelas. O atendimento a uma vítima de trauma no APH deve contemplar todos os passos do atendimento ao politraumatizado. A sistematização garante diagnóstico rápido e tratamento com otimização do tempo. O mecanismo de lesão, forças de lesão, localização da lesão, e o estado hemodinâmico do paciente determinam a prioridade e o melhor método de avaliação. (Rios *et al.*, 2018)

1.3.3 Atendimento Clínico nas Emergências Pré-hospitalares.

O Sistema Único de Saúde (SUS) cumpre uma missão vital ao proporcionar assistência imediata a indivíduos diante de emergências médicas, salvaguardando a saúde e potencialmente a vida da população. No núcleo dessa resposta, destaca-se o serviço de urgência e emergência, um componente crucial do SUS, voltado principalmente para o atendimento pré-hospitalar (Lima & Santana Neto, 2021). Algumas pesquisas isoladas mostram uma taxa de predomínio no número de atendimentos clínicos no Brasil, principalmente os de causa cardíaca e neurológicas (Almeida *et al.*, 2016), apesar de não existir uma integração dos dados de todos os serviços de atendimento móvel. Nos Estados Unidos da América, os chamados para causas não traumáticas, correspondem até 78,6% dos chamados, sendo que as queixas cardíacas somam 13,8%, causas neurológicas 13,6%, dificuldades respiratórias 12,2% e síncope 7,7% (UnitekEMT, 2020).

De acordo com a American Heart Association, as paradas cardiorrespiratórias somam mais de 350.000 eventos por ano e apenas 10% das vítimas sobrevivem (American Heart Association, 2020). Desta forma, durante o atendimento pré-hospitalar, o profissional da saúde socorrista necessita de conhecimento prévio para identificar, diagnosticar e, muitas vezes, iniciar o tratamento de várias patologias. Além disso, é de extrema necessidade a identificação rápida e, ou a predição de pacientes críticos que, se não forem adotadas medidas

de estabilização e transporte imediatas, podem resultar em complicações, entre elas a mais grave que é a parada cardiorrespiratórias (Suporte Avançado de Vida cardiovascular, 2019)

1.3.3.1 Doenças Cardiovasculares e a Parada Cardiorespiratória.

Entre todas as doenças que acometem os pacientes no ambiente pré-hospitalar, em termos gerais, as doenças cardiovasculares são consideradas a principal causa de mortalidade no Brasil e no mundo (Oliveira *et al.*, 2021). Estima-se também que em todo o mundo, aproximadamente 17,9 milhões de pessoas são acometidas por estas doenças anualmente (OMS, 2021).

Segundo a Organização Panamericana de Saúde (OPAS), pelo menos três quartos das mortes no mundo por doenças cardiovasculares ocorrem em países de baixa e média renda. Isso pode ser justificado em decorrência do envelhecimento populacional e devido aos fatores de risco associados a elas tais como sedentarismo, alimentação, consumo de álcool, tabaco e obesidade, bem como as desigualdades sociais e ao acesso aos serviços de saúde (OPAS, 2023).

No Brasil, estima-se que cerca de 320 mil mortes por ano são decorrentes da parada cardiorrespiratória (PCR), sendo metade em ambientes hospitalares e a outra metade em locais extra-hospitalares, como residências, shopping centers, aeroportos, estádios, entre outros (Gonzales *et al.*, 2013).

Definida como ausência de atividade mecânica cardíaca, confirmada pela perda súbita de consciência, ausência de movimentos respiratórios ou respiração anormal *gasping* e ausência de pulso detectável (Suporte Avançado de Vida Cardiovascular, 2019), em todo o mundo, a PCR é um evento catastrófico, podendo apresentar uma taxa de mortalidade superior a 90% (Tsao *et al.*, 2023) e apesar dos avanços na identificação, manejo e cuidados dos pacientes acometidos, os pacientes que sobrevivem podem sofrer sequelas neurológicas graves e com consequências graves para eles e seus familiares (Gill; Teitcher; Ruland, 2021).

1.3.3.1.1 Etiologia

A maioria das paradas cardiorespiratórias é devido a uma cardiopatia de base. Neste contexto, achados de exames *post mortem* observou-se que até 80% das vítimas eram

portadoras de doença arterial coronariana, destes até 15% apresentavam síndromes coronarianas agudas, associadas a doença cardiovascular subjacente (Tsao *et al.*, 2023).

Em uma porcentagem significativa dos pacientes a parada cardíaca é a primeira manifestação de doença cardíaca. Outras causas incluem ainda choque circulatório não cardíaco como a embolia pulmonar, choque neurogênico ou trauma, insuficiência ventilatória e distúrbio metabólico (Tsao *et al.*, 2023).

1.3.3.1.2 Fisiopatologia da Parada Cardiorrespiratória

A parada cardiorrespiratória (PCR) é definida pela cessação de batimentos cardíacos efetivos e da respiração com consequente hipóxia tecidual e morte celular progressiva. O mecanismo elétrico mais comum do PCR é a fibrilação ventricular (FV), o qual representa 65 a 80% dos casos, enquanto que a assistolia e a atividade elétrica sem pulso (AESP) correspondem a 20-30% dos casos. Já a taquicardia ventricular (TV) sem pulso é a causa menos comum (Gonzales *et al.*, 2013).

A oclusão abrupta da artéria coronária leva inevitavelmente a perda da força de contração, o que pode ser causado pela perda aguda de turgor, um efeito também conhecido por “*Reverse Garden Hose Effect*”, seu mecanismo é incerto, porém pode ser associado a perda das forças de *Starling*, tendo então o efeito de contração anulado. Uma outra hipótese seria a perda da pressão vascular alterando o *feedback* que regula a entrada e sensibilidade ao cálcio, levando ao comprometimento global da função cardíaca (Patil; Halperin; Becker, 2015).

Assim, a parada cardíaca cursa com isquemia global acarretando consequências a nível celular que afeta a função de diversos órgãos, mesmo após a reanimação e restauração da perfusão. Esta isquemia leva a lesão celular direta e formação de edemas. O edema é particularmente danoso no cérebro, que tem espaço mínimo para se expandir e frequentemente resulta em pressão intracraniana aumentada e diminuição da perfusão cerebral pós-reanimação. Além disso, uma proporção significativa de pacientes com retorno da circulação espontânea apresentam disfunção cerebral de curta ou longa duração, manifestada por alteração do estado de alerta (desde leve confusão até coma), convulsões ou ambos (Girotra; Chan; Bradley, 2015).

A produção diminuída de ATP (adenosina trifosfato) leva a perda de integridade das membranas, com efluxo de potássio e influxo de cálcio e sódio. O excesso de sódio intracelular é uma das causas iniciais do edema celular. O excesso de cálcio danifica as mitocôndrias (diminuindo a produção de ATP), aumenta a produção de óxido nítrico (levando à formação de radicais livres lesivos) e, em certas circunstâncias, ativa proteases que danificam ainda mais as células. O fluxo anormal de íons também resulta em despolarização de neurônios, liberando neurotransmissores, alguns dos quais são lesivos (p. ex., o glutamato ativa um canal de cálcio específico, piorando a sobrecarga intracelular de cálcio (Lazzarin *et al.*, 2022).

Mediadores inflamatórios, interleucina IL-1B, fator de necrose tumoral FNT-alfa, são sintetizados, sendo que alguns deles podem causar trombose microvascular e levar a perda da integridade vascular, com formação de edema. Alguns mediadores desencadeiam ainda apoptose resultando em morte celular acelerada (Inoue, 2020).

1.3.3.1.3 Modalidades da Parada Cardiorrespiratória.

A PCR pode ser classificada segundo os mecanismos elétricos associados, sendo classificada em duas categorias: taquiarritmias (ex: fibrilação ventricular) e não taquiarritmias (ex: atividade elétrica sem pulso (AESP) e assistolia (Weisfeldt *et al.*, 2011).

A fibrilação ventricular é a principal causa de PCR em adultos. Ela é provocada pelas contrações sem ordem ou efetividade do miocárdio, as quais são mais frequentes nos primeiros dois minutos após PCR, após este intervalo de tempo pode evoluir para assistolia se não tratadas (Pazin-Filho *et al.*, 2003)

A AESP é definida pela ausência de pulso palpável mesmo que o eletrocardiograma demonstre um ritmo cardíaco sincronizado. O coração pode permanecer parado ou com pequenos movimentos, mesmo que o ritmo cardíaco mostrado no monitor esteja normal. Porém, esses movimentos não são sincronizados o suficiente para que a circulação possa ser estabelecida. As bradicardias são causadas por má formação ou condução dos impulsos cardíacos e são uma causa menos comum de PCR. Estas bradicardias são decorrentes majoritariamente de bloqueios atrioventriculares completos, muitas vezes originados secundariamente por uma doença arterial coronariana. Já a Assistolia é causada pelo degeneração do nódulo sinoatrial sem envolver um centro de marcapasso secundário ou, com

mais frequência, como efeito secundário da supressão dos centros marcapasso (nódulo sinoatrial e nódulo atrioventricular). Durante uma hipóxia prolongada, a acidose leva a um desequilíbrio eletrolítico das membranas celulares. Isso resulta no acúmulo de potássio extracelular e na inibição da função fisiológica dos marcapassos primários e secundários (Porzer *at al.*, 2017).

1.3.3.1.4 Reanimação Cardiopulmonar.

A origem das manobras de Reanimação Cardiopulmonar (RCP) ou Ressuscitação Cardiopulmonar, pode remeter até aos tempos bíblicos e a primeira descrição da manobra, foi realizada por Hill em 1868: "A mão esquerda do cirurgião foi colocada firmemente na parte frontal do peito, com os dedos repousando sobre as quinta, sexta e sétima cartilagens do lado direito, enquanto a ponta do polegar repousava sobre a segunda parte do esterno e a região muscular da mão nas cartilagens correspondentes do lado esquerdo. A mão direita cruzou sobre a esquerda e foi aplicada uma pressão forte; as mãos foram então retiradas abruptamente, permitindo que o peito se expandisse por sua própria elasticidade." (Shiber, 2014). Porém o seu conceito moderno surgiu em 1960 quando Kouwenhoven, Jude e Knickerbocker sugeriram "tudo que se precisa são duas mãos" para poder realizar as compressões torácicas (Kouwenhoven; Jude; Knickerbocker, 1960). Em 1974 a American Heart Association publicou as suas primeiras diretrizes sobre a RCP, e pela primeira vez, o protocolo também era direcionado ao público leigo. Em 1992 é formado o International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) e em 1999 o comitê organizou o primeiro encontro na cidade de Dallas para atualização e revisão da RCP, esses encontros têm se repetido a cada cinco anos. O comitê conta com representantes de diversos órgãos, dentre eles: American Heart Association (AHA), European Resuscitation Council (ERC), Heart and Stroke Foundation of Canada (Heart & Stroke), Australian and New Zealand Committee on Resuscitation (ANZCOR), Resuscitation Council of Southern Africa (RCSA), Inter American Heart Foundation e Resuscitation Council of Asia (RCA) (International Liaison Committee on Resuscitation, 2023).

No Brasil, a Sociedade Brasileira de Cardiologia está à frente da pesquisa e organização dos protocolos de RCP e o Suporte Avançado de Vida em Cardiologia (SAVC) da American Heart Association como difundidor de conhecimento através de cursos, ambos se

fundamentam nos protocolos do ILCOR (Sociedade Brasileira de Cardiologia, 2023, Suporte Avançado de Vida Cardiovascular-SAVC, 2019).

O objetivo principal da RCP é fornecer suporte e restaurar a oxigenação, a ventilação e a circulação de forma eficaz, com retorno da função neurológica intacta. O paciente frente a uma PCR, é tratado seguindo múltiplas e diferentes etapas. Sendo que as duas intervenções que mais se mostram promissoras em reverter tal evento, são a massagem cardíaca e a desfibrilação precoce (Patel & Hipskind, 2023).

O primeiro passo para a realizar a Reanimação Cardiopulmonar é reconhecer a parada cardiorespiratória. Ao se deparar com uma pessoa aparentemente desacordada, primeiro deve-se certificar se o local é seguro. Em seguida, aproximar-se do paciente para avaliar o nível de consciência, tal ação é feita chamando e tocando o paciente. Se não for obtida nenhuma resposta, comprova-se a inconsciência, deve-se então solicitar ajuda para uma pessoa próxima. Esta segunda pessoa irá acionar o serviço médico de urgência, como o Samu através do telefone 192, em seguida deverá buscar o desfibrilador externo automático (DEA) ou desfibrilador se disponível (Wyckoff *et al.*, 2022)

A primeira pessoa deve então confirmar a presença de respiração e pulso, a respiração através da inspeção visual olhando para o tórax do paciente por 5 a 10 segundos e o pulso através da palpação direta da artéria carótida do paciente também por 5 a 10 segundos. Geralmente a verificação do pulso é realizada simultaneamente com a da respiração para minimizar o atraso (Suporte Avançado de Vida Cardiovascular-SAVC, 2019). Comprovada a ausência de movimentos respiratórios, respiração ofegante ou gasping, porém com pulso presente, deverá ser realizada ventilação de resgate com uma ventilação a cada 5 a 6 segundos e verificação do pulso a cada 2 minutos. Se não houver pulso deverá ser realizada as compressões torácicas. As compressões torácicas são realizadas colocando a região hipotênar da mão dominante sobre o esterno da vítima e a outra mão sobre a primeira, entrelaçando-a. Estenda os braços e posicione-os cerca de 90° acima da vítima. Comprima na frequência de, no mínimo, 100 compressões por minuto. Comprima com profundidade de no mínimo 5 cm e permita o retorno completo do tórax após cada compressão sem retirar o contato das mãos com o mesmo. Minimze interrupções das compressões e reveze com outra pessoa a cada 2 minutos para evitar a fadiga e compressões de má qualidade. Tais manobras devem se

prolongar até a chegada do DEA ou da equipe de atendimento pré hospitalar ou até o retorno do pulso (Bernocche *et al.*, 2019). Com a chegada do DEA, o mesmo deverá ter as pás instaladas no tórax nú do paciente após a verificação se há ritmo chocável, o operador do DEA deverá se assegurar que ninguém está tocando no paciente, e administrar o choque, logo em seguida as compressões devem ser novamente iniciadas (Suporte Avançado de Vida Cardiovascular-SAVC, 2019).

