



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA



MAURO ROSA

**PLANEJAMENTO DE UNIDADES DE ATENDIMENTO OPERACIONAL
DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE EMERGÊNCIA: UMA FERRAMENTA
DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO**

**VITÓRIA
2020**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA



MAURO ROSA

**PLANEJAMENTO DE UNIDADES DE ATENDIMENTO OPERACIONAL
DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE EMERGÊNCIA: UMA FERRAMENTA
DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Pública do Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão Pública.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa.

**VITÓRIA
2020**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

R788p Rosa, Mauro, 1975-
Planejamento de unidades de atendimento operacional de
serviços públicos de emergência : uma ferramenta de apoio à
tomada de decisão / Mauro Rosa. - 2020.
147 f. : il.

Orientador: Rodrigo de Alvarenga Rosa.
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Pública) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências
Jurídicas e Econômicas.

1. Planejamento. 2. Serviços públicos. 3. Localização. I. Rosa,
Rodrigo de Alvarenga. II. Universidade Federal do Espírito
Santo. Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas. III. Título.

CDU: 35



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA



MAURO ROSA

**PLANEJAMENTO DE UNIDADES DE ATENDIMENTO OPERACIONAL DE
SERVIÇOS PÚBLICOS DE EMERGÊNCIA: UMA FERRAMENTA DE APOIO À
TOMADA DE DECISÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Pública do Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão Pública.

Aprovada em 28 de maio de 2020.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa
PPGGP/UFES

Prof.ª Dr.ª Taciana de Lemos Dias
PPGGP/UFES

Prof. Dr. Wander Demonel de Lima
UFES

“Portanto, ao Rei eterno, imortal, invisível, Deus único, sejam honra e glória pelos séculos dos séculos. Amém.”

(1 Timóteo 1:17)

AGRADECIMENTOS

A Deus, razão de tudo.

À minha família, por me apoiar de forma incondicional em todos os momentos.

Ao professor Rodrigo de Alvarenga Rosa, pela paciência, empenho e dedicação.

A professora Taciana Lemos Dias, pelo incentivo e compreensão.

Aos demais professores e servidores pelo trabalho desempenhado.

Aos integrantes do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Espírito Santo e Secretaria da Segurança Pública, pelo apoio e disponibilização das informações.

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Mestrado em Gestão Pública, pela oportunidade de aprendizagem e crescimento.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para que esta pesquisa fosse realizada.

RESUMO

ROSA, Mauro. **Planejamento de unidades de atendimento operacional de serviços públicos de emergência: uma ferramenta de apoio à tomada de decisão.** 2020. 146 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Pública) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

A prestação de atendimentos de emergência está atrelada à segurança pública, sendo necessário um serviço de excelência face aos potenciais danos que pode ocasionar. Serviços emergenciais exigem rapidez no atendimento e rigor no desempenho; torna-se, portanto, imperioso um estudo e planejamento que propiciem melhor eficiência no uso dos recursos disponíveis. Portanto, questionou-se como a utilização de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão pode auxiliar na localização e definição de quantidade de unidades de atendimento operacional de serviços de emergência. Neste contexto, a presente pesquisa trata de um tema de Gestão Pública, tendo como objetivo geral desenvolver uma ferramenta para planejamento do atendimento operacional de serviços públicos de emergência, com base na construção de um modelo matemático para apoio à tomada de decisão. Para o alcance do objetivo proposto foi utilizado como aporte teórico pesquisas bibliográficas e documentais dos principais modelos, métodos e critérios empregados na localização destas unidades. A partir dos resultados encontrados, testes do modelo matemático proposto foram feitos em diversas situações e instâncias, cujos resultados demonstraram a relevância de sua utilização. Como resultado final obteve-se como produto técnico um modelo matemático para apoiar a tomada de decisão no planejamento do atendimento operacional de serviços públicos de emergência.

Palavras-chave: Serviço público de emergência - Tomada de decisão - Localização de unidades de atendimento.

ABSTRACT

ROSA, Mauro. **Emergency services' units planning: a tool to support decision making.** 2020. 146 f. Dissertation (Professional Master in Public Management) - Federal University of Espírito Santo, Vitória, 2020.

The provision of emergency care is linked to public security, requiring an excellent service in view of the potential damage it can originate. Emergency services demand speed of service and accuracy in performance. A study and planning, both of which can provide better efficiency with the available resources are, therefore, imperative. Therefore, the question posed was on how the use of a decision-making support tool could assist in planning both the location, and quantity of operational emergency service units needed. In this context, this paper investigates the theme of Public Management, having as a general objective the development of a tool for planning operational assistance of emergency services' units, based on the construction of a mathematical model to support decision making. In order to reach the objective previously described, this paper relied on theoretical contributions which consisted of bibliographic and documentary research on the main models, methods, and criteria carried out to locate such units. Based on the results, tests of the proposed mathematical model were carried out in different situations and realities, for which the results demonstrated the relevance of its use. As a final result, a technical product consisting of a mathematical model to support decision-making in the planning of operational assistance for public emergency services was obtained.

Keywords: Public Emergency Service - Decision making - Location of emergency services' units.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Síntese gráfica da estrutura do trabalho	21
Figura 2 - Áreas de mobilização	57
Figura 3 - Mapa da Região Metropolitana da Grande Vitória	63
Figura 4 - Composição total dos municípios	64
Figura 5 - Número de atendimentos por tipologia	67
Figura 6 - Atendimentos por prioridade (incêndio/salvamento)	71
Figura 7 - Atendimentos por prioridade (pré-hospitalar)	71
Figura 8 - Distribuição total dos atendimentos por prioridade	72
Figura 9 - Velocidade mediana por tipologia/prioridade	73
Figura 10 - Velocidade média por tipologia/prioridade	73
Figura 11 - Atendimentos por intervalos de horários por tipologia/prioridade	74
Figura 12 - Velocidade média por intervalos de horários (incêndio/salvamento) *	75
Figura 13 - Velocidade média por intervalos de horários (pré-hospitalar)	76
Figura 14 - Atendimentos por intervalos de horários para prioridade alta (incêndio/salvamento).....	77
Figura 15 - Atendimentos por intervalos de horários para prioridade alta (pré- hospitalar)	77
Figura 16 - Velocidade média e mediana por tipologia	78
Figura 17 - Atendimentos por intervalos de tempos de viagem para todas as prioridades (incêndio/salvamento)	80
Figura 18 - Atendimentos por intervalos de tempos de viagem para todas as prioridades (pré-hospitalar).....	80
Figura 19 - Atendimentos por intervalos de tempos de viagem para prioridade alta (incêndio/salvamento).....	81
Figura 20 - Atendimentos por intervalos de tempos de viagem para prioridade alta (pré-hospitalar)	81
Figura 21 - Divisão das ocorrências em tipos e subtipos	89
Figura 22 - Atendimentos por situação em relação ao número de unidades	103
Figura 23 - Percentual por situação em relação ao número de unidades	104
Figura 24 - Tempo médio de atendimento para ocorrências que extrapolam o período limite de viagem em função do número de unidades.....	105

Figura 25 - Quantidade de atendimentos com desempenho definido em função do número de unidades para todas as ocorrências	108
Figura 26 - Comparativo percentual entre desempenho geral e prioridade alta em relação ao número de unidades	109
Figura 27 - Desempenho conjunto e individual	111
Figura 28 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Aracruz .	143
Figura 29 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Cariacica	144
Figura 30 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Guarapari	145
Figura 31 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Serra.....	146
Figura 32 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Vila Velha	147
Figura 33 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Vitória ...	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Categorias de risco de incêndio e padrões de presença.....	42
Tabela 2 - Tempo de resposta e percentual mínimo de atendimento	46
Tabela 3 - Unidades de atendimento operacional	56
Tabela 4 - Distribuição dos atendimentos por município, prioridade e tipologia de veículo	70
Tabela 5 - Tempos de atendimento dos incidentes por tipologia e prioridade	82
Tabela 6 - Situação 1 (custos com ultrapassagem)	101
Tabela 7 - Situação 2 (custos com desempenho)	102
Tabela 8 - Situação 3 (desempenho)	102
Tabela 9 - Comparativo do número de unidades necessárias	106
Tabela 10 - Relação das unidades selecionadas	106
Tabela 11 - Distribuição das velocidades nos atendimentos para prioridade alta ...	134
Tabela 12 - Distribuição das velocidades nos atendimentos para prioridade média	135
Tabela 13 - Distribuição das velocidades nos atendimentos para prioridade baixa	136
Tabela 14 - Locais candidatos à instalação de unidade de atendimento operacional	137
Tabela 15 - Unidades selecionadas na análise 1	139
Tabela 16 - Resultado da análise para prioridade alta	140
Tabela 17 - Unidades SAMU candidatas a abrigar tipologia pré-hospitalar	141
Tabela 18 - Resultado da análise individual para utilização de local/unidade distinta para pré-hospitalar utilizando as unidades da análise 1/situação 3	142
Tabela 19 - Resultado da análise para utilização de local/unidade distinta para pré- hospitalar	142

LISTA DE SIGLAS

CBMES	Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo
CFAI	<i>Commission on Fire Accreditation International</i>
CIODES	Centro Integrado Operacional de Defesa Social
DOP	Diretoria de Operações
FDAA	<i>Fire Department Amsterdam-Amstelland</i>
GEOSP	Gerência do Observatório de Segurança Pública do Estado do Espírito Santo
GEPAE	Gerência de Patrimônio Estadual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IJSN	Instituto Jones dos Santos Neves
ISO	<i>Insurance Services Office</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LSCP	<i>Location Set Covering Problem</i>
MCLP	<i>Maximal Covering Location Problem</i>
NBR	Norma Brasileira
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
PB	Ponto Base
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
RMGV	Região Metropolitana da Grande Vitória
SAMU	Serviço de Atendimento Móvel de Urgência
SESP	Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social
SERC	<i>Standard of Emergency Response Coverage</i>

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
1.1	O TEMA	15
1.2	O CONTEXTO E O PROBLEMA.....	15
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo Geral	17
1.3.2	Objetivos Específicos	18
1.4	PRODUTO TÉCNICO OBTIDO	18
1.5	DELIMITAÇÃO E JUSTIFICATIVA	19
1.6	MÉTODO DE PESQUISA	19
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2	APORTE TEÓRICO	22
2.1	REVISÃO SOBRE MODELOS E CRITÉRIOS UTILIZADOS PARA LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE EMERGÊNCIA	22
2.1.1	Modelos de localização	25
2.1.1.1	Modelo de p-mediana.....	26
2.1.1.2	Modelo de cobertura e p-center	30
2.1.2	Tempo de Resposta	38
2.1.2.1	Tempo de resposta em emergências médicas e unidades de bombeiros....	39
2.1.2.2	Medidas de tempo de resposta e percentual de desempenho	42
2.1.3	Critérios de escolha de instalações para atendimento emergencial	47
2.1.4	Prioridades no atendimento emergencial	50
2.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	52
3	CASO ESTUDADO	53
3.1	DESCRIÇÃO DO ÓRGÃO DE ESTUDO.....	53
3.1.1	Órgãos de atendimento emergencial	54
3.1.2	Distribuição das unidades de atendimento emergencial	55
3.1.3	Áreas de articulação	57
3.1.4	Sistemas de atendimento e dinâmica de geração de ocorrências	58
3.1.5	Tipologias/classificação das ocorrências no atendimento emergencial	59
3.1.6	Recursos operacionais	60
3.1.7	Custos operacionais	61

3.2	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	62
3.3	POPULAÇÃO E AMOSTRA.....	65
3.4	COLETA DE DADOS.....	65
3.5	ANÁLISE DE DADOS.....	65
3.5.1	Análise da população e amostra.....	66
3.5.2	Caracterização dos atendimentos da amostra.....	67
3.5.2.1	Demanda e localização dos atendimentos.....	68
3.5.2.2	Histórico de prioridades.....	69
3.5.2.3	Análise de velocidade e quantitativo de atendimentos.....	72
3.5.2.4	Tempo de viagem.....	78
3.5.2.5	Tempo de empenho e atendimento.....	81
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	82
4	MODELO MATEMÁTICO.....	84
4.1	DESCRIÇÃO DA BASE DO MODELO, DADOS DE ENTRADA, CRITÉRIOS E PREMISSAS.....	84
4.2	MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO.....	92
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	99
5	ANÁLISES E RESULTADOS.....	100
5.1	ANÁLISE 1 - TODOS OS ATENDIMENTOS E PRIORIDADES.....	100
5.2	ANÁLISE 2 - OBRIGATORIEDADE DE UTILIZAÇÃO DAS UNIDADES PRÉ- INSTALADAS.....	105
5.3	ANÁLISE 3 - SOMENTE DOS ATENDIMENTOS DE PRIORIDADE ALTA.....	107
5.4	ANÁLISE 4 - UTILIZAÇÃO DE LOCAL/UNIDADE INDIVIDUALIZADA PARA VEÍCULOS DA TIPOLOGIA PRÉ-HOSPITALAR.....	109
5.5	ANÁLISE 5 - UTILIZAÇÃO TEMPORÁRIA DE LOCAL NA TIPOLOGIA PRÉ- HOSPITALAR NO HORÁRIO DE POSSÍVEL TRÂNSITO INTENSO.....	111
5.6	ANÁLISE 6 - UTILIZAÇÃO DE OUTRO TIPO DE VEÍCULO PARA APOIO PRÉ-HOSPITALAR.....	113
5.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	115
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	118
	REFERÊNCIAS.....	123
	APÊNDICES.....	131

APÊNDICE A – DECLARAÇÃO DE ENTREGA E ATESTADO DE RECEBIMENTO E EXECUÇÃO DE PRODUTO TÉCNICO/ TECNOLÓGICO	131
APÊNDICE B – TABELAS DE VELOCIDADE POR BAIRRO/LOCALIDADE, TIPOLOGIA DE VEÍCULO E PRIORIDADE	134
APÊNDICE C – LOCAIS CANDIDATOS PARA TESTES DE INSTÂNCIAS	137
APÊNDICE D – UNIDADES SELECIONADAS NA ANÁLISE 1	139
APÊNDICE E – RESULTADO DA ANÁLISE 3	140
APÊNDICE F – UNIDADES COM PRESENÇA DO SAMU PARA TESTE DE INSTÂNCIAS	141
APÊNDICE G – RESULTADO DA ANÁLISE 4	142
ANEXOS	143
ANEXO A – ARTICULAÇÃO OPERACIONAL DAS UNIDADES DO ESTUDO	143

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente capítulo tem como objetivo apresentar o tema da pesquisa, o contexto e o problema, os objetivos, o produto técnico obtido, a delimitação e a justificativa do estudo, o método de pesquisa e a estrutura do trabalho.

1.1 O TEMA

Esta dissertação tem como tema o planejamento de unidades de atendimento operacional de serviços públicos de emergência, sendo uma ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Constitui-se como fundamento desenvolver um modelo matemático que defina a quantidade e a localização de unidades de atendimento que possibilitem melhor eficiência de resposta.

1.2 O CONTEXTO E O PROBLEMA

A busca pelo melhor desempenho na prestação de serviços públicos torna-se um grande desafio para as instituições e prover instrumentos que auxiliem a tomada de decisão por meio de indicadores é uma forma de aprimorar a gestão na busca de melhor eficiência.

Em um serviço público que lida com incidentes e vidas de pessoas é muito importante que seus recursos sejam usados e gerenciados com eficiência, sendo necessária, para isto, a decisão de sua localização e de como alocar demandas futuras (AKBARI; PELOT; EISELT, 2018).

Restrições financeiras e limitação de orçamentos públicos impõem extensa economicidade e a necessidade de utilização dos recursos com eficiência, sendo que no campo dos serviços de emergência há uma dificuldade de realização destas economias, devido à necessidade de garantia de qualidade que a prestação do serviço impõe em qualquer caso (DEGEL *et al.*, 2014).

No cenário de eficiência da prestação de atendimento de serviços emergenciais, seja por melhoria, seja por ampliação da capacidade de resposta, é preciso definir o quantitativo e o local de novas instalações face aos potenciais níveis de atendimento/desempenho almejado, avaliando as restrições de tempo e capacidade/recurso disponível.

Ferramentas de avaliação continuada da distribuição espacial dos serviços de atendimento, devido a mudanças de fatores, tais como alteração do quantitativo de recursos, mudanças de interações populacionais com o espaço, bem como diversas outras causas que impactam nas condições de risco, auxiliam a mitigar demoras, falhas ou ausência na prestação dos serviços emergenciais, que podem contribuir potencialmente com danos à vida e/ou ao patrimônio.

Aliado aos fatos acima, normalmente uma instalação é envolta em grande investimento e projetada para funcionamento por décadas, sendo necessário um planejamento pautado na projeção de fatores externos e internos, tais como uma expansão de serviços, nos quais podem impactar significativamente a dinâmica de tempo para prover um melhor atendimento para evitar uma possível necessidade de realocação.

Mensurar de forma científica um planejamento do atendimento operacional de unidades emergenciais é uma tarefa que envolve particularidades de prestação de serviço de cada instituição. Neste sentido, ainda que o assunto remeta a uma vasta e difundida literatura que trata de alocação, prover o recurso adequado no local correto para melhor resposta a emergências em função das especificidades é um dos grandes desafios enfrentados.

Modelos de localização da prestação dos referidos serviços devem ser desenvolvidos levando em consideração todas as especificidades, tais como os tipos de serviços a serem oferecidos, os níveis de desempenho requeridos, os recursos a serem empregados, os tempos de atendimento, entre outros.

Assim, o propósito foi estruturar uma ferramenta científica que pudesse ser empregada com inclusão de critérios diversos na tomada de decisão para localizar e quantificar os recursos, além de permitir flexibilizar sua utilização em função do dinamismo dos fatores, se adequando à realidade de qualquer instituição de emergência.

Desta forma, em contraste com muitos trabalhos, a proposta foi a criação de uma ferramenta de planejamento do atendimento de serviços públicos de emergência, tendo como meta a criação de um modelo matemático com possibilidade de englobar, em uma única plataforma, tipos distintos de emergências, estendendo para seus subtipos, prioridades e grau de importância, de acordo com o serviço prestado, análise de custos e possibilidade de aproveitamento de gastos já demandados, além de fatores específicos, se adequando a diversas situações de prestação dos serviços, inclusive com possibilidade de metas diferenciadas de tempo de resposta/viagem e percentual de atendimento a ser alcançado no intervalo determinado.

Sendo assim, questionou-se como a utilização de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão pode auxiliar no planejamento de unidades de atendimento operacional de serviços de emergência.

Para avaliar o modelo matemático proposto foram utilizados dados de uma determinada área de atendimento, utilizando um caso real para análises, empregando o *solver* IBM® ILOG® CPLEX®, versão 12.8 (IBM, 2018).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para planejamento do atendimento operacional de serviços públicos de emergência.

1.3.2 Objetivos Específicos

Com a finalidade de se atingir o objetivo geral desta dissertação, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar levantamento na literatura dos principais modelos, métodos e critérios que tenham relação com o problema de pesquisa;
- Desenvolver um modelo matemático para apoio à tomada de decisão;
- Elaborar e aplicar análises e instâncias para testes do modelo matemático com o intuito de demonstrar sua capacidade.