Mesmo em pacientes conscientes, ou que necessitem de cuidados mais avançados, a avaliação primária deve ser sempre executada. Durante esta etapa o primeiro item a ser avaliado é a via aérea do paciente. Ela deve estar patente no paciente inconsciente, se existir alguma dificuldade, devem ser adotadas manobras como a inclinação e elevação do queixo, colocação de cânula orofaríngea e nasofaríngea. Uso de via aérea avançada se necessário, máscara laríngea, tubo laríngeo. tubo endotraqueal (Wyckoff *et al.*, 2022). Devem ser confirmadas a integração entre RCP e ventilação, verificar o posicionamento correto dos dispositivos de via aérea avançada, fixar os dispositivos corretamente, monitorização e confirmação que o dispositivo está corretamente instalado. Avaliação da respiração, deve enfatizar a administração de oxigênio suplementar quando indicado, todo paciente em PCR deve receber oxigênio a 100%, aos demais deve-se titular até obter uma saturação acima de 94% a ventilação excessiva deve ser evitada, se disponível, conectar capnógrafo. Na avaliação da circulação a qualidade da RCP deve ser reavaliada, quando profundidade e ritmo, o monitor cardíaco deve ser conectado e realizar avaliação minuciosa do ritmo, se necessário realizar cardioversão ou desfibrilação, obter acesso venoso, administração de fluidos e medicações se necessário, verificar glicose e temperatura. avaliar a perfusão. Verificar a função neurológica, nível de consciência e dilatação pupilar. Por último o paciente deve ser exposto completamente, procure sinais de trauma, hemorragia, queimaduras marcas incomuns e braceletes médicos (Panchal *et al.*, 2019).

A avaliação secundária do paciente é baseada no diagnóstico diferencial, buscando um histórico médico específico seguida do tratamento da causa de base, perguntas relacionadas com o estado atual do paciente (Gonzales *et al.*, 2013). Para isso podem ser usados alguns mnemônicos para ter certeza que não esteja ignorando uma arriscada ou provável causa (Felipe; Porto; Leite, 2016). O primeiro deles é o Sample, em que deverá ser avaliado os sinais e sintomas, alergias, medicações, passado médico, *last meal*(última refeição), eventos.

Outros mnemônicos que se mostram interessantes para ajudar o profissional de saúde a identificar uma possível causa reversível da PCR que devem ser obrigatoriamente verificados durante a avaliação secundária, como os “5 Hs” e “5 Ts”. sendo : hipovolemia, hipóxia, hidrogênio(acidose), hipo/hipercalcemia, hipotermia, tensão ou pneumotórax, tamponamento cardíaco, toxinas, trombose pulmonar, trombose coronariana. Pacientes em PCR necessitam de avaliação e tratamentos imediatos, quando a causa base da PCR é identificada ela pode ser passiva de ser tratada ocorrendo assim o retorno da circulação espontânea (RCE) (Sharabi & Singh, 2023).

Ocorrendo a RCE, o paciente deverá ser transportado para um hospital para ser realizado os cuidados pós-PCR completos em ambiente de UTI, equipado e com equipe preparada para esse tipo de paciente. Tratamento neurológico, intervenções coronarianas, tratamento de hipotermia e cuidados intensivos devem estar disponíveis nesta unidade. (Girotra; Chan; Bradley, 2015)

“A sobrevivência depois da PCR requer um sistema integrado de pessoas, equipamentos de treinamento e corporações. Pessoas presentes no local com disposição, proprietários de estabelecimentos que têm DEA, telecomunicadores do serviço de emergência e socorristas de Suporte Básico de Vida e Suporte Avançado de Vida que trabalham nos sistemas de Serviços Médicos e de Enfermagem, todos contribuem para uma ressuscitação bem sucedida de PCR. Nos hospitais, o trabalho de médicos, dos enfermeiros, dos terapeutas respiratórios, dos farmacêuticos e de outros profissionais ajuda nos resultados da ressuscitação. Uma ressuscitação bem-sucedida também depende das contribuições dos fabricantes de equipamentos, das empresas farmacêuticas, dos instrutores de ressuscitação, dos desenvolvedores de diretrizes e de muitos outros. A sobrevivência no longo prazo requer suporte da família e dos cuidadores profissionais, incluindo especialistas em reabilitação e recuperação cognitiva, física e psicológica. Um comprometimento de todo o sistema com a melhoria da qualidade em todos os níveis de tratamento é essencial para a obtenção de resultados bem sucedidos.” (Lavona *et al.*, 2020)

1.3.2 Cobertura x Tempo Resposta na Alocação das Bases das Ambulâncias

A alocação estratégica de bases de ambulâncias é um desafio crítico, onde a busca por uma cobertura geográfica abrangente colide muitas vezes com a necessidade imperativa de

tempos de resposta rápidos. Enquanto a expansão da cobertura visa atender a uma população mais ampla, a concentração de recursos em áreas urbanas densamente povoadas pode resultar em tempos resposta mais longos negligenciando regiões remotas. A tensão entre esses dois objetivos contraditórios, destaca a necessidade de modelos analíticos avançados e estratégias de otimização para alcançar uma alocação (Kitić & Kovač, 2015).

Os modelos de localização devem ter por objetivo: minimizar o tempo total ou médio para atender todas as chamadas, minimizar o tempo máximo de viagem para qualquer atendimento, maximizar a área atendida num determinado tempo e maximizar as chamadas atendidas, ou seja, atender o maior número de chamadas dentro de um tempo determinado (Destri Junior, 2005).

No início da década de 1970, pesquisas sobre a ciência da localização de instalações foram publicadas por pesquisadores como Church e Reville (1974), em particular o modelo de hipercubo de Larson (1974). Mais tarde, outros estudos trataram de otimizar o modelo de hipercubo para determinar a localização de ambulâncias para tentar resolver um problema de localização probabilístico, *location problem* (Alsalloum & Rand, 2005).

Com o desenvolvimento de algoritmos poderosos de busca local, computação paralela e o aumento da robustez do hardware, deu origem a uma corrente de pesquisa que consegue lidar efetivamente com a origem dos problemas de localização. Problemas em larga escala podem ser resolvidos rapidamente, em tempo real e com precisão (Batta; Dolan; Krishnamurthy, 1989).

Modelos de alocação e realocação dos últimos 30 anos foram revisados por Brotcorne (2003), onde ele os dividiu em : estáticos ou determinísticos, dinâmicos e também probabilísticos. Os primeiros modelos a surgirem foram os modelos estáticos, que por definição simples são *grafos*, modelos baseados em vértices e arestas que conectam esses vértices entre si, pontos de demanda (ocorrências) e pontos de alocação (central de ambulâncias) através das arestas (estradas), e por último o tempo (tempo de deslocamento) entre os pontos de alocação e pontos de demanda. Já os modelos dinâmicos, apesar de só agora estarem emergindo, têm se mostrado precisos para a tomada de decisão. Podem inclusive realocar repetidamente ambulâncias no mesmo dia para fornecer uma cobertura mais ampla, porém apresentam um desafio de planejamento pois requerem um maior aparato tecnológico na obtenção de dados em tempo real, como o GPS. Os modelos probabilísticos

são estáticos e dinâmicos, podendo realizar cálculos em tempo real, estimando a probabilidade de uma ambulância ficar ocupada independente da operacionalidade de outras ambulâncias (Brotcorne, 2003).

O *Location Set Covering Model* (LSCM) é um modelo estático desenvolvido por Toregas et al que foi usado para minimizar o número de ambulâncias necessárias para cobrir todos os pontos de demanda. Apesar de efetivo, o modelo tinha algumas limitações como a restrição a único ponto de alocação (Toregas *et al.*, 1971). Uma alternativa ou modelo de Toregas foi o *Maximal Covering Location Problem* (MCLP) Problema de Localização com Cobertura Máxima é um modelo estático e foi proposto por Church e ReVelle em 1974. O objetivo fundamental do MCLP é determinar o subconjunto ótimo de localização de instalações que maximize a cobertura de um conjunto dado de pontos de demanda, levando em consideração restrições sobre o número de instalações que podem ser abertas.. (Church & ReVelle, 1974, Toregas et al., 1971, Limpattanasiri, 2013).

1.3.3 Técnica de Location-Allocation

Em 1978 a cidade de Austin no Texas, encomendou um estudo sobre sua rede de serviços médicos de emergência, Eaton *et al.* (1985) usou uma modelagem em MCLP para organizar as centrais de ambulâncias. Tal planejamento não só economizou ao município 1.2 milhões de dólares anuais (valores correntes da época) de custos operacionais, como também mostrou uma redução no tempo resposta médio apesar do aumento no número de chamados do período (Eaton *et al.*, 1985).

“*Maximal Covering Location Problem* (MCLP) busca maximizar a população que pode ser atendida dentro de uma distância ou tempo de serviço especificado, considerando um número limitado de instalações disponíveis.” (Church & ReVelle, 1974). É um modelo de planejamento que ignora as considerações estocásticas relacionadas a disponibilidade das ambulâncias, pois assume que sempre existirá uma viatura disponível. Em comparação com modelos mais complexos, o MCLP geralmente tem uma formulação conceitual mais direta. Isso pode facilitar a compreensão e implementação do modelo, especialmente em situações onde a simplicidade é uma vantagem, pois podem diminuir o tempo computacional e facilitar a interpretação. É um modelo largamente utilizado no serviço público, onde pode ser usado

para determinar a localização de uma central de ambulâncias ou central de bombeiros (Brotcorne, 2003).

Tem uma boa aplicação em modelos que busquem uma cobertura máxima de pontos de demanda, levando em consideração centrais fixas, podendo determinar a quantidade de estações de ambulância e suas localizações. Especialmente para centrais com um tipo específico de ambulância (Bhardwaj *et al.*, 2020). MCLP é um modelo matemático onde denomina-se: os nós de demanda i por d_i , e K é o número de estações a serem localizadas.

$$\text{Maximizar} \quad \sum_{i \in I} d_i y_i \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_{j \in J} x_j = K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$x_j, y_i = 0, 1 \quad (4)$$

Onde $X_j = 1$ se a estação estiver localizada em J , 0 se não estiver.
 $Y_i = 1$ se o nó de demanda i é coberto, 0 se não for

O objetivo da função (1) é maximizar a cobertura da demanda. A restrição (2) controla o número de estações de ambulância na solução. A restrição (3) significa que um nó de demanda é considerado coberto apenas se pelo menos uma central de ambulâncias estiver localizada em J_i . A restrição (4) impõe sim ou não para a decisão de localização e cobertura dos nós de demanda (Church & ReVelle, 1974).

1.4 Justificativa

A redução no tempo resposta aumenta a sobrevivência de pacientes críticos, como aqueles com parada cardíaca e vítimas de acidentes de trânsito (Holmén *et al.*, 2020, Pham; Pucket; Dissanaik, 2017, Cabral *et al.*, 2018). Desta forma, protocolos internacionais estabelecem o

tempo-resposta ideal de até oito minutos para o Atendimento Pré-hospitalar pelos Serviços Médicos de Urgência e Emergência e os governos e as agências reguladoras de saúde, têm estudado a possibilidade de se utilizar este tempo na otimização das operações de resgate, e ou atendimento primário, contribuindo na qualidade do serviço ofertados à população necessitada (Lam *et al.*, 2015).

Apesar disso, os gestores deparam-se então com vários desafios de logística para serem enfrentados, para a melhor alocação de recursos. Neste contexto, estudos prévios demonstram que a localização e a distribuição das estações de Ambulâncias, é um fator controlável e que determina se uma ambulância poderá ou não atender o solicitante com o melhor tempo resposta (Liu *et al.*, 2014), embora diversos outros fatores possam comprometer o deslocamento de uma ambulância, como tráfego, qualidade da via e mudanças climáticas (Lam *et al.*, 2015).

Para facilitar tal demanda pode-se utilizar programas computacionais como o sistema de informação geográfica para o estudo e simulação de alguns fatores antes da tomada de decisão final. Tais estudos podem ser usados para reduzir a aquisição e o aumento no número de ambulâncias, contratação de um número excedente de funcionários ou alocação de bases de ambulâncias onerosas em lugares sem necessidade comprovada (Fitch, 2005, Lin *et al.*, 2020).

1.5 Objetivos.

1.5.1. Geral.

Analisar a cobertura populacional e o tempo de deslocamento das ambulâncias do Serviço Médico de Urgência (SAMU) do município de Arapongas, Paraná, por meio de modelagem e simulação geoespacial.

1.5.2. Específicos.

1. Fazer o georreferenciamento dos locais de atendimento de pacientes vítimas de trauma e emergências clínicas atendidos pelo SAMU;
2. Verificar a população coberta da base da ambulância do SAMU dentro de seis minutos de deslocamento, na cidade de Arapongas, Paraná;

3. Realizar simulações computacionais utilizando dados aleatórios para o cálculo do tempo de deslocamento para diferentes regiões da cidade.
4. Levantar o melhor local para uma base do SAMU.
5. Verificar a necessidade de se implantar uma segunda base do SAMU na cidade, e qual é a melhor localização para esta implantação.
6. Identificar padrões temporais na demanda por serviços de emergência do SAMU, relacionando-os com a eficiência do tempo de deslocamento.

1.6 Referências :

AHMADI-JAVID, Amir; SEYEDI, Pardis; SYAN, Siddhartha S. A survey of healthcare facility location. ScienceDirect 2017. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5585827/>. Acesso em: 31 jan. 2024.

American Heart Association. CPR Facts & Stats How CPR is changing (and saving) lives. Estados Unidos da América. 2020.

Disponível em: <https://cpr.heart.org/en/resources/cpr-facts-and-stats>. Acesso em: 01 fev. 24.

ALMEIDA, Priscila Masquetto Vieira de; DELL'ACQUA, Magda Cristina Queiroz; CYRINO, Claudia Maria Silva; JULIANI, Carmen Maria Casquel Monti; PALHARES. Análise dos atendimentos do SAMU 192: Componente móvel da rede de atenção às urgências e emergências. Esc. Anna Nery 20 (2) • Apr-Jun 2016.

<https://doi.org/10.5935/1414-8145.20160039> .

ALSALLOUM, Othman Ibraheem; RAND, Graham K. Extensions to emergency vehicle location models Computers & Operations Research Volume 33, Issue 9, September 2006, Pages 2725-2743 <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.02.025>.

ATLS Advanced Trauma Life Support. American College of Surgeons –. 8. ed. Chicago: Committee on Trauma, 2018, p xxvii.

BATTA, Rajan; DOLAN, June M.; KRISHNAMURTHY, Nirup N. The Maximal Expected Covering Location Problem: Revisited *Transportation Science*, 23, p. 277-287, 1989 doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.23.4.277>.