1.4 PRODUTO TÉCNICO OBTIDO

O produto técnico obtido consiste de um modelo matemático para apoiar a tomada de decisão no planejamento do atendimento operacional de serviços públicos de emergência.

A ferramenta foi desenvolvida utilizando um *solver* IBM® ILOG® CPLEX®, versão 12.8 (IBM, 2018). A declaração de entrega e o atestado de recebimento e execução de produto técnico/tecnológico encontram-se no Apêndice A.

A dissertação e o PTT apresentam aderência à Linha de Pesquisa 2 (Tecnologia, inovação e operações no setor público), em seu Projeto Estruturante 3 (Ações e programas finalísticos e de apoio/suporte ao governo).

Ambos os trabalhos apresentam relação com o Plano Estadual de Segurança Pública e Defesa Social 2015-2018 da Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social (SESP) no que refere aos seus objetivos 5 e 10, qual seja:

Objetivo 05 – “Incentivar a implementação de novas tecnologias de forma a estimular e promover o aperfeiçoamento das atividades e ações de polícia ostensiva, polícia judiciária e de bombeiro” (SESP¹, 2015, p. 28).

1

https://sesp.es.gov.br/Media/sesp/Gest%C3%A3o%20estrat%C3%A9gica/PLANO%20DE%20SEGURAN%C3%87A%202015-2018_vers%C3%A3o1.pdf

Objetivo 10 - “Fomentar a produção do conhecimento e a realização de pesquisas com foco nos desafios da prevenção e enfrentamento qualificado da violência e criminalidade” (SESP¹, 2015, p. 29).

1.5 DELIMITAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa é importante porque fornece uma ferramenta de apoio à tomada de decisão no atendimento operacional de serviços públicos de emergência, evidenciando a relevância do planejamento na melhor prestação de serviços essenciais e a promoção do melhor emprego de recursos públicos com melhor eficiência.

Por se tratar de uma ferramenta que permite a inserção de diversas variáveis e critérios, há possibilidade ainda de ser aplicada a diversas atividades de entidades e órgãos públicos.

1.6 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida com intuito de elaborar um modelo matemático que pudesse apoiar o planejamento da prestação de serviços públicos de emergência, definindo a quantidade e a localização de unidades, englobando os principais modelos e critérios que traduzam melhor resposta às emergências.

A metodologia da pesquisa possui uma abordagem qualitativa e quantitativa, de natureza descritiva e caráter exploratório, cujos meios são pesquisas bibliográficas. Utilizaram-se como base dissertações e estudos publicados em periódicos, os quais estão apresentados resumidamente no referencial teórico.

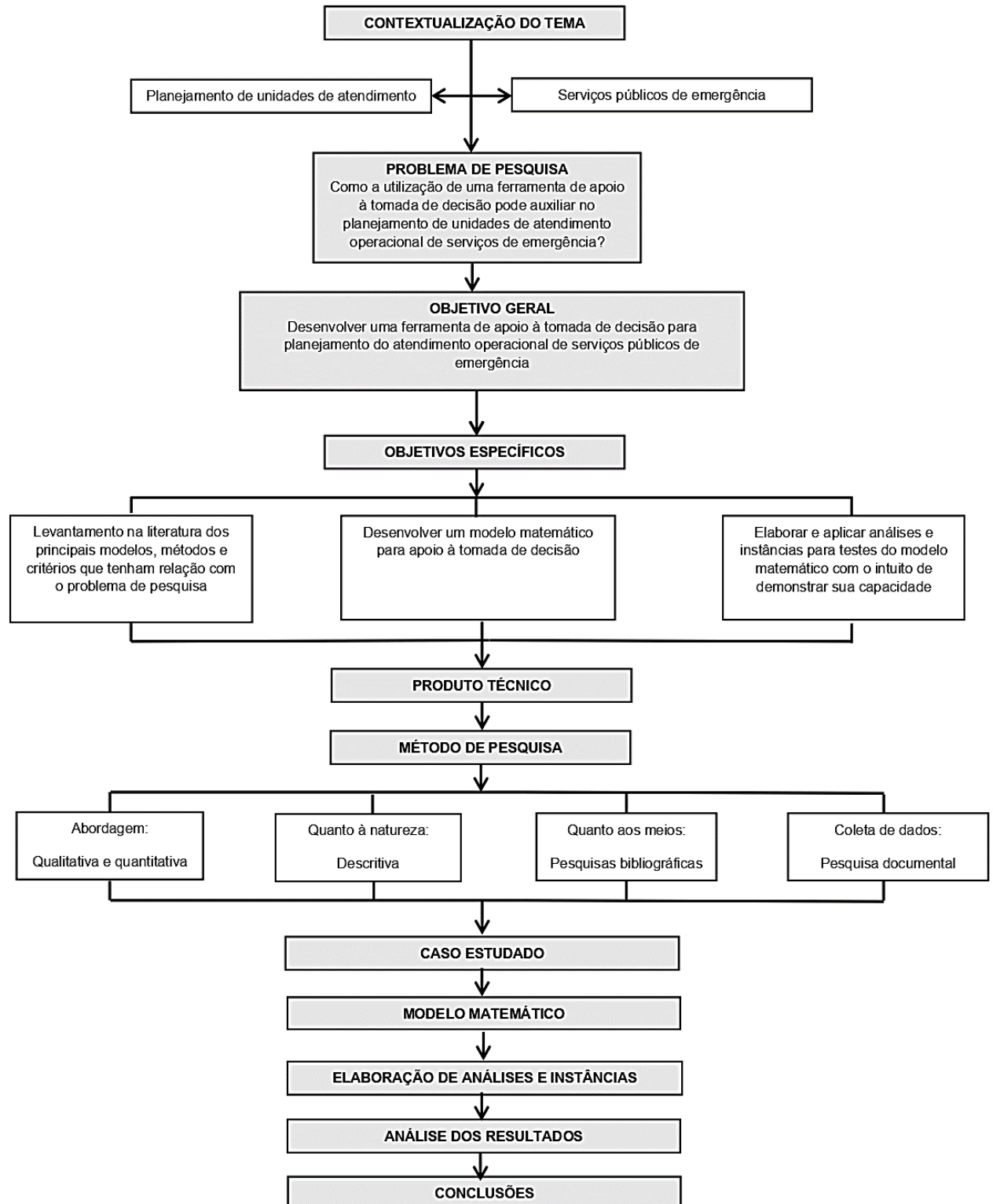
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos. O capítulo 1 apresenta as considerações iniciais. O capítulo 2 apresenta o aporte teórico, abordando conceitos e estudos sobre o tema em análise; o capítulo 3 traz o caso estudado; o capítulo 4

apresenta o modelo matemático proposto; o capítulo 5 aplica análises comparativas com instâncias, apresentando os resultados do modelo proposto para comprovar a aplicabilidade e eficácia do método e, por fim, no capítulo 6, há as considerações finais e recomendações, seguidas pelas referências utilizadas.

Pode-se observar a estrutura desta dissertação na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Síntese gráfica da estrutura do trabalho



Fonte: Elaborada pelo autor.

2 APORTE TEÓRICO

Neste capítulo foi realizada uma introdução aos principais conceitos e estudos utilizados ao longo desta dissertação, que se referem ao estudo de planejamento de unidades de atendimento de serviços de emergência, como forma de auxiliar no desenvolvimento da metodologia a ser empregada. O subcapítulo encontra-se dividido em duas seções: (1) Revisão sobre modelos e critérios utilizados na localização de unidades e (2) Considerações finais do capítulo.

2.1 REVISÃO SOBRE MODELOS E CRITÉRIOS UTILIZADOS PARA LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE EMERGÊNCIA

A localização das instalações é um aspecto crítico do planejamento estratégico tanto para empresas públicas, quanto para as privadas, seja por necessidade de uma cadeia de varejo em posicionar um novo ponto de venda, ou um fabricante na escolha da posição de um armazém ou mesmo a seleção de locais para postos de bombeiros, cujos planejadores estratégicos são frequentemente desafiados por difíceis decisões de alocação espacial (OWEN; DASKIN, 1998).

Instalações do setor privado são normalmente localizadas com propósitos precisamente estabelecidos, tais como lucro máximo e custo mínimo, sendo as de setor público mais difíceis de quantificar o objetivo (REVELLE *et al.*, 1977).

Como as emergências fazem parte de nossas vidas, é fundamental o planejamento e alocação com eficiência de instalações de resposta a emergências que ofereçam alívio eficaz e oportuno às pessoas (LI *et al.*, 2011).

De acordo com Başar, Çatay e Ünlüyurt (2011), o problema de localização da estação de serviço de emergência tem sido amplamente estudado na literatura desde a década de 70 e, especialmente após os anos 90, há um crescente interesse no assunto. Nesse estudo, os autores fizeram um levantamento do quantitativo acumulado de artigos nos últimos anos acerca do tema, sobre o qual há um aumento exponencial e mais de 200 publicações até o ano de 2010.

Há um rico campo de modelos que discorrem sobre diversos estudos/métodos de localização de unidades de emergência, com ampla bibliografia e envolvendo modelos e fatores distintos em função das especificidades de cada atividade.

A qualidade dos serviços de emergência, como ambulância e combate a incêndio, é refletida pela pontualidade, a qual pode ser alcançada com o aumento de veículos, o que geralmente é impossível devido a restrições de capital, para onde se torna crucial a implantação eficiente dos referidos recursos (ARAZ; SELIM; OZKARAHAN, 2007).

A localização de estações de serviço de emergência, para Başar, Çatay e Ünlüyurt (2011), é de extrema importância, a fim de alcançar um sistema de resposta eficaz e de confiança, em que as mortes e incapacidades causadas por acidentes, incêndios, doenças pandêmicas, desastres naturais e outros possam ser significativamente reduzidas por meio de um planejamento eficaz do posicionamento.

O problema de alocação de localização é um modelo essencial para várias aplicações importantes, incluindo a de ambulâncias e quartéis de bombeiros, e aperfeiçoar a eficiência da utilização de recursos é sempre uma grande preocupação (AKBARI; PELOT; EISELT, 2018).

A determinação de locais de base ideais para instalações fixas de emergência tem uma longa história na literatura de gestão científica/pesquisa operacional e os primeiros modelos supunham que, uma vez posicionados, os serviços de emergência quase sempre estivessem disponíveis quando uma ligação chegasse (BADRI; MORTAGY; ALSAYED, 1998).

Serviços de emergência, como sistemas de ambulâncias e bombeiros, normalmente são fornecidos por veículos baseados em locais fixos e devem ofertar alto nível de serviço para garantir a segurança pública (ARAZ; SELIM; OZKARAHAN, 2007).

Degel *et al.* (2014) também afirmam que sistemas de emergência, no sentido de garantir a segurança pública, como departamentos de bombeiros ou polícia, devem fornecer altos níveis de serviço.

Para Badri, Mortagy e Alsayed (1998), a localização de um quartel de bombeiros é uma decisão de capital a longo prazo e, uma vez construída, não é facilmente movida.

Segundo Farahani, Steadieseifi e Asgari (2010), as decisões de localização são parte importante da ciência de gerenciamento e pesquisa de operações, sendo um ramo da pesquisa operacional relacionado à localização de uma nova instalação entre várias existentes, a fim de otimizar (minimizar ou maximizar) pelo menos uma função objetiva, como a distância de viagem, cobertura, custo, lucro/receita, tempo de espera, participação de mercado, por exemplo.

Entretanto, tratar de todas as variáveis envolvidas para maximizar os resultados na prestação de serviços, principalmente os emergenciais que são envoltos de criticidade e de relevância essencial para a população, exige um estudo criterioso das particularidades locais.

Revelle e Eiselt (2005) abordaram quatro componentes que caracterizam os problemas de localização, que são os clientes, as futuras instalações, o espaço e a distância entre eles, sendo esta última uma métrica que pode ser o próprio distanciamento ou tempo. Ainda segundo os autores, o termo “análise de localização” é atribuído à formulação, modelagem e solução de uma classe de problemas com a descrição de localização de instalações em determinado espaço de tempo.

Modelos de localização são utilizados em uma ampla variedade de aplicações, podendo diferir em sua função objetivo, medida de distância, número e tamanho das instalações, além de outros índices de decisão que poderão levar a tipos muito diferentes, dependendo da aplicação (HALE; MOBERG, 2003).

Badri, Mortagy e Alsayed (1998) concluíram em seu estudo que o modelo de programação de objetivos inteiros parece ser uma técnica aplicável ideal ao problema de localização de postos de bombeiros do mundo real.

Araz, Selim e Ozkarahan (2007) utilizaram a programação matemática no modelo de localização para veículos de emergência, o qual consideraram ser uma das abordagens

mais utilizadas para solucionar os problemas de localização de veículos de serviço de emergência.

Brotcorne, Laporte e Semet (2003) fizeram uma revisão traçando a evolução dos modelos de localização e realocação de ambulâncias em um período marcado por um crescimento em tecnologia de computadores, modelagem e sofisticação algorítmica, no desempenho de solucionadores de programação matemática e na ampla adoção de *software* em vários níveis de tomada de decisão, fornecendo uma visão geral dos mais importantes que são empregados e evidenciando a possibilidade prática de funcionamento de vários destes modelos, desde que tenha a existência de heurísticas rápidas e capacidade computacional suficiente.

Para Reville, Eiselt e Daskin (2008), os modelos de localização foram estudados de várias formas por centenas de anos e podem diferir em função do contexto em que estiverem situados, mas suas principais características são sempre as mesmas, tais como um espaço (que inclui uma métrica), clientes e instalações (determinados de acordo com alguma função objetivo).

Neste sentido, serão abordados modelos para embasar a formulação matemática de localização e fatores/critérios mais relevantes utilizados para alocação de unidades de atendimento emergencial.

2.1.1 Modelos de localização

As decisões de localização são uma das tarefas mais essenciais que as empresas e prestadores de serviços públicos enfrentam e, dada a sua importância e complexidade das possibilidades, a análise e modelagem são requisitados para apoiar os processos de tomada de decisão (MURRAY; TONG; KIM, 2010).

Modelos de localização auxiliam a conceituar um problema em um determinado cenário e as características especiais da configuração servem para enriquecê-los e realimentá-los (REVELLE *et al.*, 1977).

Murray (2013), no estudo acerca da otimização espacial da localização de postos de bombeiros urbanos, abordou diversas literaturas que têm como características presentes a utilização de modelos de otimização espacial para apoiar a tomada de decisão do local dos postos de bombeiros que garanta o melhor desempenho possível.

Dentre os modelos mais típicos que são empregados nos problemas de localização, a abordagem de Crainic e Laporte (1997), Owen e Daskin (1998) e Revelle, Eiselt e Daskin (2008) apresentam similaridade.

Crainic e Laporte (1997), no estudo de modelos de planejamento de transporte, afirmaram que os principais que se referem à localização são normalmente classificados em modelos de cobertura, de centro e de medianas.

Owen e Daskin (1998) apresentaram uma revisão de literatura que aborda explicitamente a natureza estratégica dos problemas de localização de instalações, considerando características de problemas estático-determinísticos, dinâmicos e estocásticos, trazendo os tipos p-medianas, cobertura, p-center e modelos adicionais.

Revelle, Eiselt e Daskin (2008), no estudo de artigos dos ramos da teoria e modelagem de localização discreta, abordaram também problemas de p-medianas, p-center e cobertura.

Estes tipos clássicos de localização normalmente servem de base para a análise e formulação de modelos matemáticos.

2.1.1.1 Modelo de p-mediana

Embora a primeira aplicação proposta do modelo de p-mediana não fosse para serviços públicos, tem sido amplamente utilizado na alocação das instalações do referido setor (SERRA; MARIANOV, 2004).

Segundo Karatas, Razi e Tozan (2016), o problema de p-mediana surge naturalmente nos setores público e privado para a localização de fábricas, armazéns ou estações de emergência para atender/satisfazer à demanda em outras fábricas, armazéns ou locais de incidentes.

O modelo de p-mediana minimiza a distância total ponderada entre os pontos de demanda e as referidas instalações (CRAINIC; LAPORTE, 1997).

Para Araz, Selim e Ozkarahan (2007), o problema de p-mediana é o ponto histórico de partida dos modelos de localização determinística, cujo objetivo é localizar p instalações em uma rede de zonas de demanda, para que o tempo médio de viagem até as mesmas possa ser minimizado.

Para Mladenović *et al.* (2007), o problema de p-mediana, por ser um dos modelos básicos da teoria da localização discreta, utiliza normalmente métodos heurísticos para sua resolução.

A localização da planta e o problema de p-mediana têm como preocupação a minimização da distância total ponderada entre as instalações no conjunto J e os nós no conjunto I , sendo que a demanda é normalmente atribuída à instalação mais próxima que estiver aberta, embora em algumas restrições, como no caso de capacidades e custos, possam ser atribuídas a instalações mais remotas (REVELLE; EISELT; DASKIN, 2008).

Na notação de Revelle, Eiselt e Daskin (2008), o modelo de p-mediana toma também como entrada as demandas (ou pesos) w_i em cada nó $i \in I$, as distâncias d_{ij} entre cada nó de demanda $i \in I$ e cada *site* da instalação candidata $j \in J$ e p sendo o número das instalações a serem localizadas, nas quais as principais decisões são onde localizar as instalações p e quais devem servir cada nó de demanda, sendo assim definidas as seguintes variáveis de decisão:

x_j = 1 se uma instalação estiver localizada no nó candidato $j \in J$ e 0, caso contrário;

$y_{ij} = 1$ se a demanda do nó $i \in I$ for designada para instalação no nó candidato $j \in J$ e 0, caso contrário.

Usando uma analogia com o estudo de Reville e Swain (1970), tomando como entrada (pesos) de notação w_i ou a_i em cada nó $i \in I$ como sendo a população da comunidade, o problema de p-mediana foi definido da seguinte forma:

Função Objetivo

$$\text{Minimizar: } \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} w_i d_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a

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

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3)$$

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

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

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

A função objetivo (1) minimiza a distância média ponderada pela demanda, pois as demandas são conhecidas, sendo a total fixa (REVELLE; EISELT; DASKIN, 2008) com as seguintes funções das restrições:

- Restrição (2): Assegurar que cada nó de demanda seja designado;
- Restrição (3): Assegurar que as atribuições só podem ser feitas para abertura de instalações;
- Restrição (4): Assegurar que exatamente as instalações p devem ser abertas;
- Restrições (5) e (6): Representam a integralidade padrão.

O modelo acima tem o pressuposto implícito de que o custo para implantar uma unidade é o mesmo para todos os locais.

Crainic e Laporte (1997) citam uma variante do modelo em que constam os custos f_i de localizar uma instalação no vértice. Reville, Eiselt e Daskin (2008) acrescentaram um parâmetro α , que converte o custo por unidade de distância da demanda. Com

isso, a formulação do problema com os custos e o parâmetro descrito pelos autores pode ser descrito da seguinte forma:

Função Objetivo

$$\text{Minimizar: } \sum_{j \in J} f_j x_j + \alpha \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} w_i d_{ij} y_{ij} \quad (7)$$

Sujeito a

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (9)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (10)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (11)$$

Segundo os autores, a função objetivo (7) minimiza a soma dos custos, tendo as restrições idênticas ao problema de p-mediana, com exceção do fato de redução da Restrição (4) que não se faz mais necessária pelo fato da própria função objetivo restringir a utilização de um grande número de instalações.