BATTISTI, Gabriela Reginatto; BRANCO, Aline; CARREGNATO, Rita Catalina Aquino; OLIVEIRA, Mônica Maria Celestina De. Perfil de atendimento e satisfação dos usuários do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU). Revista Gaúcha de Enfermagem 2019. Disponível em:

<https://bvsenfermeria.bvsalud.org/biblio/resource/?id=biblioref.referenceanalytic.1014144>. Acesso em: 01 jan. 2024.

BERG, Pieter L. van den; FISKESTRAND, Peter; AARDAL, Karen; EINERKJAER, Jorgen; ROISLIEN, Jo. Plosone 2019 Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0215385>. Acesso em: 01 fev. 2024.

BERNOCHE, Claudia; et al. Atualização da Diretriz de Ressuscitação Cardiopulmonar e Cuidados Cardiovasculares de Emergência da Sociedade Brasileira de Cardiologia – 2019. Arq. Bras. Cardiol. 2019 doi: 10.5935/abc.20190203.

BLACKWELL, Thomas H.; KAUFMAN, Jay S. Response Time Effectiveness: Comparison of Response Time and Survival in an Urban Emergency Medical Services System Acad Emerg Med. 2002 Apr;9(4):288-95. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11927452/>. Acesso em: 01 fev. 2024.

BLANCHARD, Ian E.; DOIG, Christopher J.; HAGEL, Brent E.; ANTON, Andrew R.; ZYGUN, David A.; KORTBEEK, John B.; POWELL, D. Gregory; WILLIAMSON, Tyler S.; FICK, Gordon H.; INNES, Grant D. Emergency Medical Services Response Time and Mortality in an Urban Setting. Prehospital Emergency Care. 2012. 16:1, 142-151, DOI: 10.3109/10903127.2011.614046

BHARDWAJ, Aaditya; DANIELLS, Libby; D'ARCY, Eleanor; RANDALL, Matthew. Ambulance Location Models STOR-i CDT, Lancaster University. 2020.

Brasil. Ministério da Saúde. PORTARIA Nº 1.010, DE 21 DE MAIO DE 2012. Redefine as diretrizes para a implantação do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU 192) e sua Central de Regulação das Urgências, componente da Rede de Atenção às Urgências. Brasil DF. 21 maio 2012

Brasil. Ministério da Saúde. DATASUS. TABNET, 2022. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/>. Acesso em: 04 fev. 2023.

BROTCORNE, Luce; LAPORTE, Gilbert; SEMET, Frédéric. Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research* Volume 147, Issue 3, 16 June Pages 451-463 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221702003648>. Acesso em 01 fev. 2024.

CABRAL, Eric Lucas Dos Santos; CASTRO, Wilkson Ricardo Silva; FLORENTINO, Davidson Rogério Medeiros Florentino; VIANA, Danilo De Araujo; et al. Response time in the emergency services. Systematic review. *Acta cirúrgica brasileira*, v. 33, p. 1110–1121, 2018.

CARLOS, Henrique Ribeiro de; GUEDES, Erivelton Pires. Balanço da primeira década de ação pela segurança no trânsito no Brasil e perspectivas para a segunda década. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais. Nota Técnica N 42. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Governo Federal. 2023

CARVALHO, Ana; CAPTIVO, Maria Eugénia; MARQUES, Inês. Integrating the ambulance dispatching and relocation problems to maximize system's preparedness. *European Journal of Operational Research* 283(3) 2019 .

CHURCH, Richard; REVELLE, Charles R. The Maximal Covering Location Problem. *Papers in Regional Science*, Wiley Blackwell, vol. 32(1), pages 101-118, January.1974 . doi:10.1111/j.1435-5597.1974.tb00902.x.

COWLEY R Adams. A total emergency medical system for the State of Maryland. Md State Med J. 1975 Jul;24(7):37-45. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1142842/>. Acesso em: 01 fev. 2024.

CUMMINS, Richard O. From concept to standard-of-care? Review of clinical experience with automated external defibrillators. Annals of Emergency Medicine, v. 18, n. 12, p. 1269-1275, Dezembro. 1989.

DESTRI Jr, Jorge. Sistema de apoio à decisão espacial aplicado ao serviço de atendimento móvel de urgência em vias de trânsito. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102336> Acesso em: 01 fev. 2024.

EATON, David J.; DASKIN, Mark S.; SIMMONS, Dennis; BULLOCH, Bill; JANSMA, Glen. Determining Emergency Medical Service Vehicle Deployment in Austin, Texas. *Interfaces*, 1985, vol. 15, issue 1, 96-108 doi: <http://dx.doi.org/10.1287/inte.15.1.96>.

ELBAZ-GREENER, Gabby; CARASSO, Shemy; MAOR, Elad; GALLIMIDI, Lior; YARKONI, Merav; WIJEYSUNDERA, Harindra; ABEND, Yitzhak; DAGAN, Yinon; LERMAN, Amir ; AMIR, Offer. Clinical Predictors of Mortality in Prehospital Distress Calls by Emergency Medical Service Subscribers. PubMed 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34830638/> Acesso em: 01 fev. 2024.

EISENBERG, MS., et al. Cardiac resuscitation in the community. Importance of rapid provision and implications for program planning. JAMA. 1979 May;241(18):1905-1907. DOI: 10.1001/jama.241.18.1905.

FELIPE, Marcos Rainier de Brito; PORTO, Maximiliano Aguiar; LEITE, Jose Alberto Dias. MÉTODOS MNEMÔNICOS NO ENSINO E NA PRÁTICA MÉDICA: VALE A PENA INVESTIR? Encontros Universitários da UFC v. 1 n. 1 (2016) Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/eu/article/view/18686> Acesso em: 01 fev. 2024.

FERIANI, Gustavo; RIBERA, Jorge Michel; DAMASCENO, Maria Cecília de Toledo; ROZOLEN JUNIOR, Pedro J.; CARDOSO, Ricardo Galesso. Pré hospitalar - Grau 2 ed , Ed Manole. Barueri, SP 2015

FITCH, Jay. Response Times: Myths, Measurement and Management. Journal of Emergency Medical Services, 31 Agosto 2005. Disponível em: <https://www.jems.com/equipment-gear/response-times-myths44-measure/> Acesso em: 04 fev. 2024.

FRANCK, Danielle Braga Pena; COSTA, Yule Caroline Nunes da; ALVES, Katiusse Rezende; MOREIRA, Tiago Ricardo; SANHUDO, Nádia Fontoura; ALMEIDA, Geovana Brandão Santana; PÜSCHEL, Vilanice Alves de Araújo; CARBOGIM, Fábio da Costa. Trauma in elderly people assisted by the mobile emergency care service. Acta Paulista de Enfermagem. 2021.

FORASTIERI, Helton Luis Ayello; FERRAZ DE ARAUJO, Carolina Mendonça; MENDONÇA JUNIOR, Anderson de Souza; COSTA FORASTIERI, Higner Luis. Tempo resposta no SAMU – 192 e suas implicações. Cadernos UniFOA. v. 17 n. 49. 2022.

GALLAHER, Jared; AN, Selenia J.; KAYANGE, Linda; DAVIS, Dylane; CHARLES, Anthony. Tri-modal Distribution of Trauma Deaths in a Resource-Limited Setting: Perception Versus Reality . World J Surg . 2023.

GENTIL, Karla; Pamplona, Mara; Lucas, Vânia. Regulação Médica das Urgências. Ministério da Saúde. Departamento de Atenção Especializada. p. 89 - 97. 1 ed 2006.

GILL, Rick; TEITCHER, Michael; RULAND, Sean. Neurologic complications of cardiac arrest. Handbook of Clinical Neurology V 177 pg 193-209. 2021.

GIROTRA, Saket; CHAN, Paul S.; BRADLEY, Steven M. Post-resuscitation care following out-of-hospital and in-hospital cardiac arrest. Heart. Dec;101(24):1943-9. 2015 doi: 10.1136/heartjnl-2015-307450.

GONZALES, M.M. ;TIMERMAN, S.; OLIVEIRA, R.G. ;POLASTRI, T. F. ;CANESIN, M. F. ; SCHIMIDT, A. ; et al. Atualização da Diretriz de Ressuscitação Cardiopulmonar e Cuidados Cardiovasculares de Emergência da Sociedade Brasileira de Cardiologia. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, v. 113, n. 3, Setembro 2013.

HASHTARKHANI, Soheil; MATTHEWS, Stephen A.; YIN, Ping; MOHAMMADI, Alireza; MOHAMMADEBRAHIMI, Shahab; TARA, Mahmood; KIANI, Behzad. Where to place emergency ambulance vehicles: use of a capacitated maximum covering location model with real call data. Geospat Health . 2023 Jul 20;18(2). doi: 10.4081/gh.2023.1198.

HOLMÉN, Johan; HERLITZ, Johan; RICKSTEN, Sven-Erik; STRÖMSÖE, Anneli; HAGBERG, Eva; AXELSSON, Christer; RAWSHANI, Araz. Shortening Ambulance Response Time Increases Survival in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. J Am Heart Assoc. 2020 Nov 3;9(21):e017048. doi: 10.1161/JAHA.120.017048. Epub 2020.

ILCOR. International Liaison Committee on Resuscitation. Aboult. 2023 Disponível em: <https://www.ilcor.org/>. Acesso em: 01 fev. 2024..

INCA. Instituto Nacional de Cardiologia. Evolução do infarto agudo do miocárdio. Dashboard. Governo Federal .Brasil. 2023 Disponível em: https://inc.saude.gov.br/htm/dash_iam.html/. Acesso em: 01 mar. 2024.

INOUE, Akihiko; HIFUMI, Toru; SAKAMOTO, Tetsuya; KURODA, Yasuhiro. Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation for Out-of-Hospital Cardiac Arrest in Adult Patients. J Am Heart Assoc. Apr 2020 7;9(7):e015291. doi: 10.1161/JAHA.119.015291.

KITIĆ, Jaklič Tatjana; KOVAC, Jure. The Impact of Demographic Changes on the Organization of Emergency Medical Services: the Case of Slovenia. July 2015 Organizacija 48(4) doi :10.1515/orga-2015-0021.

KOUWENHOVEN, Willian B.; JUDE James J. R.; KNICKERBOCKER, Guy G. Closed-chest cardiac massage. JAMA. 1960 Jul 9;173:1064-7. doi: 10.1001/jama.1960.03020280004002.

KAZEMI, Mahdi. Emergency service location study for city of Famagusta in geographic information system. Semantic Scholar 2012. Disponível em: <http://i-rep.emu.edu.tr:8080/jspui/bitstream/11129/1258/1/Kazemi.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2024.

PANCHAL, Ashish R.; et al. 2019 American Heart Association Focused Update on Advanced Cardiovascular Life Support: Use of Advanced Airways, Vasopressors, and Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation During Cardiac Arrest: An Update to the American Heart

Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. 14 Nov 2019 <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000732> Circulation. 2019;140:e881–e894.

PATEL, Kevin; HIPSKIND, John E. Cardiac Arrest. 2023 Apr 7. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30521287/> Acesso em: 01 fev. 2024..

PATIL, Kaustubha D.; HALPERIN, Henry R.; BECKER, Lance B. Cardiac Arrest Resuscitation and Reperfusion Originally published 5 Jun 2015 <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.304495>.

PEREIRA, Alexandra Lima; JÚNIOR, Alexandre Saboia Leitão; AZEVEDO, Cláudio Roberto Freire; CASTRO, Daniel Bezerra; JUNIOR, Edmilson de Almeida Barros; LIRA, Francisco Romulo Sampaio; ABREU, João Paulo Saraiva; *et al* . Protocolo de Regulação das Urgências-Normas de Conduta Técnica e Gestora. Fortaleza. p.17-55 .Volume 2 - 6 Revisão 2023.

PHAM, Hannah; PUCKETT, Yana; DISSANAIKE, Sharmila. Faster on-scene times associated with decreased mortality in Helicopter Emergency Medical Services (HEMS) transported trauma patients. Trauma Surg Acute Care Open. 2017 Oct 12;2(1):e000122. doi: 10.1136/tsaco-2017-000122.

LAM, Sean Shao Wei; NGUYEN, Francis Ngoc Hoang Long; NG, Yih Yng; LEE, Vanessa Pei-Xuan; WONG, Ting Hway; FOOK-CHONG, Stephanie Man Chung; ONG, Marcus Eng

Hock. Factors affecting the ambulance response times of trauma incidents in Singapore. *Accid Anal Prev.* 2015 Sep;82:27-35. doi: 10.1016/j.aap.2015.05.007..

LARSON, Richard C., A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services, *Computers & Operations Research*, Volume 1, Issue 1, 1974, Pages 67-95, [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(74\)90076-8](https://doi.org/10.1016/0305-0548(74)90076-8).

LAZZARIN, Taline; et al. Post-Cardiac Arrest: Mechanisms, Management, and Future Perspectives. *Management, and Future Perspectives. J Clin Med.* 2022 Dec 29;12(1):259. doi: 10.3390/jcm12010259.

LAVONA, Eric J. et al. DESTAQUES DAS DIRETRIZES DE RCP E ACE DE 2020. *Sistemas de tratamento.* pg 30. AMERICAN HEART ASSOCIATION Disponível em: <https://cpr.heart.org/en/resuscitation-science/cpr-and-ecc-guidelines> Acesso em: 01 fev. 2024.

LIN, Adrian Xi; HO, Andrew Fu Wah; CHEONG, Kang Hao; LI, Zengxiang; CAI, Wentong; CHEE, Marcel Lucas; NG, Yih Yng; XIAO, Xiaokui; ONG, Marcus Eng Hock. Leveraging Machine Learning Techniques and Engineering of Multi-Nature Features for National Daily Regional Ambulance Demand Prediction. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* v. 17, Jun 2020.

LIMA, Camila Tereza; NETO, Cezarino Manoel de Santana. Desafios na atuação dos enfermeiros no serviço de atendimento móvel de urgência (SAMU) de uma cidade brasileira. *Brazilian Journal of Development.* 2021

LIMPATTANASIRI, Wisit. MAXIMAL COVERING LOCATION MODELS OF EMERGENCY AMBULANCE CONSIDERING HEAVY TRAFFIC CONGESTION IN URBAN AREAS. Kyoto University e 2013 Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/39305878.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2024.

LIU, Hsiao-Hsuan; CHEN, Albert Y.; DAI, Chun-Yi; SUN, Wei-Zen. Physical Infrastructure Assessment for Emergency Medical Response. *Journal of Computing in Civil Engineering*, Outubro 2014 doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000395.

LIU, Ming; YANG, Dapeng; HAO, Fengxia. Optimization for the Locations of Ambulances under Two-Stage Life Rescue in the Emergency Medical Service: A Case Study in Shanghai, China. ReserchGate 2017 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319387200_Optimization_for_the_Locations_of_Ambulances_under_Two-Stage_Life_Rescue_in_the_Emergency_Medical_Service_A_Case_Study_in_Shanghai_China . Acesso em: 31 jan. 2024.