Serra e Marianov (1998) utilizaram um modelo semelhante ao p-mediana, formulado para abordar a questão da localização de novas instalações de estações de bombeiro em Barcelona (Espanha), quando houvesse incerteza na demanda, nos tempos de viagem ou na distância. O objetivo dos autores era a escolha de um conjunto de locais com o melhor desempenho possível em todos os cenários futuros, reconhecendo a incerteza da demanda ou população nos nós da rede e/ou os diferentes valores que os tempos de viagem podem ter, dependendo da hora do dia ou dia da semana.

À medida que a distância média da viagem aumenta, há uma diminuição da acessibilidade das instalações e eficácia do local, sendo este relacionamento válido para instalações de centros de serviços de emergência, aos quais a proximidade é desejável (OWEN; DASKIN, 1998).

Araz, Selim e Ozkarahan (2007), no estudo da localização de serviço de emergência, descreveram que na resolução de problemas com p-mediana algumas zonas da região poderiam ter tempo de resposta inaceitavelmente longo.

Embora se tenha o interesse no problema p-mediana, enfatizar o tempo médio de resposta ou o tempo médio de viagem em serviços de emergências não é totalmente suficiente devido à falta de provisão nos extremos, podendo ter alguns pontos de demanda com tempo excessivo (REVELLE *et al.*, 1977).

Minimizar o tempo médio de viagem por chamada de emergência ou tempo total de viagem por equivalência pode ocasionar períodos mais longos para alguns locais de menor demanda (DEGEL *et al.*, 2014).

Melhorias no modelo p-mediana foram avaliadas em alguns estudos. Heller, Cohon e Revelle (1989) propuseram um modelo de localização para sistemas de serviços médicos de emergência com otimização do modelo de p-mediana para resolver o problema multiobjetivo de equilibrar a carga de trabalho da instalação e minimizar o tempo médio.

Serra e Marianov (2004), no estudo da localização de instalações ou serviços relacionados ao setor público, como serviços de emergência (ambulâncias, bombeiros e unidades policiais), também abordaram melhorias de soluções para o modelo de p-mediana.

2.1.1.2 Modelo de cobertura e p-center

Segundo Revelle, Eiselt e Daskin (2008), os modelos de p-mediana, em muitos contextos, não são uma medida apropriada da qualidade da solução, que é particularmente verdadeiro ao projetar sistemas para serviços de emergência.

Araz, Selim e Ozkarahan (2007) afirmaram que, para resolver o problema do tempo de resposta longo em alguns locais do modelo p-mediana, foi desenvolvida a noção de cobertura da demanda, a qual se traduz na presença de pelo menos um veículo dentro de uma distância ou tempo predeterminado padrão.

Para Akbari, Pelot e Eiselt (2018), os problemas medianos não consideram o número de pessoas atendidas, mas o serviço médio para clientes individuais e, do ponto de

vista técnico, os problemas de cobertura oferecem um serviço aceitável (conforme definido pela distância de cobertura) para o maior número possível de pessoas.

O modelo de cobertura tem como definição de característica o uso e a confiança de um padrão de serviço na recepção ou entrega do serviço (MURRAY; TONG; KIM, 2010).

Para Shariff *et al.* (2012), o modelo de cobertura é normalmente apropriado nos serviços de emergência, tais como polícia, ambulância e postos de bombeiros, nos quais um desempenho ruim é a maior preocupação.

Para Jia (2006), os modelos de cobertura são os mais difundidos na formulação de localização das instalações de emergência.

Para Farahani *et al.* (2012), os modelos de cobertura não são novos, mas sempre foram muito atraentes para a pesquisa, devido à sua aplicabilidade na vida real, especialmente para instalações de serviço de emergência.

No caso da maioria dos sistemas de emergência em que a questão primordial é a quantidade de tempo no qual se aguarda o serviço, o melhor modelo é o de cobertura (SERRA; MARIANOV, 2004).

No estudo do modelo de localização para veículos de emergência, Araz, Selim e Ozkarahan (2007) propuseram a cobertura máxima, abordando a questão de determinar os melhores locais de base para um número limitado de veículos, a fim de que os objetivos do nível de serviço sejam otimizados.

Para Reville, Eiselt e Daskin (2008), o objetivo do modelo, denominado de cobertura do conjunto, é minimizar o quantitativo de instalações para fornecimento de serviços a todos os clientes, o qual levanta a possibilidade de garantir previamente um padrão de serviço com a escolha da distância máxima permitida para a instalação mais próxima. Neste caso, os autores definiram que as demandas em um nó $i \in I$ são tipicamente cobertas por uma instalação no local candidato $j \in J$, se a distância (ou

tempo de viagem) entre os nós for menor que a distância crítica denominada D_c , sendo que outras definições de cobertura também são possíveis. Se o nó candidato $i \in I$ puder ser coberto por um recurso no *site* candidato $j \in J$, $a_{ij} = 1$, senão $a_{ij} = 0$. Também $N_i = \{j: a_{ij} = 1\}$, ou seja, N_i é o conjunto de todos os *sites* candidatos que podem cobrir o nó de demanda $i \in I$ dentro da maior distância D_c , de modo que $N_i = \{j | d_{ij} \leq D_c\}$. Este modelo é também denominado em diversas literaturas de *Location Set Covering Problem* (LSCP).

Utilizando a notação abordada, bem como de Murray, Tong e Kim (2010) no estudo dos modelos clássicos de localização de cobertura, com as adaptações de nomenclaturas, o problema pode ser descrito da seguinte forma:

Função Objetivo

$$\text{Minimizar: } \sum_{j \in J} x_j \quad (12)$$

Sujeito a

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \text{ ou } \sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (13)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (14)$$

Segundo Revelle *et al.* (1977), em algum momento, o número de instalações pode se tornar insuficiente para cobrir todos os locais de demanda dentro da restrição de tempo imposta, sendo necessário saber qual o número mínimo de instalações necessárias.

Revelle, Eiselt e Daskin (2008) revelaram a perspectiva prática do modelo acima, no qual o número de instalações necessárias para cobrir todos os nós de demanda geralmente excede o orçamento disponível e há falha em discriminar entre nós de pequena e grande demanda. Os autores sugeriram que, na impossibilidade de cobrir todos os nós de demanda dentro do padrão de serviço especificado, muitas vezes é importante priorizar os que possuem maior demanda.

Church e Reville (1974) propuseram a modelagem, denominada de *Maximal Covering Location Problem* (MCLP). Assim, da mesma forma que o modelo LSCP, se o nó candidato $i \in I$ puder ser coberto por um recurso no *site* candidato $j \in J$, $a_{ij} = 1$, senão $a_{ij} = 0$, e $N_i = \{j: a_{ij} = 1\}$, e mantendo a nomenclatura e função de N_i como sendo o conjunto de todos os *sites* candidatos que podem cobrir o nó de demanda $i \in I$ dentro na maior distância Q ou D_c (conforme autor), de modo que $N_i = \{j|d_{ij} \leq Q\}$.

Owen e Daskin (1998) citam uma divisão da literatura acerca destes dois segmentos principais de cobertura denominados de necessária e otimizada. Os autores tratam que, no modelo de cobertura do conjunto, o objetivo visa à minimização do custo de localização da instalação, de forma a obter um nível especificado de cobertura, além de permitir o exame do quantitativo de instalações necessárias que garanta um determinado nível de cobertura a todos os clientes, e o problema de cobertura máxima, que busca maximizar o quantitativo de demanda coberta dentro da distância permitida com a localização de uma quantidade fixa de instalações.

Utilizando a descrição de Church e Reville (1974), por Schilling *et al.* (1980) no estudo de modelos de proteção contra incêndios, bem como de Murray, Tong e Kim (2010), salvo por alterações de nomenclaturas e tendo demandas (ou pesos) g_i em cada nó $i \in I$, o modelo é definido da seguinte forma:

Função Objetivo

$$\text{Maximizar: } \sum_{i \in I} g_i Z_i \quad (15)$$

Sujeito a

$$Z_i - \sum_{j \in N_i} x_j \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (16)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (17)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (18)$$

$$Z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (19)$$

Segundo os autores, mantendo as Restrições usuais de integralidade (18 e 19), temos que Z_i é igual a 1, se o nó de demanda $i \in I$ for coberto e 0, em caso negativo. A

função objetivo (15) maximiza o número de demandas cobertas. A Restrição (16) liga as variáveis de cobertura e localização e afirma que o nó de demanda $i \in I$ não pode ser contado como sendo coberto, a menos que seja localizada pelo menos uma instalação em um dos locais candidatos e a Restrição (17) limita o número de instalações a p .

No modelo MCLP, Church e Reville (1974) alertam acerca dos níveis de despesa para alcance de certo nível de cobertura, citando como exemplo que cinco instalações podem ser posicionadas para atender 90% da população e que mais dez podem ser necessárias para atingir 100%.

Para Reville *et al.* (2008), outra opção é relaxar a qualidade de serviço até que seja encontrado um padrão que permita uma cobertura total com os recursos disponíveis, o qual garantiria que cada ponto de demanda devesse ser completamente atendido.

Para Owen e Daskin (1998), na suposição de que uma cidade esteja localizando instalações de serviços de emergência, como postos de bombeiros ou ambulâncias, devido à natureza crítica das demandas por serviço, deve ser determinada uma distância ou tempo de viagem aceitável máximo. Ainda segundo os autores, tais instalações exigirão uma métrica diferente da eficiência da localização, sendo a questão principal a cobertura, ou seja, a demanda ser atendida dentro de um tempo especificado.

Para Murray, Tong e Kim (2010), no LSCP e MCLP, particularmente no caso de serviço de incêndio ou ambulância, há o pressuposto de que a instalação sempre tenha disponibilidade para resposta e/ou atendimento.