LOPES, Sérgio Luiz Brasileiro. Uma Breve Revisão do Atendimento Médico Pré-Hospitalar. Pré-Hospitalar, GRAU, Secretaria de Estado de Saúde de São Paulo 2 ed. pg 5-12. 2003

MORAES, Paulo Alves Bezerra de; KLEIN, Paulo Henrique; GLOOR, Leonardo Lopes; MOULAZ, Caroline Maria; PIMENTEL, Luana Henriques. *Epidemiologia do Trauma* . Comitê Brasileiro das Ligas do Trauma. Brasil 2015.

NOGUEIRA JR, L. C. ;PINTO, L. R. ; SILVA, P. M. S. Reducing Emergency Medical Service response time via the reallocation of ambulance bases. *Pubmed*, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24744263/>. Acesso em: 04 fev. 2023.

NORMAN, E. McSwain.; SCOTT, Frame.; SALOMONE, Jeffrey P. PHTLS - Atendimento Pré Hospitalar ao Traumatizado. 8.ed. Editora Elsevier, 2017.

OLIVOS, Carlos; CACERES Hernan. Multi-objective optimization of ambulance location in Antofagasta, Chile. ResearchGate 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362810895_MULTI-OBJECTIVE_OPTIMIZATION_OF_AMBULANCE_LOCATION_IN_ANTOFAGASTA_CHILE. Acesso em: 04 fev.2023.

OLIVEIRA, Jeferson Cunha Et al. Influência da Localização Geográfica no Acesso às Terapias de Reperusão e Mortalidade de Pacientes com IAMcSST em Sergipe: . Arquivos Brasileiros de Cardiologia, v. 117, n. 1, p. 120-129, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36660/abc.20200015>. Acesso em: 24 jun. 2022.

WHO- World Health Organization **Cardiovascular diseases (CVDs)** [S.l]: who. 2021. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)) Acesso em: 01 fev. 2024.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. Organização Mundial da Saúde. Doenças Cardiovasculares. 2023. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/doencas-cardiovasculares> Acesso em: 01 fev. 2024.

PACHECO, Silvia. Balanço. Ministério da Saúde. Atualizado em 01/11/2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2019/setembro/mais-de-860-ambulancias-no-vas-reforcam-o-samu-192#:~:text=PANORAMA%20DO%20SAMU,com%20a%20cobertura%20do%20servi%C3%A7o> Acesso em: 01 fev. 2024.

PAZIN-FILHO, Antônio; SANTOS, José Carlos; CASTRO, Renato Barroso Pereira; BUENO, Cláudia Dizioli Franco; SCHMIDT, André.Parada cardiorrespiratória (PCR) Medicina (Ribeirão Preto) v. 36 n. 2/4 : abr./dez. 2003.

PORTARIA Nº 1.010, DE 21 DE MAIO DE 2012 MÁRCIA APARECIDA DO AMARAL A MINISTRA DE ESTADO DA SAÚDE, INTERINA

Disponível em:
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2012/prt1010_21_05_2012.html Acesso em:
 01 fev. 2024.

PORZER, Martin; MRAZKOVA, Eva; HOMZA, Miroslav; JANOUT, Vladimir. Out-of-hospital cardiac arrest. Biomedical Papers 161(4) 2017 doi:10.5507/bp.2017.054.

REUTER-OPPERMAN, Melanie; BERG, Pieter L.van; VILE, Julie L. Logistics for Emergency Medical Service systems. Ideas 2017. Disponível em:
<https://ideas.repec.org/a/taf/thssxx/v6y2017i3p187-208.html>. Acesso em: 04 fev.2023.

RHODES, Heather; ROURKE, Blaine; PEPE, Antonio. Ambulance Response in Eight Minutes or Less: Are Comorbidities a Factor. PubMed 2023. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36876582/>. Acesso em: 04 fev. 2023.

RIOS, Fabíola Ribeiro; GONSALVES, Eida Maria Borges; FERRI, Eduardo; FREITAS, Lucianna Aguilar; SHIMAZAKI, Maria Emi; MAFRA, Adriana de Azevedo et al,. Manual Atendimento de Urgência ao Paciente Vítima de Trauma. Secretaria de Estado da Saúde do Espírito Santo. 2018

ROGERS, Frederick B; RITTENHOUSE Katelyn J; GROSS Brian W. The golden hour in trauma: Dogma or medical folklore? Injury. 2015 Apr;46(4):525-7) Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25262329/>. Acesso 01 fev. 24.

ROSSITER, Nigel D. Trauma-the forgotten pandemic. International Orthopaedics. Jan;46(1):3-11. 2022 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34519840/>. Acesso em:
 01 fev. 2024.

SARAC, Tugba; ÖZER, Emine Akyol. Reducing ambulance response time: A Case Study. CIE44 & IMSS'14 Proceedings, Istanbul Turquia , p. 76-85, 14 a 16 Outubro 2014.

SAGE. Sala de apoio à Gestão Estratégica- Ministério da Saúde - SAMU 2012. Disponível em: <https://sage.saude.gov.br/paineis/samu/oquee.html>. Acesso em: 01 mar. 2024.

SAVC. Suporte Avançado de Vida Cardiovascular. Manual do Profissional. American Heart Association. Estados Unidos da América. 2019

SESA. Secretaria de Estado de Saúde do Paraná. Disponível em: <https://www.saude.pr.gov.br/>. 2022. Acesso em: 01 mar. 2024.

SHARABI, Alaa F.; SINGH, Abhishek. Cardiopulmonary Arrest in Adults. 2023 Jul 31. In: StatPearls . Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; Jan 2024.

SHIBER, Joseph. Early Descriptions of Closed-Chest Cardiac Massage. *JAMA*. 2014 ;312(4):437–438. doi:10.1001/jama.2014.7557.

SIMÕES, Romeo Lages; NETO, Caio Duarte; MACIEL, Gustavo Sasso Benso; FURTADO, Tatiana Piotz; PAULO, Danilo Nagib Salomão. Prehospital care to multiple victims with simulated trauma. *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões*. May-Jun;39(3):230-7. 2012.

SOBRINO, Justin; SHAFI, Shahid. Timing and causes of death after injuries. *Proc (Bayl Univ Med Cent)* . 2013 Apr;26(2):120-3. doi: 10.1080/08998280.2013.11928934.

Sociedade Brasileira de Cardiologia. Institucional. 2023 Disponível em: <https://www.portal.cardiol.br/>. Acesso em: 01 fev. 2024.

SUEOKA, Junia; ABGUSSEN, Carla. APH Resgate Emergência em Trauma. Elsevier. 1 ed pg 80-111. 2019.

TAKEDA, *et al.* Analysis of ambulance decentralization in an urban emergency medical service using the hypercube queueing model. Computers and Operations Research, v. 34, n. 3, p. 727–741, 2007.

TERZI, Ozlem; SISMAN, Aziz; CANBAZ, Sevgi; DUNDAR, Cihad; PEKSEN, Yildiz. A geographic information system-based analysis of ambulance station coverage area in Samsun, Turkey. Singapore Medical Journal , 2013.

TOREGAS, Constantine; SWAIN, Ralph, REVELLE, Charles; BERGMAN, Lawrence The Location of Emergency Service Facilities. Guidelines for the Practice of Operations Research. Operations Research, 19, 1259-1551. 1971.

TRINO, Alexandre Teixeira; COSTA, Antonio Fernando Carneiro de Campos; LIRA, Benedito Viana de; PAULA, Brenda Karla de; SELAU, Camila Cardoso; PERES, Carlos Alberto Rangearo; SILVEIRA, Cibeli de Lima Souza ; et al. SUPORTE AVANÇADO DE VIDA - Protocolo Samu 192. AT1 - Avaliação primária do paciente com suspeita de trauma ou em situação ignorada, AT2 - Avaliação secundária do paciente com suspeita de trauma, Ministério da Saúde. Brasília/ DF, 2014, atualizado 2016.

TSAO, Connie W.; et al. Heart Disease and Stroke Statistics—2023 Update: A Report From the American Heart Association. Circulation. Vol. 147, No. 8 2023 .

TRUNKEY D D , F R Lewis C C Baker, L Oppenheimer, B Stephens, Epidemiology of trauma deaths. Am J Surg . 1980 Jul;140(1):144-50. doi: 10.1016/0002-9610(80)90431-6.

UNITEKEMT. 16 Most Common EMS Emergencies for EMTs & Paramedics. Estados Unidos da América. Publicado em 5 de Novembro de 2020. Disponível em: <https://www.unitekemt.com/blog/most-common-ems-emergencies-for-emts-and-paramedics/>. Acesso em: 01 fev. 2024..

WEISFELDT, Myron L.; EVERSON-STEWART, Siobhan; SITLANI, Colleen; REA, Thomas; AUFDERHEIDE, Tom P.; ATKINS, Dianne L.; BIGHAM, Blair; BROOKS, Steven C.; FOERSTER, Christopher; GRAY, Randal; ORNATO, Joseph P.; POWELL, Judy; KUDENCHUK, Peter J.; MORRISON, Laurie J. Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. Ventricular tachyarrhythmias after cardiac arrest in public versus at home. *N Engl J Med*. 2011; 364:313–321. doi: 10.1056/NEJMoa1010663.

WILSON, Jorge L.; HERBELLA, Fernando A. M.; TAKASSI, Guilherme F.; MORENO, Danilo G.; TINELI, Ana C. Fatal trauma injuries in a brazilian big metropolis: a study of autopsies . *Rev Col Bras Cir*. Mar-Apr;38(2):122-6. 2011.

WILKINSON, Douglas; SKINNER, Marcus. Trauma Management in Locations with Limited Resources Course Manual. The Primary Trauma Care Foundation. 2018.

WHO, World Health Organization Injuries and Violence 19 March 2021
Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/injuries-and-violence>
Acesso em: 01 fev. 2024.

WYCKOFF, Myra H.; et al. 2022 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations: Summary From the Basic Life Support; Advanced Life Support; Pediatric Life Support; Neonatal Life Support; Education, Implementation, and Teams; and First Aid Task Forces. *Circulation*. 2022 Dec 20;146(25):e483-e557. doi: 10.1161/CIR.0000000000001095. 2022.

YAVARI Mohammad; MAIHAMI, Reza; ESMAEILI, Mahdis. Ambulance dispatching and relocation problem considering overcrowding of emergency departments. *IISE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 12:4, 263-274. 2022.

CAPÍTULO II

Simulação Geoespacial para Otimização de Localizações de Estações de Ambulâncias em uma Cidade de Médio Porte no Sul do Brasil: Um Estudo Utilizando o Problema de Localização de Máxima Cobertura (MCLP)

Victor Szabo¹, Vinícius Lopes Giacomini², Carlos Eduardo Arruda³, Mateus de Amorim Aboboreira, Felipe Hideaki Ueda, Gabriela Antum de Oliveira, Gustavo Cezar Wagner Leandro, Sanderland José Tavares Gurgel⁴, Alessandro Filla Rosaneli⁵, Miyoko Massago⁶, Luciano de Andrade⁷

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Gestão, Tecnologia e Inovação em Urgência e Emergência (PROFURG/UEM), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil.

²Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil.

³Mestre em Gestão, Tecnologia e Inovação em Urgência e Emergência (PROFURG/UEM), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil

⁴Professor Adjunto do Departamento de Medicina, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil.

⁵Docente do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

⁶Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil.

⁷Docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão, Tecnologia e Inovação em Urgência e Emergência (PROFURG/UEM), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil.

Autor de correspondência

Victor Szabo

Programa de Pós-graduação em Mestrado Profissional em Gestão, Tecnologia e Inovação em Urgência e Emergência

Avenida Mandacaru, 1590

CEP: 87020-900 - Maringá, Paraná, Brasil.

E-mail: victorszabo@outlook.com

Contato: (+55 44) 3011-9096

RESUMO

Neste estudo, analisamos o tempo de deslocamento das ambulâncias do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) em termos de cobertura territorial e populacional, para determinar se a realocação ou a adição de mais bases de ambulâncias oferecem melhor cobertura do que a base atual em um município de médio porte. Trata-se de um estudo observacional, ecológico e transversal, que propõe uma análise geoespacial da área de cobertura das ambulâncias do SAMU utilizando o Problema de Localização de Máxima Cobertura (MCLP) e simulações computacionais.

Ao longo de três anos, o SAMU respondeu a 25.516 ocorrências, das quais 1.019 foram atendidas pela ambulância de suporte avançado para pacientes em estado grave, com um tempo médio de resposta de $14,9 \pm 8,77$ minutos. As simulações mostraram que a localização atual da base do SAMU tinha uma cobertura de 32,97% das ocorrências em oito minutos e uma cobertura populacional de 20,03%. A alocação de uma segunda base aumentaria a cobertura de ocorrências e da população para 43,59% e 68,72%, respectivamente. O teste de Kruskal-Wallis revelou diferenças estatisticamente significativas entre os cenários analisados ($p < 0,05$).

Concluimos que a localização atual é ideal para um único centro de ambulâncias. No entanto, a adição de uma segunda base beneficiaria um maior número de pessoas e reduziria o tempo de deslocamento, possivelmente aumentando as chances de sobrevivência em casos críticos.

Palavras-chave: Transporte de Pacientes, Serviços Médicos de Emergência, Análise Espacial, Área de Abrangência em Saúde, Simulação Computacional, Ambulância, Atendimento Pré-Hospitalar.

Introdução

O crescente aumento da expectativa de vida da população nas áreas urbanas dos municípios, associado ao sedentarismo, doenças metabólicas e violência urbana, refletem diretamente no aumento da demanda dos Serviços de Atendimentos Pré-hospitalares (Nogueira Jr., 2014). A eficácia deste serviço depende de sua regularidade e do envio imediato das ambulâncias com a equipe médica, bem como do rápido atendimento dos enfermos, uma vez que existe uma relação inversa entre o tempo de espera pelo atendimento e a probabilidade de sobrevivência (Cummins, 1989), principalmente em traumas graves, onde aproximadamente 10% das vítimas vão ao óbito nos primeiros três a cinco minutos após o trauma, e entre 54 a 60% perdem a vida nos 30 minutos seguintes (Terzi *et al.*, 2013).