Reville e Snyder (1995) apresentaram um modelo para implantação simultânea de ambulâncias e bombeiros, misturando o MCLP com um modelo denominado *Facility Location-Equipment Emplacement Technique* (FLEET), englobando a técnica de localização de equipamentos, com o objetivo de maximizar e compensar a cobertura.

Outro modelo citado em localização de instalações de emergência é o denominado p-center. Suzuki e Drezner (1996) mencionaram que a localização de instalações de emergência, como postos de bombeiros, é frequentemente modelada pelo problema p-center.

Em contraste com o modelo p-mediana que otimiza o desempenho geral ou médio, o modelo p-center busca minimizar o pior desempenho, sendo que, nas últimas décadas, o referido modelo e suas extensões foram investigados e aplicados no contexto de localização de serviços de emergências médicas, hospitais, bombeiros e outras instalações públicas (JIA, 2006).

Para Tansel, Francis e Lowe (1983), o problema p-center pode ser considerado como de localização para fornecer um bom serviço ou minimização de uma perda máxima; nele pode-se supor que o tempo necessário para viajar dos centros para possíveis locais de emergência traduza perdas e cuja função é a sua minimização. Consiste em p instalações a serem localizadas e novamente o nó I é o conjunto de nós de demanda e J todos os locais candidatos nos quais as instalações podem estar localizadas e Q representa a máxima distância entre um nó $i \in I$ para instalação no nó candidato $j \in J$ mais próximo.

De acordo com Revelle, Eiselt e Daskin (2008), o modelo p-center pode ser formulado da seguinte forma:

Função Objetivo

$$\text{Minimizar: } Q \quad (20)$$

Sujeito a

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (21)$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (22)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (23)$$

$$\sum_{j \in J} d_{ij} y_{ij} - Q \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (24)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (25)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (26)$$

Para os autores, é uma opção o relaxamento de serviço até que seja encontrado um padrão que permita uma cobertura total com os recursos disponíveis. O problema é semelhante ao p -mediana, com exceção de que o objetivo é minimizar a máxima distância entre um nó de demanda e a instalação à qual ele está atribuído, além da Restrição (24) que estipula que esta máxima distância Q deve ser maior ou igual para cada nó de demanda. As funções das demais restrições são:

- Restrição (21): Assegurar que cada nó de demanda seja designado;
- Restrição (22): Assegurar que as atribuições só podem ser feitas para abertura de instalações;
- Restrição (23): Assegurar que exatamente as instalações p devem ser abertas;
- Restrições (25) e (26): Representam a integralidade padrão.

Problemas de p -mediana, cobertura e p -center são três tipos populares de modelagem de localizações, cujos problemas de cobertura estão relacionados à localização de instalações para que o maior número possível de clientes esteja a uma distância pré-estabelecida de qualquer uma das instalações, enquanto o problema de p -mediana visa a minimizar o tempo médio de resposta em todo o sistema e o p -center a reduzir a distância máxima das instalações, sendo os de p -mediana e cobertura amplamente utilizados na área de análise de localização de emergência (AKBARI; PELOT; EISELT, 2018).

O modelo de cobertura máxima tem adequação para certos tipos de emergências em larga escala, podendo não ser adequado para todos os tipos, em que os modelos p -mediana e p -center podem ser mais apropriados, como, por exemplo, nos quais os pontos de demanda em uma área precisam ser atendidos simultaneamente ou o pior desempenho das instalações precisa ser evitado (JIA; ORDONEZ; DESSOUKY, 2007).

Para Revelle e Eiselt (2005), em alguns casos, principalmente quando envolve localização de instalações de emergências, nem o conceito de p -mediana nem o de p -center podem ser satisfatórios, pois os tomadores de decisão podem querer realizar a cobertura no caso em que a distância ou o tempo entre uma demanda e a instalação mais próxima não seja maior que um valor predefinido (distância ou tempo padrão).

Karatas, Razi e Tozan (2016) avaliaram o desempenho do problema de p-mediana com o modelo de cobertura máxima (sob o requisito de vários critérios) e envolvendo a geração de múltiplos cenários, com resolução pelos dois modelos, concluindo que o tomador de decisão que desejar minimizar a distância média às instalações designadas, enquanto tenta maximizar a taxa de demandas locais com pelo menos uma cobertura primária, deve preferir o modelo de p-mediana em detrimento ao de cobertura máxima.

Embora o tomador de decisão possa ter interesse em prover cobertura máxima possível dentro de uma distância definida, ele pode também se atentar para a qualidade da prestação dos serviços às pessoas não atendidas dentro do limite estipulado (CHURCH; REVELLE, 1974).

Li *et al.* (2011) analisaram modelos e técnicas de otimização para localização e planejamento de instalações de resposta a emergências na literatura das últimas décadas, concluindo que a maioria dos problemas de localização e alocação de emergências médicas utilizam a cobertura como objetivo e que outros critérios podem servir para refletir diretamente a eficácia.

Há uma variedade de modelos de localização para determinação da localização ideal de serviços de emergência, nos quais a maioria dos estudos adotou a abordagem de cobertura (quantitativo máximo de demandas ou populações) para melhor resposta e qualidade do serviço (KC; CORCORAN; CHHETRI, 2018).

Minimizar o tempo máximo de viagem gera o período necessário para atendimento o mais rápido possível à solicitação de qualquer vítima individual e no pior cenário possível (DEGEL *et al.*, 2014).

A abordagem teve como premissa os modelos mais utilizados nos problemas de localização, possuindo ainda estudos aperfeiçoados para situações particulares em várias literaturas que tratam inclusive de redundância de cobertura/serviços, englobando análises determinísticas/probabilísticas, além de outras variantes. Estudos complementares podem ser obtidos em Alsalloum e Rand (2006), Boujemaa,

Jebali, Sondes e Ruiz (2018), Farahani *et al.* (2012), Murray, Tong e Kim (2010), Pirkul e Schilling (1989), Sorensen e Church (2010), entre outros.

2.1.2 Tempo de Resposta

A utilização do tempo de resposta é um parâmetro antigo e comum na análise da localização de unidades de emergência. É uma das métricas de desempenho mais amplamente usadas em serviços de emergência (USANOV; VAN DE VEN; VAN DER MEI, 2020).

De acordo com o *Commission on Fire Accreditation International* – CFAI (2003), originalmente as estações de bombeiros eram baseadas em bairros e na localização de voluntários e, havendo a necessidade de novas estações, um dos primeiros critérios a serem aplicados era o de que deveria ser espaçado o suficiente, para que a comunidade em geral fosse coberta, e perto o suficiente, para poder apoiar um ao outro.

Degel *et al.* (2014) realizaram um estudo para quantificar os efeitos e identificar diferentes alternativas, tais como realocar ou fechar estações para minimizar o impacto no fornecimento de serviços de resgate em função dos desafios enfrentados pelos bombeiros com um número reduzido de jovens voluntários ou a diminuição do orçamento público. Concluíram que a maioria dos documentos existentes acerca de localização tem como critério importante a proporção de solicitações atendidas dentro de um determinado padrão de tempo.

Chevalier *et al.* (2012), no estudo de projeto de apoio de decisão para a localização de postos de bombeiros, concluíram que, para emergências, o atraso entre a partida e chegada da brigada em cena é um determinante essencial na eficiência operacional e pode ter um grande impacto nas consequências do incêndio/acidente em termos de vítimas e danos.

Nos estudos de Claridge e Spearpoint (2013), os autores discorrem sobre as alterações no código de construção na Nova Zelândia, onde os novos requisitos e

outros métodos estabelecidos de engenharia de incêndio tomam por base o desempenho dos bombeiros, que são associados ao tempo para tarefas de intervenção e, especificamente, de chegada.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) adotou uma norma da *International Organization for Standardization* (ISO), publicando a NBR ISO 37120:2017, que define e estabelece um conjunto de indicadores como orientação e medição de desempenho de serviços urbanos e qualidade de vida, nos quais podemos destacar a resposta a incêndios e emergências como indicador essencial e o tempo de resposta como indicador de apoio. Trata-se de um conteúdo da ISO 37120:2014 (*Sustainable development of communities - Indicators for city services and quality of life*).

2.1.2.1 Tempo de resposta em emergências médicas e unidades de bombeiros

O tempo de resposta como fator de desempenho é adotado tanto nos serviços de emergências médicas como nas atividades de combate a incêndios, socorro e salvamento.

O tempo de resposta é objetivo e facilmente quantificável e compreendido pelo público e pelos formuladores de políticas (AL-SHAQSI, 2010).

Para Usanov, Van de Ven e Van Der Mei (2020), o tempo de resposta a incidentes é a base de medida de desempenho de um corpo de bombeiros e, de acordo com Peleg e Pliskin (2004), é um fator muito importante na determinação da qualidade do serviço de emergência médica.

O tempo é questão fundamental nos sistemas de emergência, nos quais, no caso de emergências médicas, há uma correlação entre tempo e risco de perda de vida, e nos serviços de combate a incêndio, com a perda de propriedade (SERRA; MARIANOV, 2004).

Para Billhardt *et al.* (2014), muitos países e regiões especificam limites de tempo de resposta para as organizações prestadoras de serviços de assistência médica de emergência, seja por lei, seja por meio de normas contratuais, para garantia da qualidade.

Uma maneira de reduzir o tempo de resposta consiste em reduzir os tempos de viagem ou de chegada de ambulâncias para pacientes de emergência, sendo que os mesmos dependem dos aspectos logísticos de um serviço de assistência médica de emergência (BILLHARDT *et al.*, 2014).