Em 2021, cerca de 3.270 óbitos foram decorrentes de parada cardiorrespiratória extra-hospitalar no Brasil. Já em 2022, ocorreram mais de 30.000 óbitos em decorrência de acidentes de trânsito no país (DATASUS 2023). O atendimento pré-hospitalar eficaz contribui para a maior sobrevida de pacientes graves e para a sua chegada com vida ao hospital (Rossiter, 2022). Outro fator é a desfibrilação precoce, dentro de cinco minutos após o início da PCR, que pode aumentar a taxa de sobrevivência para 50 a 70%. No entanto, a cada minuto de atraso reduz esta taxa em 7 a 10% (Bernoche *et al.*, 2019).

O tempo resposta, caracterizado pelo intervalo entre o pedido de socorro e a chegada da equipe na cena, é uma maneira de mensurar a eficácia dos serviços de atendimento pré-hospitalar (Chen *et al.*, 2016), não devendo ultrapassar oito minutos em emergências médicas (OMS *apud* Nogueira Jr., 2014). Diante disso, governos e órgãos reguladores de saúde têm explorado maneiras de otimizar esse intervalo de tempo para aprimorar o atendimento inicial e as operações de resgate, visando melhorar a qualidade dos serviços prestados aos pacientes (Pons & Markovchick, 2002).

Estudos prévios demonstraram que a localização das bases de ambulâncias é um fator controlável e que determina se uma ambulância poderá ou não atender o solicitante com o menor tempo resposta possível (Liu *et al.*, 2014). Para determinar a melhor localização pode-se utilizar programas computacionais como o sistema de informações geográficas (SIG) para análise e simulação de alguns fatores antes da tomada de decisão final (Santos & Ferreira, 2004), embora outros fatores possam comprometer o deslocamento de uma ambulância, como tráfego, qualidade das vias e mudanças climáticas (Lam *et al.*, 2015), tornando ainda mais necessário um planejamento para uma localização ótima.

O tempo resposta pode ser dividido entre tempo de regulação, que consiste no tempo entre o recebimento do chamado e o despacho do socorro, e o tempo de deslocamento, determinado pelo despacho até a chegada da ambulância ao local (Gentil, 2006). O tempo limite considerado como adequado para se realizar o deslocamento é de 6 minutos (Forastieri *et al.*, 2022).

É essencial que o planejamento urbano das cidades seja estratégico, para que atinja com êxito a sua finalidade: diminuir os problemas advindos da urbanização, através do remanejamento e revitalização da infraestrutura já existente (ABRAINC, 2022). Esse planejamento é o ponto central da mobilidade urbana do século 21 (ABRAINC, 2022), demonstrando, portanto, ser fundamental para o deslocamento dentro do tempo limite de resposta às urgências e emergências médicas.

Apesar de existirem estudos em geolocalização para identificar a distribuição ideal das bases de ambulâncias (Church & Reville, 1974, Brotcorne, 2003, Sun *et al.*, 2020, Bhardwaj *et al.*, 2020), propostos nas últimas décadas, no Brasil (Ferrari *et al.*, 2018) e em países com condições socioeconômicas e infraestrutura semelhantes, o desafio de atender pacientes dentro do intervalo de tempo resposta de oito minutos permanece ainda pouco explorado. O que demonstra uma lacuna significativa na literatura, oferecendo oportunidades para contribuições e avanços substanciais nesse campo de pesquisa (Takeda *et al.*, 2007). Essa lacuna é ainda mais evidente em análises de cidades de pequeno e médio porte, já que os estudos prévios concentram-se na análise de grandes metrópoles (Nogueira Jr., 2014).

Os poucos estudos encontrados a respeito de cidades de médio porte têm demonstrado bons resultados como o estudo de Antofagasta (Chile) onde 66,8% das ocorrências tinham um atendimento com um tempo-resposta de 8 minutos. Olivos e Caceres (2020) conseguiram aumentar a área de cobertura para 99%. Em Fayetteville (Estados Unidos da América), o modelo proposto conseguiu elevar a área de cobertura de 75% para 85% num tempo resposta de 8 minutos (Tavakoli & Lightner, 2004).

O objetivo do presente trabalho foi analisar o tempo de deslocamento das ambulâncias do SAMU em um município de médio porte, utilizando simulação geoespacial para determinar se a localização atual da base de ambulâncias é adequada ou se a adição de uma segunda base seria mais eficaz para reduzir o tempo resposta em situações de emergência médica.

Materiais e Métodos.

Tipo e local do estudo

Este é um estudo observacional, ecológico e transversal que utiliza simulação geoespacial para otimizar o dimensionamento e a localização de bases de ambulâncias em um município de médio porte. O estudo seguiu o protocolo STROBE (Strengthening the Notification of Observational Studies in Epidemiology) (Cuschieri, 2019).

Arapongas, localizado na região norte-central do estado do Paraná, é um município de médio porte com 382,215 km², latitudes entre 23°54'94'' e 23°34'23'', e longitudes entre 51°59'54'' e 51°30'13'' (Figura 1). A cidade possui uma população de 119.138 habitantes e uma densidade demográfica de 311,43 hab/km² (IBGE, 2022) e apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano de 0,748 (IPARDES, 2024). A economia local é baseada na agropecuária, serviços e principalmente na indústria moveleira (AEN, 2019). O município conta com 27 Unidades Básicas de Saúde, uma Unidade de Pronto Atendimento (UPA) que faz parte da rede de urgência e emergência, oferecendo atendimento intermediário entre as Unidades Básicas de Saúde (UBS) e três hospitais, sendo um de nível terciário e dois de nível secundário. A cidade possui uma base de ambulâncias contendo uma unidade (ambulância) de Suporte Avançado (USA), três Unidades de Suporte Básico (USB) (SAUDE, 2023).

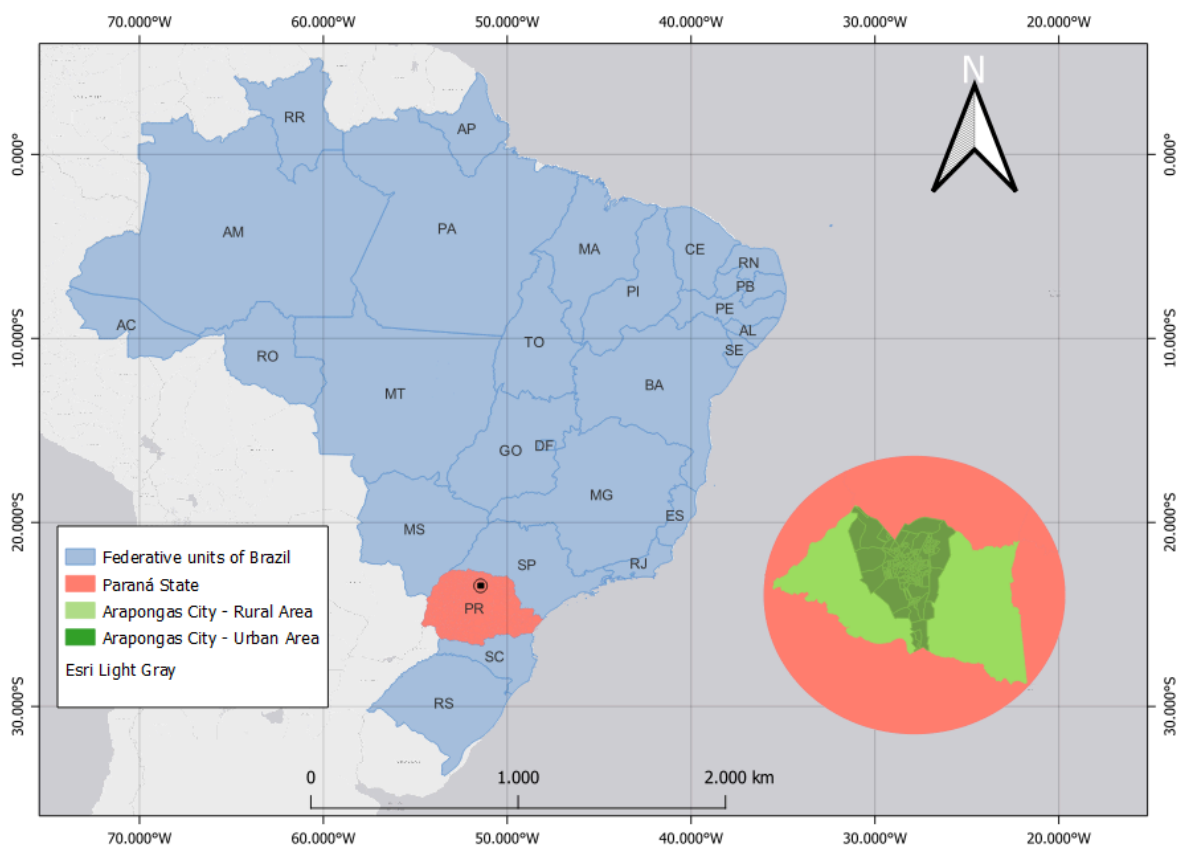


Figura 1: Localização do município de Arapongas no estado do Paraná

Fonte de dados

Foram obtidos dados secundários do tempo de resposta às chamadas das ambulâncias do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU), o qual representa o intervalo de tempo entre a entrada da chamada na central de regulação médica e a chegada da equipe ao local solicitado (cena do evento). Esses dados foram coletados a partir dos registros de atendimento do SAMU, entre julho de 2019 a julho de 2022, disponibilizados pela Secretaria da Saúde do Estado do Paraná através do site <https://www.saude.pr.gov.br>. As informações sobre a contagem populacional do município foram obtidas através de dados do censo demográfico de 2022 agregados por setores censitários (IBGE, 2022).

As bases cartográficas do município com os setores censitários e arruamentos foram extraídas do Portal de Mapas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em formato Shapefile (IBGE 2022) e do projeto OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/>) em formato Raster, ambos fontes de código aberto e de livre acesso.

Seleção das ocorrências

O banco de dados do SAMU, cedido pela Secretaria da Saúde do Estado do Paraná, originalmente continha 41.345 registros. Devido ao grande volume de informações, optou-se por utilizar uma amostra de conveniência, concentrando-se nas 3.377 ocorrências atendidas pela Unidade de Suporte Avançado, que representavam os casos mais críticos. Destas, 1.091 ocorrências foram excluídas por não apresentarem dados sobre o tempo de resposta. Em seguida, foram removidas 112 ocorrências com tempo de resposta superior a 60 minutos, supostamente por erros de digitação, além de 5 ocorrências devido a discrepâncias na idade dos indivíduos atendidos. Posteriormente, 119 ocorrências relacionadas a transferências inter-hospitalares e 31 ocorrências fora do perímetro urbano ou sem endereço também foram descartadas. Após todas essas exclusões, 1.019 ocorrências foram georreferenciadas para a simulação de dados espaciais.

Análise Geoespacial

Para a simulação geoespacial, foram georreferenciadas as Unidades Básicas de Saúde (UBS) e Pronto Atendimento como possíveis bases candidatas a uma melhor localização, visando uma cobertura mais eficaz da população na área urbana. Além disso, as 1.019 ocorrências já descritas anteriormente foram selecionadas e designadas como pontos de demanda e ou ocorrências reais. O deslocamento das ambulâncias foi modelado utilizando as vias municipais e trechos de rodovias federais e estaduais dentro do perímetro urbano do município. O tempo limite considerado adequado para o deslocamento foi de 6 minutos a partir do despacho da ambulância, levando em conta um tempo-resposta total de 8 minutos, o qual inclui 2 minutos iniciais para regulação médica (Forastieri et al., 2022). Para facilitar a visualização dos resultados, foram criados mapas coropléticos utilizando o software de Sistema de Informação Geográfica (GIS), especificamente o QGIS (Quantum Geographic Information System), versão 3.24.2 (QGIS, 2022).

Modelagem Matemática

Para a determinação do melhor local para a alocação da base do SAMU, foi utilizado o método MCLP, que é um problema matemático de otimização que busca a localização ideal de uma instalação, para otimizar o acesso a pontos de demanda em uma rede de deslocamento (Church & ReVelle 1974). O objetivo desta técnica é maximizar a cobertura dentro de uma distância pré-determinada de um serviço, a partir de um número fixo de pontos candidatos (Church & ReVelle 1974, Bhardwaj *et al.*, 2020). A aplicação do MCLP exige a disponibilidade de três conjuntos de dados essenciais: um conjunto de pontos de demanda; um conjunto de pontos candidatos para alocação da base; e uma matriz de distâncias, que calcula a distância de rede entre cada ponto candidato e cada ponto de demanda (Brotcorne, 2003).

Na fórmula abaixo, o objetivo da função (1) é maximizar a cobertura da demanda, representada pela soma das demandas dos nós que estão efetivamente cobertos por pelo menos uma base de ambulância, garantindo que o maior número possível de pessoas ou ocorrências esteja a uma distância aceitável de uma base. A restrição (2) controla o número de bases de ambulância a serem consideradas para a solução, limitando-as a um valor máximo K . Essa restrição é essencial para garantir que a solução respeite os recursos disponíveis, permitindo a instalação de um número limitado de bases. A restrição (3) indica que um nó de demanda é considerado coberto se, e somente se, houver pelo menos uma base candidata j dentro do alcance especificado. Isso significa que a distância ou o tempo entre o nó de demanda i e a base j deve ser igual ou inferior ao parâmetro de alcance definido. A variável binária (4) assume o valor 1 se o nó de demanda i estiver coberto por pelo menos uma base j ; caso contrário, o valor será 0. Essa variável é fundamental para a interpretação dos resultados, pois define claramente quais nós estão efetivamente cobertos. Como resultado, o modelo fornecerá uma solução que identifica os nós de demanda cobertos dentro das limitações impostas, bem como as bases selecionadas para otimizar a cobertura da demanda (Church & ReVelle, 1974). Os modelos matemáticos da simulação foram solucionados pelo Gurobi Optimizer versão 10.0.2, sendo o método utilizado: Gurobi Set Cover (Buchanan, 2022).

$$\text{Maximizar} \quad \sum_{i \in I} d_i y_i \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_{j \in J} x_j = K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$x_j, y_i = 0, 1 \quad (4)$$

Onde $X_j = 1$, se a estação estiver localizada em J , 0 se não estiver.

$Y_i = 1$, se o nó de demanda i é coberto, 0 se não for.

Delimitando pontos de demanda

Os pontos de demanda foram distribuídos em três conjuntos de dados: contagem populacional, ocorrências reais e ocorrências simuladas. Para a análise da contagem populacional, foram utilizados dados referentes ao censo demográfico de 2022, desagregados por setores censitários. Os valores populacionais foram associados aos centroides de cada setor censitário e adotados como pontos de referência para a demanda. Esses valores foram incorporados como pesos no modelo, buscando otimizar a cobertura através da sua soma.

Para os pontos de demanda relativos às ocorrências reais, utilizou-se a localização das 1019 ocorrências previamente selecionadas, entre os anos de 2019 e 2022. Esses pontos foram georreferenciados utilizando o pacote tidygeocoder do programa RStudio versão 4.1 (<https://jessecambon.github.io/tidygeocoder/>), e utilizados na simulação para avaliar a cobertura de ocorrências. Esses pontos foram denominados de Ocorrências Reais.

Por fim, os pontos de ocorrências simuladas foram gerados levando em consideração o peso populacional dos setores censitários como determinante para a maior concentração de ocorrências. Isso significa que áreas com uma contagem populacional mais alta tiveram uma proporção maior de pontos simulados, refletindo a distribuição populacional da cidade de Arapongas. Com o auxílio da biblioteca GeoPandas, versão 1.0.1, em linguagem Python, foi criada uma distribuição aleatória ponderada de 7000 pontos. Sendo que este número representa a média anual dos atendimentos realizados por todas as viaturas do SAMU no município de Arapongas nos anos analisados. Esses pontos foram organizados de acordo com o valor populacional de cada setor censitário da área urbana do município.

Escolha das bases candidatas

Para a escolha das bases candidatas por meio da simulação geoespacial, foram considerados espaços públicos com a melhor distribuição territorial na malha urbana do município, que pudessem ser facilmente designados como bases de ambulâncias sem grandes dificuldades para a gestão municipal. Dessa forma, foram mapeados 32 pontos candidatos como possíveis bases do SAMU. Esses pontos incluem Unidades Básicas de Saúde e unidade de Pronto Atendimento (pontos candidatos 1 a 30), além da base atual (ponto 31), conforme os dados de 2022 disponíveis no site oficial do município de Arapongas (<https://www.arapongas.pr.gov.br/>). Adicionalmente, foi considerado um imóvel (ponto 32), uma casa com terreno de 1000 metros quadrados, onde a gestão municipal demonstrou interesse em realocar a base atual.

Geração das matrizes de tempo

Foram geradas matrizes que contêm o tempo e distância entre cada um dos pontos de partida (localização da base candidata) e os pontos finais, para as três propostas de otimização (pontos de contagem populacional, pontos de ocorrências reais e pontos de ocorrências simuladas) ou seja foram geradas 3 matrizes diferentes, nomeadas como Matriz de Contagem Populacional, Matriz de Ocorrências Reais e Matriz de Ocorrências Simuladas. Na Matriz de Ocorrências Reais, foi calculado a distância da base candidata 1 e para cada um dos 1019 pontos (que correspondentes às ocorrências) foi calculado, além da distância, o tempo que é necessário para percorrer a distância da base candidata 1 ao ponto específico da ocorrência (tempo de deslocamento), sucessivamente gerando uma matriz com esses valores. Na Matriz de Contagem Populacional, foram calculadas as distâncias e os tempos de deslocamento entre todas as bases candidatas e os pontos que representam a contagem populacional (centróides). Da mesma forma, para as Ocorrências Simuladas, foram calculadas as distâncias e os tempos de deslocamento entre cada uma das 32 bases candidatas e todas as 7.000 ocorrências simuladas. Para o cálculo do tempo de deslocamento, foi usada a velocidade máxima permitida da via, sem penalidades para tráfego (trânsito local), ou dificuldades de manobra da via. Para o cálculo de distância e tempo, foi utilizado o trajeto com a via de acesso com o menor tempo possível de deslocamento (*MODE: Fastest*). Para isso, foi utilizado a API Valhalla versão 2.4.1 <https://gis-ops.com/valhalla-qgis-plugin/>. O Valhalla é uma interface gratuita e de código aberto que oferece serviços de roteamento, com extensão disponível para o software QGIS.

Definição dos cenários

Foram propostos 12 cenários para avaliar a efetividade da base atual de ambulâncias e verificar se a adição de uma segunda base poderia melhorar o tempo de deslocamento (Tabela 1). Todos os cenários utilizaram os mesmos pontos de demanda: contagem populacional, ocorrências reais e ocorrências simuladas.

- **Cenários 1, 2 e 3:** Consideram um sistema com Base 31 (atual). A diferença entre eles está nos pontos de demanda: contagem populacional (Cenário 1), ocorrências reais (Cenário 2) e ocorrências simuladas (Cenário 3).

- **Cenários 4, 5 e 6:** Avaliam duas bases, mantendo a Base 31 (atual) e adicionando uma nova base otimizada. Os pontos de demanda são os mesmos: contagem populacional (Cenário 4), ocorrências reais (Cenário 5) e ocorrências simuladas (Cenário 6).
- **Cenários 7, 8 e 9:** Excluem a Base 31, simulando uma única base nova em diferentes localizações, com os mesmos pontos de demanda: contagem populacional (Cenário 7), ocorrências reais (Cenário 8) e ocorrências simuladas (Cenário 9).
- **Cenários 10, 11 e 12:** Também sem a Base 31, simulam duas novas bases, utilizando novamente os pontos de demanda: contagem populacional (Cenário 10), ocorrências reais (Cenário 11) e ocorrências simuladas (Cenário 12).

O objetivo desses cenários foi identificar a configuração de bases que proporcionam o menor tempo de deslocamento, maximizando a cobertura tanto para ocorrências reais quanto simuladas, além da cobertura populacional a partir do centroide. As análises foram focadas exclusivamente no perímetro urbano do município para garantir relevância na comparação de cenários. Outros cenários foram considerados, mas descartados por apresentarem soluções inviáveis ou inferiores.

Comparação do tempo de deslocamento das ambulâncias

Para identificar diferenças nos tempos de deslocamento das ambulâncias, foram comparadas as medianas dos tempos entre os três conjuntos de dados: cenários de contagem populacional, ocorrências reais e ocorrências simuladas. Como o teste de Kolmogorov-Smirnov rejeitou a hipótese de normalidade em ambos os casos, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis para avaliar se existiam diferenças estatisticamente significativas entre esses cenários. Para explorar as diferenças entre os cenários de ocorrências reais e simuladas, foi realizado o teste post-hoc de Dunn (Dunn, 1964). Todas as análises foram conduzidas com as bibliotecas SciPy (Virtanen et al., 2020) para estatísticas e scikit-posthocs (Terpilowski, 2019), box plot matplotlib (Hunter, 2007) utilizando a linguagem Python.

Aspectos Éticos.

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo os Seres Humanos da Universidade Estadual de Maringá, Paraná - Brasil, sob o Parecer: 6.187.271/2023.

Resultados

Dentre os 1.019 pacientes atendidos pela unidade de suporte avançado do SAMU no conjunto de ocorrências reais, durante o período analisado, 631 (61.92%) eram do sexo masculino, com uma idade média de 48 ± 24.47 anos. A distribuição etária mostrou que 5.27% tinham entre 0 e 9 anos, 6.53% entre 10 e 19 anos, 57.98% entre 20 e 64 anos, e 30.22% tinham mais de 65 anos.

Os atendimentos foram divididos quanto a sua origem, 618 (60.65%) foram de origem clínica, sendo que as crises convulsivas foram as de maior número (137), seguidas por inconsciência/desmaio (120) e as de provável causa cardíaca somaram (94), sendo 29 PCRs. Os atendimentos por traumas foram 401 (39.35%), os de maior número foram os acidentes envolvendo colisões de motos com carros (54), seguido por queda de altura (37). A média de tempo resposta do SAMU dentro do município foi de 14.9 ± 8.77 minutos.

Simulação com uma Única Base

Na análise de simulações com uma única base candidata, contemplando uma isocronia de deslocamento de 6 minutos (360 segundos), sendo os pontos de demanda referentes à contagem populacional (Cenário 1), para o número de ocorrências (Cenário 2) e para o número de ocorrências simuladas (Cenário 3), indicando a Base 31 (Base atual) como a base de melhor cobertura para esses três cenários. Esta base apresentou uma cobertura da contagem populacional equivalente a 23.824 habitantes, correspondendo a 20,27% da população total. Foram um total de 336 (32,97%) ocorrências reais cobertas. E ela conseguiu atender 1.459 (20,84%) das 7.000 ocorrências simuladas dentro do tempo de deslocamento estipulado.

No caso de uma eventual realocação da Base 31, foram simulados três cenários alternativos. No Cenário 7, que considerou a contagem populacional, a Base 27 foi a mais otimizada, cobrindo 21.740 habitantes, o que equivale a 18,50% da população total, representando uma redução de 8,75% em relação à cobertura proporcionada pela Base 31. Já no Cenário 8, focado nas ocorrências reais, a Base 11 foi selecionada como a melhor opção, cobrindo 327 ocorrências reais (32,09%), apenas 2,68% a menos do que a cobertura da Base 31. No Cenário 9, que utilizou ocorrências simuladas, a Base 8 apresentou a melhor cobertura, atendendo a 1.382 ocorrências simuladas (19,74%), o que é 5,28% menor do que a cobertura proporcionada pela Base 31.

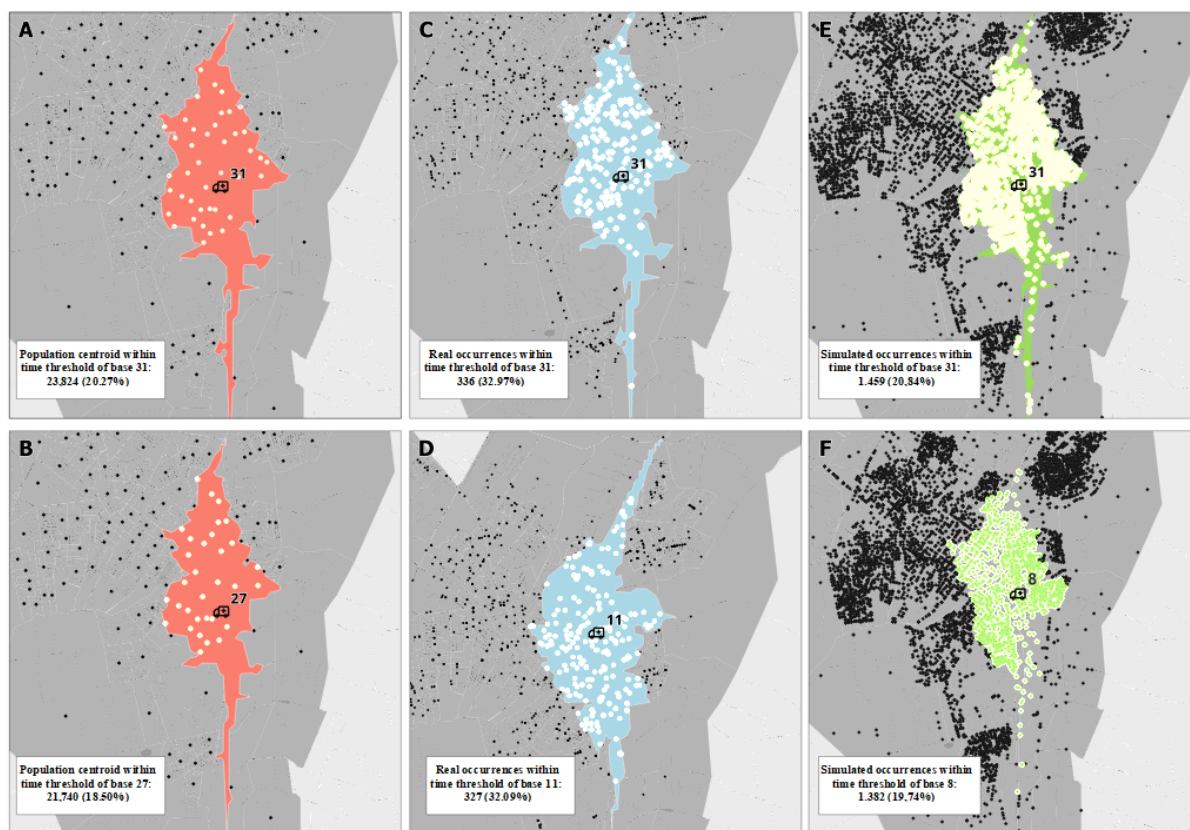


Figura 2. Limites de Isocronia para uma base. (A) Limite do tempo de deslocamento da base 31 com a contagem populacional. (B) Limite do tempo de deslocamento da base 27 com a contagem populacional. (C) Limite do tempo de deslocamento da base 31 com as ocorrências reais. (D) Limite do tempo de deslocamento da base 11 com as ocorrências reais. (E) Limite do tempo de deslocamento da base 31 com as ocorrências Simuladas. (F) Limite do tempo de deslocamento da base 8 com as ocorrências Simuladas.

Simulação com Duas Bases

Nas simulações com duas bases de ambulâncias, a Base 31 foi pré-selecionada, dado seu desempenho superior nas análises de cobertura ao ser considerada como única base. No Cenário 4, que utilizou a contagem populacional como referência, as Bases 19 e 31 foram identificadas como as localizações ideais, garantindo uma cobertura de 42.708 pessoas, o que corresponde a 36,35% da população total. Esse resultado destaca o potencial aumento de cobertura ao adicionar uma segunda base, especialmente em áreas densamente povoadas. No Cenário 5, que se baseou nas ocorrências reais como pontos de demanda, as Bases 15 e 31 foram selecionadas, cobrindo 501 ocorrências representando 49,19% do total de 1.019 ocorrências. No Cenário 6, com pontos de demanda baseados em ocorrências simuladas, as mesmas Bases 15 e 31 foram novamente as mais eficientes, com uma cobertura de 2.544 ocorrências, ou 36,34% do total. Em uma segunda rodada de simulações, sem a pré-seleção da Base 31, observou-se o seguinte: no Cenário 10, com a contagem populacional como critério, as Bases 19 e 27 foram identificadas como as melhores localizações, cobrindo 40.624 habitantes, o que equivale a 34,57% da população. No Cenário 11, com foco na cobertura de ocorrências reais, as Bases 15 e 27 se destacaram, alcançando 487 ocorrências, ou 47,79% do total. No Cenário 12, que utilizou pontos de demanda simulados, as Bases 8 e 15 foram as mais eficazes, cobrindo 2.452 atendimentos, ou 35,02% das ocorrências simuladas. Portanto, as Bases 15 e 27 emergiram como as localizações de maior eficiência em cenários sem pré-seleção da Base 31, enquanto a combinação de Bases 15 e 31 foi mais eficaz nos cenários onde esta última foi pré-selecionada. Esses achados sugerem uma importante melhoria na cobertura das ocorrências reais e simuladas ao adotar duas bases estrategicamente posicionadas, ajustando-se de acordo com o tipo de demanda.