Para Mclay e Mayorga (2010), a análise de medidas de desempenho no sistema de emergência médica é um problema importante, devido à utilização na determinação de como os recursos serão utilizados. Ainda segundo os autores, o limite de tempo resposta é comumente utilizado nos Estados Unidos, sendo de fácil compreensão.

Um tempo rápido de resposta também refletirá no tempo global menor para ambulâncias e aumentará a disponibilidade para chamadas adicionais (PELEG; PLISKIN, 2004).

Para Al-Shaqsi (2010), devem se desenvolver padrões realísticos de tempo de resposta com base em dados que possam documentar o benefício de fornecimento de intervenção específica dentro de um intervalo específico, em comparação com o custo associado à prestação desse cuidado.

O tempo de resposta é usado, por exemplo, pela *Fire Department Amsterdam-Amstelland* (FDAA) e pelo governo holandês para medição de desempenho (USANOV; VAN DE VEN; VAN DER MEI, 2020).

Segundo Murray (2013), a maioria dos países possui uma organização equivalente à *Insurance Services Office* (ISO) dos Estados Unidos, que fornece informações sobre risco de propriedade e responsabilidade, sendo que seguradoras e reguladores governamentais do local a utilizam para garantir serviços adequados de proteção contra incêndio, nos quais a essência dos dados é o risco relativo e a resposta a

incêndios associada, tendo como resultado a existência de padrões de tempo de resposta bem definidos para mitigar o risco de perda de pessoas e propriedades.

Challands (2010), em um estudo para analisar a relação entre o tempo de resposta dos bombeiros e os resultados decorrentes dos incêndios, analisou os dados de cerca de 27.500 incêndios em estruturas em toda a Nova Zelândia, concluindo que, em geral, os custos dos danos estruturais aumentam à taxa de aproximadamente NZ\$ 4000,00 (dólar neozelandês) por minuto de tempo de resposta.

Para Murray (2013), a proteção e resposta a incêndios nas áreas urbanas é um dos serviços públicos mais essenciais. No estudo de Buffington e Ezekoye (2019), em uma análise de incêndios residenciais ocorridos entre 2002 e 2017 nos Estados Unidos com dados fornecidos pelo sistema nacional de notificação de incidentes de incêndio, a *National Fire Reporting System* (NFIRS) concluiu que em média o aumento do tempo de resposta tem associação com o incremento de perdas monetárias a uma taxa de U\$ 3000,00 por minuto, durante o intervalo de 3 a 13 minutos. Os autores concluíram também que o risco de um incêndio danificar mais de 75% da residência é maior que 30% para tempos de resposta que superem 14 minutos, comparados com 4 minutos.

De acordo com um estudo da *National Fire Protection Association* (2002), que é uma fonte dos códigos e normas que regem a indústria de proteção contra incêndios e segurança da vida, no comportamento do fogo há uma progressão lógica de desenvolvimento através de estágios, que vão desde o início da combustão até o momento posterior à combustão generalizada. O estudo diz ainda que um incêndio em uma estrutura residencial passará para uma combustão generalizada entre 5 e 30 minutos após ignição.

Segundo orientações da CFAI (2020), que possui um modelo de padrões de cobertura e com exposição para autoavaliação de vários indicadores de desempenho de resposta, na definição dos objetivos do nível de serviço deve-se desenvolver o critério de tempo e percentual mínimo de atendimento a ser alcançado no intervalo, com localização de recursos geograficamente distribuídos.

2.1.2.2 Medidas de tempo de resposta e percentual de desempenho

Para Claridge e Spearpoint (2013), os padrões internacionais modernos de tempo de resposta diferem significativamente ao redor do mundo. Apesar de comumente utilizados e diversos estudos sobre a distribuição estratégica de recursos para minimizar/otimizar a métrica do tempo de resposta, não há um consenso mundial que determine seu valor.

Chevalier *et al.* (2012) projetaram um sistema de apoio de decisão para a Bélgica para a localização de postos de bombeiros, definindo localização ideal, área de serviços, recursos (equipe e equipamentos), entre outros, para definir um plano de reorganização para postos de bombeiros, em que a questão fundamental se define em um tempo normativo dentro do qual um percentual de ocorrências deve ser atingido e em obter a solução de menor custo que se possa conseguir.

Yang, Jones e Yang (2007) trazem uma descrição da recomendação do limite de tempo e distância no Reino Unido em função das categorias de risco, que inclusive servem de base para a elaboração do referido estudo dos autores acerca da localização de estações de combate a incêndio, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Categorias de risco de incêndio e padrões de presença

RISCO	Nº APARELHOS	TEMPO LIMITE (MINUTOS)	LIMITE DE DISTÂNCIA (MILHAS)
A	3	4-5	4-5
B	2	5-8	5-8
C	1	8-10	8-10
D	1	10-20	10-20

Fonte: Yang, Jones e Yang (2007).

Em muitos estudos percebe-se que, além do tempo de resposta, há uma análise ou premissa de um percentual de atendimentos dentro do intervalo definido que traduz em desempenho.

Para Claridge e Spearpoint (2013), o tempo necessário para veículos de combate a incêndio responderem a um evento tem variações que dependem de inúmeros fatores,

como a distância, o tempo necessário para os bombeiros responderem à notificação do incidente, velocidade de deslocamento, entre outros.

Quase todos os sistemas de emergências médicas possuem medidas de desempenho que se baseiam no intervalo de tempo de resposta que é medido com mais frequência, como o número ou fração de chamadas que podem ser alcançadas em um período fixo, indicado como o limite do tempo de resposta (MCLAY; MAYORGA, 2010).

Na Europa e nos Estados Unidos, os limites geralmente ficam entre 8 e 15 minutos e no Reino Unido, por exemplo, uma norma nacional define que pelo menos 75% das chamadas com risco de vida imediato devem ser respondidas dentro de 8 minutos (BILLHARDT *et al.*, 2014).

Alsalloum e Rand (2006), no estudo de um modelo de localização desenvolvido e aplicado ao serviço médico de emergência da cidade de Riyadh (Arábia Saudita), para redução da mortalidade e deterioração da saúde causados por incidentes ou doenças de emergências, utilizaram um tempo máximo de 10 minutos e concluíram que a realocação das unidades existentes maximizaria o atendimento de 74% para 85% dentro do intervalo.

Aktaş *et al.* (2013), no estudo de otimização dos locais dos bombeiros para o município metropolitano de Istambul (Turquia), utilizaram modelo de cobertura para minimizar o número de novos postos de incêndio para atender todos os subdistritos no tempo de viagem fixo máximo de cinco minutos, obtendo um aumento da cobertura de 58,6% para 85,9%.

Chevalier *et al.* (2012), por exemplo, utilizaram um padrão de 8 minutos para 90% de todas as categorias de risco no projeto Belga para a localização de postos de bombeiros.

O serviço de bombeiros da Nova Zelândia estipula que os tempos de resposta para incidentes de incêndio devem ter o desempenho de 7 minutos e 30 segundos para

estações com efetivo permanente e 10 minutos para as estações de voluntários, ambos com percentual de 90% (CLARIDGE; SPEARPOINT, 2013).

Challands (2010), na análise de 27.500 incêndios em toda a Nova Zelândia, verificou que 96% do tempo de resposta estava dentro dos 15 minutos.

Aldabbas *et al.* (2018), no estudo de localização adequada de local para o corpo de bombeiros em uma cidade na Suíça, mantiveram uma forte restrição ao tempo de resposta em 15 minutos em pelo menos 80% das intervenções como um dos critérios.

Peleg e Pliskin (2004), na proposição de um modelo para reduzir o tempo de resposta das ambulâncias em Israel, utilizaram como critério um tempo de resposta de 8 minutos ou menos para, pelo menos, 95% das chamadas.

Mclay e Mayorga (2010), no estudo sobre a proposição de uma metodologia para avaliar o desempenho dos limiares de tempo de resposta em termos das taxas de sobrevivência dos pacientes no condado de Hanover, na Virgínia (Estados Unidos), indicaram que a localização de ambulâncias para maximizar os limites de tempo de resposta de sete e oito minutos maximiza simultaneamente a sobrevivência do paciente.

Segundo López, Innocenti e Busquets (2008), no serviço médico de emergência da Espanha o tempo máximo para a maior prioridade é de 15 minutos.

Na América do Norte, há uma grande adoção do tempo de resposta de acordo com a NFPA. Embora ela não possua dever legal, fornece uma referência em outros quesitos para mensurar desempenho ao redor do mundo. A NFPA aborda basicamente três normas para tempo de resposta: NFPA1221 (NFPA, 2016), – sobre instalação, manutenção e uso de sistemas de comunicação de serviços de emergência; NFPA 1710 (NFPA, 2010) – sobre a organização e implantação de operações de supressão de incêndio, operações médicas de emergência e operações especiais ao público por departamentos de incêndio de carreira; e NFPA 1720 (NFPA, 2010) – relativa à organização e implantação de operações de supressão de incêndio, operações

médicas de emergência e operações especiais ao público por departamentos de bombeiros voluntários. Ainda divide o tempo total de resposta a emergências nas seguintes categorias:

- Tempo de transferência de alarme: Intervalo de tempo entre o recebimento de uma chamada até o recebimento do alarme no centro de comunicações do corpo de bombeiros;
- Tempo de resposta do alarme: Intervalo de tempo que inicia quando o alarme é recebido no centro de comunicação do corpo de bombeiros e termina quando o mesmo é confirmado no centro de comunicação de incêndio;
- Tempo de processamento de alarme: Intervalo de tempo desde quando o alarme é confirmado no centro de comunicação de incêndio até que as informações de resposta possam ser transmitidas por voz ou meios eletrônicos para instalações de resposta a emergências;
- Tempo de participação: Intervalo de tempo que começa quando inicia o processo de notificação de unidades de resposta a emergências. Começa por um alarme sonoro ou anúncio visual, ou ambos, e termina no ponto inicial do tempo de viagem;
- Tempo de viagem: Intervalo de tempo que começa quando uma unidade está a caminho do incidente de emergência e termina quando a unidade chega ao local.