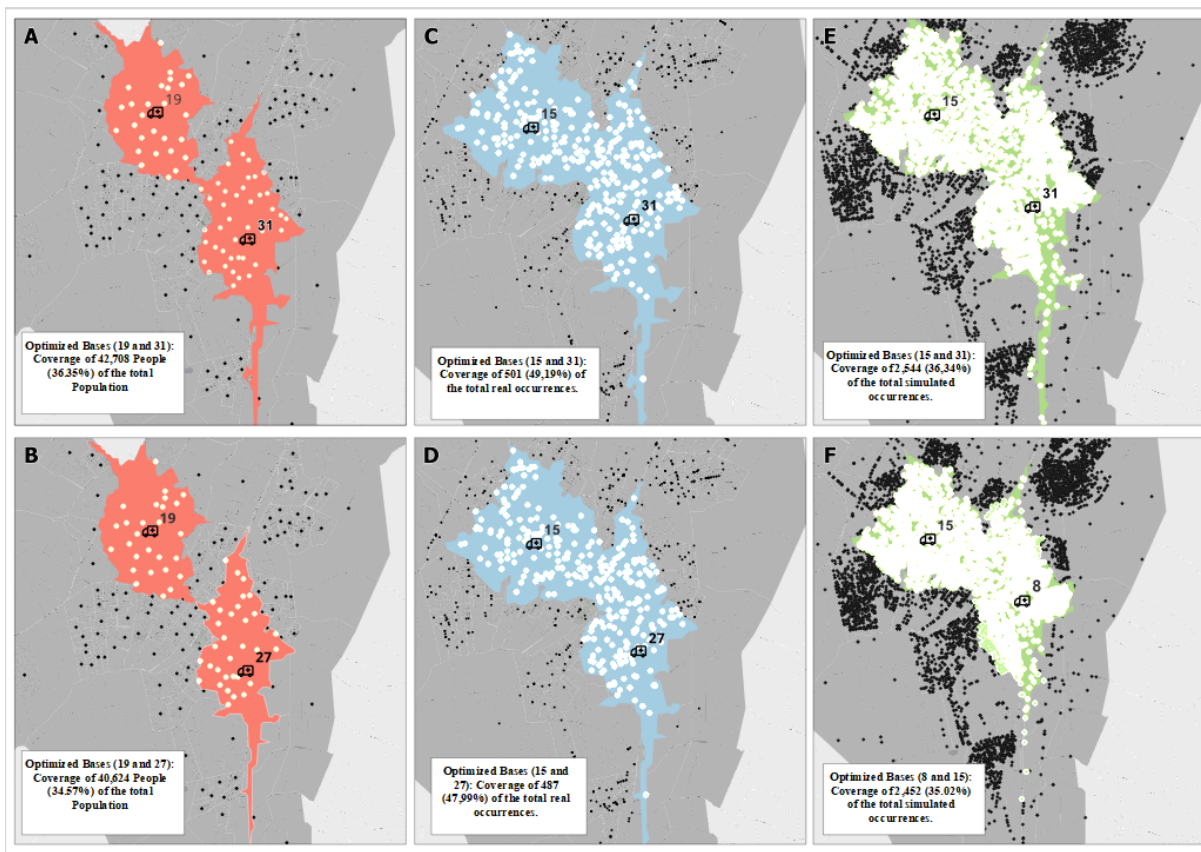


Figura 3. (A) Limite do tempo de deslocamento das bases 19 e 31 com a contagem populacional. (B) Limite do tempo de deslocamento das bases 19 e 27 com a contagem populacional. (C) Limite do tempo de deslocamento das bases 15 e 31 com as ocorrências reais. (D) Limite do tempo de deslocamento das bases 15 e 27 com as ocorrências reais. (E) Limite do tempo de deslocamento das bases 15 e 31 com as ocorrências Simuladas. (F) Limite do tempo de deslocamento das bases 8 e 15 com as ocorrências Simuladas.

Tempos de Deslocamento

Na análise dos tempos de deslocamento das ambulâncias para os diferentes cenários e tipos de demanda, os resultados indicam que, para a contagem populacional, os tempos foram os mais elevados. Considerando uma base, a Base 31 apresentou uma mediana de $648,6 \pm 339,1$ segundos. Ao utilizar duas bases (Bases 19 e 31), o tempo de resposta mediano foi reduzido para $496,7 \pm 261,1$ segundos, sugerindo uma melhor cobertura e tempo de resposta mais eficiente com a utilização de duas bases.

Em relação às ocorrências reais, a Base 31 obteve o menor tempo de resposta com uma base, registrando uma mediana de $529 \pm 283,9$ segundos, destacando-se pela sua eficiência. Quando foram simuladas duas bases (Bases 15 e 31), o tempo de deslocamento foi reduzido para uma mediana de $403,3 \pm 214,4$ segundos, indicando uma melhora significativa no tempo de resposta com a distribuição das ambulâncias em dois locais.

Nos cenários de ocorrências simuladas, a Base 31, com uma base, teve uma mediana de $638 \pm 299,7$ segundos. Quando foram utilizadas duas bases (Bases 15 e 31), o tempo de resposta foi reduzido para uma mediana de $482,5 \pm 233,4$ segundos, demonstrando que as simulações seguiram um padrão semelhante ao observado nos dados reais, com melhor desempenho ao distribuir as ambulâncias em mais de uma base.

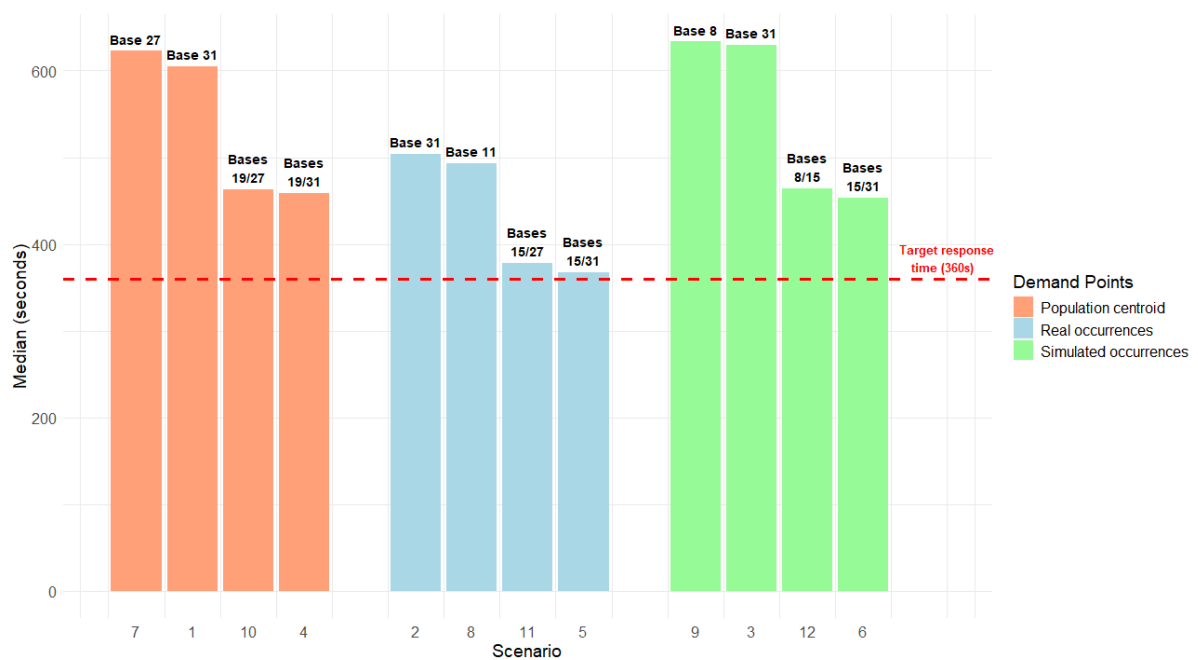


Figura 4 - Mediana dos tempos de deslocamento. Aferição em segundos do menor tempo de cada base correspondente ao seu cenário. Linha Tracejada Vermelha: Representa o limite de 360 segundos como uma linha de referência para avaliar o tempo de deslocamento ideal.

Análise Comparativa dos Tempos de Deslocamento por Cenários

Figura 5 - Mediana dos tempo de deslocamento de cada cenário correspondente

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis sobre a contagem populacional (Figura 5) indicaram diferenças significativas entre os cenários analisados ($p < 0,05$). O teste de Dunn, com ajuste de Bonferroni, revelou que as comparações entre os cenários 1 vs. 4 ($p\text{-adj} = 6,56e-05$), 10 vs. 4 ($p\text{-adj} = 8,06e-06$), 1 vs. 7 ($p\text{-adj} = 1,82e-04$), e 10 vs. 7 ($p\text{-adj} = 2,45e-05$) foram estatisticamente significativas.

Para as ocorrências reais, o teste de Kruskal-Wallis também indicou diferenças significativas entre os cenários ($p < 0,05$). O teste de Dunn, com ajuste de Bonferroni, identificou comparações estatisticamente significativas entre os cenários 11 vs. 2 ($p\text{-adj} = 2,28e-17$), 11 vs. 5 ($p\text{-adj} = 2,54e-20$), e 5 vs. 8 ($p\text{-adj} = 5,65e-23$). No entanto, as comparações entre os cenários 2 vs. 5 e 11 vs. 8 não foram significativas ($p > 0,05$).

Em relação às ocorrências simuladas, o teste de Kruskal-Wallis novamente revelou diferenças significativas entre os cenários. O teste de Dunn, com ajuste de Bonferroni, apontou comparações significativas, como entre os cenários 12 vs. 3 ($Z = 30.998$, $p\text{-adj} = 3,40e-210$), 12 vs. 6 ($Z = 33.109$, $p\text{-adj} = 1,33e-239$), e 3 vs. 6 ($Z = 2.110$, $p\text{-adj} = 2,08e-01$). Outras comparações relevantes incluíram os cenários 12 vs. 9 ($Z = 1.296$, $p\text{-adj} = 1,00$) e 3 vs. 9 ($Z = -29.702$, $p\text{-adj} = 4,33e-193$), bem como entre os cenários 6 vs. 9 ($Z = -31.812$, $p\text{-adj} = 2,61e-221$).

Discussão

Até onde sabemos, este é o primeiro estudo a analisar se a realocação de bases ou adição de estações de ambulância oferecem melhor cobertura do que a estação atual em uma cidade de médio porte no Brasil. Em nossos resultados, a alocação de uma segunda base fugiria do cenário atual de cobertura de 32,97% das ocorrências e cobertura populacional de 20,03%, aumentando a cobertura incidente e populacional para 43,59% e 68,72%, respectivamente. Dentre todas as bases analisadas, a base atual (31) apresentou a melhor localização, mas provou não ser auto-suficiente para suprir demanda populacional. Também houve aumento na cobertura populacional quando duas bases foram alocadas, sendo que o melhor resultado obtido foi a alocação da base 19 com a base 31 (aumento da cobertura populacional para 79,17%). Ademais, a melhor localização com duas bases apresentou uma redução no tempo médio de deslocamento de 125,68 segundos quando comparado a melhor localização de uma única base.

Na execução dos modelos para a cidade de Arapongas, levando em consideração os modelos com apenas uma base de ambulâncias, a Base 31 apresentou os melhores resultados. Quando esta base foi excluída das análises observou-se uma piora na cobertura quanto aos pontos de demanda em todos os cenários e uma piora nos tempos de deslocamento, indicando que a base 31 está na melhor localização quanto a contagem populacional, ocorrências reais e simuladas.

Para as ocorrências reais avaliadas nesta pesquisa, 2/3 das ocorrências estavam fora de raio de deslocamento de 6 minutos da base 31. Sendo que Rhodes (2023) descreve em seu estudo que o tempo ideal de deslocamento deve compreender 90% das ocorrências graves. Assim, apesar da localização da única base de ambulância estar correta, ela não é suficiente para suprir as demandas populacionais atuais.

Quando alocada duas bases de ambulâncias (Bases 19 e 27) houve um aumento da cobertura populacional para 34,15%, já a base 15 junto com 31 demonstrou um aumento na cobertura de ocorrências reais para 49,19%, um aumento na cobertura das ocorrências simuladas para 36,34%. Quando referente a cobertura populacional a cobertura das bases 19 e 31 representam um aumento de 79,17%.

Os modelos em MCLP tem como objetivo uma melhor cobertura, porém, um outro parâmetro que vem a ser aprimorado em consequência a sua aplicação é o tempo de deslocamento e assim o tempo resposta (Bhardwaj *et al.*, 2020, Grot *et al.*, 2022, Gunnarsson *et al.*, 2023). Principalmente quando comparado os cenários com uma e duas bases, sendo que a melhor localização com duas bases apresentou uma redução no tempo médio de deslocamento de 125,68 segundos quando comparado a melhor localização de uma única base.

Apesar do cenário com apenas uma única base de ambulâncias ter provado-se insuficiente e a implementação de uma segunda base ter demonstrado uma melhora significativa, alguns estudos demonstraram que alocar ambulâncias em locais estratégicos ou aumentar o número de bases é mais efetivo no tempo resposta que aumentar o número de ambulâncias (Hashtarkhani *et al.*, 2023). Por isso, outros modelos também devem ser avaliados antes de uma decisão final. Tais modelos devem analisar bases de ambulâncias móveis, implementação de motolâncias ou até mesmo modelos dinâmicos como os de Kolesar & Walker (1974) devem ser considerados. Esses podem ser usados na alocação em tempo real em diferentes regiões da cidade (Sun *et al.*, 2020). Estacionamentos, postos de combustível ou até outras unidades de saúde que tenham espaço para a parada de ambulâncias têm potencial de servirem como base temporária.

Estas informações podem auxiliar os gestores de saúde a definirem o melhor local para alocação das ambulâncias e a quantidade de bases (Tavakoli & Lightner, 2004, Tassone & Choudhury, 2020). Porém, algumas limitações ainda permanecem, em primeiro lugar, o uso de dados secundários pode gerar sobre ou sub ajuste dos resultados decorrentes da obtenção de informações como o endereço, tempo-resposta e tipo de trauma, demonstrando a importância da capacitação dos profissionais que realizam o preenchimento do mesmo. Em segundo lugar, os modelos adotados assumem que sempre existirá uma viatura disponível na base (Church & Revelle, 1974), o que pode não corresponder ao cenário real, onde as viaturas podem estar em atendimento em outro local. Por fim, embora os modelos de simulação de alocação de ambulâncias sejam amplamente utilizados, no Brasil, eles carecem de confirmação, o que só é possível por meio da localização em tempo real das ambulâncias pela monitorização do deslocamento via GPS.

Deve-se abordar as limitações identificadas neste estudo, buscando soluções que possam aprimorar a coleta de dados, como a inclusão de informações detalhadas sobre endereços e tempos de resposta nas fontes de dados secundários. Buscar a confirmação e validação dos modelos de simulação para alocação das centrais de ambulância, assegurados por meio de monitoramento em tempo real via GPS (Olivos & Caceres, 2020), representam um caminho para assegurar as estratégias propostas neste trabalho. A integração de tecnologias emergentes e parcerias com a administração pública e instituições de saúde pode proporcionar um avanço substancial nesse sentido. Em adição, a continuidade da pesquisa junto com a inovação tecnológica, incluindo dados atualizados e a expansão para outras cidades, pode enriquecer a compreensão das dinâmicas dessas regiões e contribuir para a formulação de políticas válidas no âmbito da assistência do atendimento de emergência, visando melhorar o sistema de atendimento do serviço pré-hospitalar.

Conclusão

O MCLP demonstrou ser um modelo bem sucedido na otimização da localização da base de ambulâncias no município de Arapongas/PR. A restrição de uma única base mostrou não ser suficiente para atender a demanda municipal. Para aumentar a cobertura populacional ou de ocorrências é importante a expansão no número de bases de ambulâncias, especialmente em locais estratégicos identificados pelos modelos de simulação. Contudo, é fundamental realizar uma análise contínua para avaliar a dinâmica da demanda e garantir que as bases adicionais sejam distribuídas de maneira equitativa considerando o tempo de deslocamento.

Referências.

ABRAINC. Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias. 2022. *O que é planejamento urbano e a sua importância para cidades do futuro*. Disponível em: <https://www.abrainc.org.br/sustentabilidade-e-urbanismo/2022/05/02/o-que-e-planejamento-urbano-e-a-sua-importancia-para-cidades-do-futuro/>. Acessado em: 7 nov. 2024.

AEN. Agências de Notícias do Estado do Paraná. *Governador destaca importância do polo moveleiro de Arapongas*. 2019 Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/arquivo>. Acessado: 28 nov. 2023.

BERNOCHE, et al. Atualização da Diretriz de Ressuscitação Cardiopulmonar e Cuidados Cardiovasculares de Emergência da Sociedade Brasileira de Cardiologia - 2019. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 113, n. 3, p. 449-663, 2019. DOI: 10.5935/abc.20190203.

BHARDWAJ, Aaditya; DANIELLS, Libby; D'ARCY, Eleanor; RANDALL, Matthew. *Ambulance Location Models* STOR-i CDT, Lancaster University. 2020.

BROTCORNE, Luce; LAPORTE, Gilbert; SEMET, Frédéric. Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research* v. 147, n. 3, p. 16. June Pages 451-463 2003. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221702003648>. Acesso em: 01 fev. 2024

BUCHANAN, Austin L. Location Models. Gurobi_Set_Cover. github. 2022 Disponível em: https://github.com/AustinLBuchanan/Location_Models/blob/main/Gurobi_Set_Cover.ipynb. Acesso em: 01 fev. 2024.

CHEN, Albert Y.; LU, Tsung-Yu; MA, Matthew Huei-Ming; SUN, Wei-Zen.. Demand Forecast Using Data Analytics for the Preallocation of Ambulances. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, v. 20, n. 4, p. 1178-1187, Julho 2016

CHURCH, Richard; REVELLE, Charles R. The Maximal Covering Location Problem. Papers in Regional Science, Wiley Blackwell, v. 32, n. 1, p. 101-118, Janeiro 1974.

CUMMINS, Richard O. From concept to standard-of-care? Review of clinical experience with automated external defibrillators. Annals of Emergency Medicine, v. 18, n. 12, p. 1269-1275, Dez 1989.

CUSCHIERI, Sarah. The STROBE guidelines. Saudi J Anaesth. 13(Suppl 1):S31-S34. Abril 2019.

DATASUS. Tabnet. Ministério da Saúde. Brasil 2023. Disponível em : <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet>. Acesso em: 01 fev. 2024.

DEMSAR, Janez. Statistical Comparisons of Classifiers over Multiple Data Sets. Journal of Machine Learning Research. v.7, p. 1-30. 2006.

DUNN, O. J. Multiple Comparisons Using Rank Sums. *Technometrics*, v. 6, n. 3, p. 241-252, 1964.

FERRARI, Thayse; OLIVEIRA CAMARA, Marcus Vinicius; NASSI, Carlos; RIBEIRO, Glaydston; JUNIOR, Roberto; RIBEIRO, Celio; BILATE, Andrea. Analysis of the Location of Rescue Ambulance Dispatch Bases: A Case Study in Rio de Janeiro, Brazil Geographical Analysis. v. 50, n. 4. Outubro 2018.

FIEP . Sistema Fiep. Arapongas: capital da indústria moveleira do PR investe em inovação. 2019. Disponível em:

<https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/fiep/sistema-fiep/noticia/2019/08/27/arapongas-capital-da-industria-moveleira-do-pr-investe-em-inovacao.ghtml>. Acesso em: 04 fev. 2023.

FITCH, Jay. Response Times: Myths, Measurement and Management. *Journal of Emergency Medical Services*, 31 Agosto 2005. Disponível em: <https://www.jems.com/equipment-gear/response-times-myths44-measure/>. Acesso em: 04 fev. 2023.

FORASTIERI, Helton Luis Ayello; FERRAZ DE ARAUJO, Carolina Mendonça; MENDONÇA JUNIOR, Anderson de Souza; COSTA FORASTIERI, Higner Luis. Tempo resposta no SAMU – 192 e suas implicações. *Cadernos UniFOA*. v. 17 n. 49 2022.

GROT, M.; BECKER, T., Steenweg, M.P. e Werners, B. (Enhanced coverage by integrating site interdependencies in capacitated EMS location models. *Health Care Management Science*, v. 25, p. 42–62, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10729-021-09562-4>.

GUROBI. The fastest solver. 2023. Disponível em: <https://www.gurobi.com/>. Acesso em: 04 fev. 2024.

GUNNARSSON, B, Björnsdóttir, K. M., Dúason, S., Ingólfsson, A., *Locating helicopter ambulance bases in Iceland: efficient and fair solutions. Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* volume 31, Article number: 70 2023

HASHTARKHANI, Soheil; YIN, Ping; KIANI, Behzad; MOHAMMADI, Alireza. Where to place emergency ambulance vehicles? Using a capacitated maximum covering location model with real call data. *Geoespatial Health*. 2021. Disponível em : <https://www.researchsquare.com/article/rs-994111/v1>. Acesso em: 04 fev. 2023.

HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007.

IBGE . Instituto Brasileiros de Geografia e Estatística. Brasil. , 2022. Arapongas. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/arapongas.html>. Acesso em: 04 fev. 2023.

IPARDES (2024) *Caderno Estatístico do Município de Arapongas*. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=86700>. Acesso em: 04 abr. 2024.

JÁNOŠÍKOVÁ, Ľudmila; JANKOVIČ, Peter; KVET, Marek; ZAJACOVÁ, Frederika. Coverage versus response time objectives in ambulance location *Int.J.Health Geografie* . Jul. 2021.

KOLESAR, Peter; WALKER, Warren E. An Algorithm for the Dynamic Relocation of Fire Companies. *Operations Research* v. 22, n. 2, p. 249-274. 1974.

LAM, Sean Shao Wei; NGUYEN, Francis Ngoc Hoang Long; NG, Yih Yng; LEE, Vanessa Pei-Xuan; WONG, Ting Hway; FOOK-CHONG, Stephanie Man Chung; ONG, Marcus Eng

Hock. Factors affecting the ambulance response times of trauma incidents in Singapore. *Accid Anal Prev.* N. 82, p. 27-35 Set. 2015.

LIU, Hsiao-Hsuan; CHEN, Albert Y.; DAI, Chun-Yi; SUN, Wei-Zen. Physical Infrastructure Assessment for Emergency Medical Response. *Journal of Computing in Civil Engineering*, Out. 2014

NOGUEIRA JR, L. C. ;PINTO, L. R. ; SILVA, P. M. S. Reducing Emergency Medical Service response time via the reallocation of ambulance bases. *Pubmed*, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24744263/>. Acesso em: 04 fev. 2023.

OLIVOS, Carlos; CACERES Hernan. Multi-objective optimization of ambulance location in Antofagasta, Chile. *ResearchGate* 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362810895_MULTI-OBJECTIVE_OPTIMIZATION_OF_AMBULANCE_LOCATION_IN_ANTOFAGASTA_CHILE. Acesso em: 04 fev. 2023.

PONS, Peter T.; MARKOVCHICK, Vincent J. Eight minutes or less: does the ambulance response time guideline impact trauma patient outcome? *The Journal of Emergency Medicine*, v. 23, n. 1, p. 43–48, Jul. 2002.

Quantum Geographic Information System. QGIS, 2022. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/. Acesso em: 04 fev. 2023.

RHODES, Heather; ROURKE, Blaine; PEPE, Antonio. Ambulance Response in Eight Minutes or Less: Are Comorbidities a Factor. PubMed 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36876582/>. Acesso em: 04 fev. 2023.

ROSSITER, Nigel D. Trauma-the forgotten pandemic. *International Orthopaedics*.v. 46, n 1, p 3-11. Janeiro 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34519840/>. Acesso em: 01 fev. 2024.

SANTOS, Luciano dos; FERREIRA, Denise Labrea. Sistema de informação geográfica aplicado ao planejamento de trânsito e transportes. *Caminhos de Geografia*.v. 5,n. 12, p. 94-113, 2004

SARAC, Tugba; ÖZER, Emine Akyol. Reducing ambulance response time: A Case Study. CIE44 & IMSS'14 Proceedings, Istanbul Turquia , p. 76-85, Out. 2014.

SUN, Chih-Hong; Cheng, Chen-Yang; Wang, Cheng-Hui; Hsiao, Po-Huan. Dynamic Floating Stations Model for Emergency Medical Services with a Consideration of Traffic Data *ISPRS Int. J. Geo-Inf*.v. 9, n. 5, p. 336, 2020

TAKEDA, *et al.* Analysis of ambulance decentralization in an urban emergency medical service using the hypercube queueing model. *Computers and Operations Research*, v. 34, n. 3, p. 727–741, 2007.

TASSONE, J.; CHOUDHURY, S. A Comprehensive Survey on the Ambulance Routing and Location Problems. Cornell University, 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2020>. Acesso em: 15 jan. 2025.

TAVAKOLI, Asad; LIGHTNER, Constance. Implementing a mathematical model for locating EMS vehicles in fayetteville, NC. Department of Management, Fayetteville State University, Fayetteville, NC, USA . Computers & Operations Research. v. 31,p. 1549–1563, 2004.

TERPILOWSKI, Maksim. scikit-posthocs: Pairwise multiple comparison tests in Python. Journal of Open Source Software. v. 4, n. 36,p. 1169. 2019

TERZI, Ozlem; SISMAN, Aziz; CANBAZ, Sevgi; DUNDAR, Cihad; PEKSEN, Yildiz. A geographic information system-based analysis of ambulance station coverage area in Samsun, Turkey. Singapore Medical Journal. 2013

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 5, n. 2, p. 99, 1949.

VIRTANEN, P.; Gommers, R.; Oliphant, T. E.; Haberland, M.; Reddy, T.; Cournapeau, D.; Burovski, E.; Peterson, P.; Weckesser, W.; Bright, J.; Van der Walt, S. J.; Brett, M.; Wilson, J.; Millman, K. J.; Mayorov, N.; Nelson, A. R. J.; Jones, E.; Kern, R.; Larson, E.; Carey, C. J.; Polat, İ.; Feng, Y.; Moore, E. W.; VanderPlas, J.; Laxalde, D.; Perktold, J.; Cimrman, R.; Henriksen, I.; Quintero, E. A.; Harris, C. R.; Archibald, A. M.; Ribeiro, A. H.; Pedregosa, F.; Van Mulbregt, P. SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python. Nature Methods, v. 17, n. 3, p. 261-272, 2020.

CAPÍTULO III

3.1 Conclusão

Com base na análise geoespacial, tempo resposta e simulações computacionais este estudo proporcionou uma melhor compreensão para otimizar a cobertura do atendimento pré-hospitalar no município de Arapongas. Os resultados destacam a importância do tempo resposta na sobrevivência de pacientes críticos, ressaltando a necessidade de estratégias eficientes para alocação de bases de ambulância do Serviço de Atendimento Médico de Urgência. A aplicação do Maximal Covering Location Problem (MCLP) revelou possíveis áreas ideais para a instalação de novas bases do SAMU considerando tanto a contagem populacional, a localização prévia das ocorrências. A escolha criteriosa dos pontos candidatos como Unidades Básicas de Saúde e Pronto Atendimentos, mostrou-se relevante em virtude de sua distribuição territorial abrangente e ao mesmo tempo, satisfatória para a simulação, contribuindo para uma melhor escolha e otimização do tempo resposta.

Os desafios logísticos enfrentados pelos gestores na busca por uma melhor alocação de recursos, foram abordados de forma competente por meio de simulações computacionais. A utilização de tecnologias como Sistema de Informação Geográfica (GIS) através de recursos estatísticos (Rstudio) e simulação (Gurobi, Python), revelaram-se ferramentas cruciais para analisar diferentes cenários e tomar decisões embasadas. Os resultados deste estudo podem servir como guia para os gestores de saúde ao considerarem a implantação de novas bases do SAMU, visando não apenas a otimização do tempo resposta, mas também a maximização da cobertura populacional. A busca contínua por estratégias inovadoras e eficientes na gestão do atendimento pré-hospitalar é essencial para melhorar a qualidade dos serviços oferecidos, impactando diretamente na sobrevida e bem estar dos pacientes atendidos.

3.2 Perspectivas Futuras

Deve-se abordar as limitações identificadas neste estudo, buscando soluções que possam aprimorar a coleta de dados, como a inclusão de informações detalhadas sobre endereços e tempos de resposta nas fontes de dados secundários. Buscar a confirmação e validação dos modelos de simulação para alocação das centrais de ambulância, assegurados por meio de monitoramento em tempo real via GPS, representam um caminho para assegurar as estratégias propostas neste trabalho. A integração de tecnologias emergentes e parcerias

com a administração pública e instituições de saúde pode proporcionar um avanço substancial nesse sentido. Ademais, a continuidade da pesquisa, com a inclusão de dados atualizados e a expansão para outras cidades, pode enriquecer a compreensão das dinâmicas dessas regiões e contribuir para a formulação de políticas mais válidas no âmbito da assistência do atendimento de emergência. Por último, a implementação deste estudo requer um comprometimento contínuo com a pesquisa, inovação tecnológica e colaboração das partes interessadas, visando sempre melhorar o sistema de atendimento do serviço pré-hospitalar no futuro.