A NFPA trata de tempo de resposta usando também um percentual mínimo de atendimentos no referido intervalo. A NFPA 1710 (NFPA, 2010) prevê que o serviço de emergência médica seja de 240 segundos ou menos para um veículo de suporte básico de vida para 90% dos incidentes. Para ocorrências de extinção de incêndio, é previsto o mesmo percentual de atendimentos e intervalo de tempo para a chegada do primeiro veículo no local e 480 segundos para chegada da equipe de apoio/operação completa, quando se tratar de unidades de bombeiro de carreira. Para bombeiros voluntários, segundo a NFPA 1720 (NFPA, 2010), os tempos dependem do local e da densidade demográfica, que em geral utiliza os parâmetros de referência, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo de resposta e percentual mínimo de atendimento

ÁREA	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (POPULAÇÃO/MILHA QUADRADA)	TEMPO DE RESPOSTA (MINUTOS)	OBJETIVO (%)
Área urbana	>1000	9	90
Área suburbana	500-1000	10	90
Área Rural	<500	14	90
Área remota	Distância de viagem ≥ 8 milhas	Depende diretamente da distância de viagem	90

Fonte: NFPA 1720 (NFPA, 2010).

Portanto, os intervalos de tempo são igualmente importantes e de extrema relevância no desempenho geral. Apesar da importância e da previsão do intervalo de tempo em cada categoria, que remete ao desempenho total do tempo de resposta, no estudo há uma dependência direta do tempo de viagem em relação ao local de instalação da unidade.

No estudo de Degel *et al.* (2014), na reorganização de uma rede de bombeiros voluntários (Alemanha), o foco foi nos tempos de viagem para considerar um nível médio ou mínimo de qualidade estipulado em 10,8 minutos.

No levantamento de Başar, Çatay e Ünlüyurt (2011) acerca de uma taxonomia para o problema de localização da estação de serviço de emergência, considerando o tipo de emergência, a função objetivo, restrições, premissas do modelo, modelagem e técnicas de solução, na análise de 84 artigos sobre o assunto, 74 utilizaram a distância e/ou distância de viagem no estudo.

Farahani *et al.* (2012) fizeram uma revisão dos problemas de cobertura na localização de uma instalação, no qual todos os estudos utilizaram o tempo de viagem/distância de forma determinística como parâmetros.

Serra e Marianov (2004) afirmaram que, embora a maioria dos modelos que examinaram tratem de distância (ou tempo de viagem) como único parâmetro, é possível que haja outros que possam influenciar as decisões. Mas na quase totalidade dos estudos de localização de unidades de emergência, é perceptível que o passo inicial é a previsão de desempenho baseado no tempo necessário disponibilização do recurso no cenário do incidente, de forma a prover a população de resposta eficaz e

segura, a qual é normalmente associada a um percentual desejado de atendimentos em um tempo limite. Como no Brasil não há regulamentação específica sobre o tempo de resposta/viagem e valor percentual mínimo a ser alcançado, cabe a cada órgão definir sua métrica.

2.1.3 Critérios de escolha de instalações para atendimento emergencial

Para Akbari, Pelot e Eiselt (2018), os modelos gerais consideram apenas um critério ao tentar otimizar a localização das instalações, enquanto na realidade é frequentemente desejável levar em consideração alguns outros, como objetivos do modelo.

Além do desempenho no quesito tempo de resposta, outros fatores tomam importância no cenário de escolha do local de uma instalação e, muitas vezes, envolvem os riscos potenciais ou mesmo critérios específicos, que podem inclusive ter objetivos conflitantes.

Nos Estados Unidos, muitas unidades adotam um documento padrão de cobertura de resposta de emergência denominado *Standard of Emergency Response Coverage* (SERC), no qual como componentes há identificação de riscos e expectativas de risco.

A CFAI (2020) define os padrões de cobertura de resposta como sendo aqueles adotados que determinam a concentração, distribuição e confiabilidade das forças de resposta (fixas e móveis) para incêndio, serviços médicos de emergência, materiais perigosos e outros de resposta técnica, usando uma metodologia de aferir desempenho, no qual elenca o risco e tempo total máximo de resposta como indicadores.

Araz, Selim e Ozkarahan (2007), no modelo de localização de veículos de emergência, consideraram a maximização da população coberta por um veículo, a maximização da população com apoio de cobertura e o aumento do nível de serviço, minimização da distância total de viagem dos locais a uma distância maior que um padrão definido previamente.

Zhang, Li e Liu (2012) propuseram um modelo de alocação de recursos de emergência com múltiplos recursos e múltiplos depósitos, introduzindo o custo de oportunidade dos desastres secundários na função objetivo, criando um modelo de programação inteira mista para despachar os vários recursos de emergência.

Yang, Jones e Yang (2007), no estudo da localização de estações de combate a incêndio, consideraram os custos de instalação, de operação e distância de uma unidade de atendimento, mas diferenciando as categorias de risco em uma dada região.

Degel *et al.* (2015) também utilizaram um modelo de programação linear inteira para estudo da alocação de ambulâncias na cidade de Bochum (Alemanha), com critérios da cobertura empírica, frequência e localização das emergências, além de utilizarem o número de emergências dependente do tempo.

Suzuki e Satoh (2020), no estudo da localização ideal dos bombeiros com base na situação de expedição de ambulâncias na cidade de Utsunomiya, na província de Tochigi (Japão), utilizaram uma otimização com o objetivo de minimizar a distância total de viagem e expuseram que o valor da demanda de cada instalação é um dos principais contribuintes para garantir a equidade e a eficiência.

Badri, Mortagy e Alsayed (1998) apresentaram um modelo de programação para o problema de localização de postos de bombeiros que incorpora vários objetivos estratégicos, além de vários sistemas de restrições, que incluem requisitos de custos, demanda (maximizando o atendimento às áreas de maior exigência de serviço), distância (minimizando a média e a máxima distância percorrida da estação até os locais de acidentes), tempo (minimizando o tempo médio e máximo de viagem), alvo (atingir o número alvo de postos de bombeiros), sobreposição (minimizando a sobreposição de serviço), político (obter *status* de área favorecida), disponibilidade de água (minimizando a localização onde a disponibilidade de água pode ser um problema).

Schilling *et al.* (1980), ao desenvolverem um estudo do sistema de proteção contra incêndio na cidade de Baltimore (Estados Unidos), incluíram múltiplos critérios de desempenho, tais como cobertura de valor de população e propriedade.

Aldabbas *et al.* (2018), em seus estudos para a seleção do local do corpo de bombeiros mais adequado na cidade de Friburgo (Suíça), utilizaram métodos para alternativas distintas, levando em consideração os custos de estabelecimento, custos operacionais, critérios técnicos, critérios administrativos, critérios econômicos e sociais, entre outros, concluindo pela necessidade de construção de um novo quartel de bombeiros para a nova brigada de incêndio e abandono dos antigos.

Previsões populacionais foram utilizadas com aplicação do MCLP para delinear a cobertura dos atuais e novos postos de bombeiros na cidade de Brisbane (Austrália) por Kc, Corcoran e Chhetri (2018).

Dong *et al.* (2018) utilizaram como restrição a menor distância entre unidades de atendimento contra incêndios e pontos de demanda que possuíam alto risco de incêndio dentro de uma faixa de serviço para o estudo de localização de instalações dos Bombeiros na cidade de Linyi, Distrito de Lanshan (China).

Erden e Coşkun (2010), no estudo para encontrar a localização ótima de estações de combate a incêndios na cidade de Istambul (Turquia), utilizaram como critérios a distância das áreas sujeitadas a risco sísmico, distância de instalações de materiais perigosos, densidade populacional, proximidade às principais estradas, densidade de construções de madeira e distância das estações existentes, mas restringindo o tempo de resposta a, no máximo, cinco minutos.

Critérios para localização e mobilização de recursos de emergência perpassam também por situações que envolvem a proteção e defesa civil, englobando uma logística que necessite se apoiar em ferramentas para propiciar melhor alocação em situações de emergências em desastres e/ou logística humanitária.

As instalações de resgate de emergência são um componente essencial do sistema de logística de emergência urbana e a seleção de seus locais é significativa para a segurança pública urbana (ZHAO; LIU, 2018).

Boonmee, Arimura e Asada (2017), no estudo de um modelo de otimização de localização de instalações para logística humanitária de emergência, utilizaram como base a modelagem de dados e tipos de problemas, examinando situações pré e pós-desastre com relação à localização da instalação, tais como armazéns, abrigos, centros de distribuição, locais de remoção de detritos e centros médicos.

Para Zheng, Chen e Ling (2015), o eficaz planejamento e programação das operações de socorro para salvar vidas e reduzir os danos causados por desastres exercem um papel fundamental.

Doyen, Aras e Barbarosoglu (2012), no estudo da localização de instalações para logística de ajuda humanitária, utilizaram um modelo como ferramenta de planejamento em situação de desastres que auxiliam a tomada de decisões eficientes, afirmando que a distribuição de itens de socorro estrategicamente localizados aumenta a eficiência. Ainda devido a este fato, segundo os autores, houve um aumento do interesse nos modelos de localização das instalações para a logística de ajuda humanitária nos últimos anos.

Aktaş *et al.* (2013), ao tratarem da otimização dos locais dos bombeiros, afirmaram que eventos catastróficos criam um problema logístico para ajuda humanitária e para operações de resposta a incêndios, sendo necessária uma adequada preparação para que a equipe de emergência possa realizar o salvamento de um maior número possível de vidas.

2.1.4 Prioridades no atendimento emergencial

Alguns trabalhos analisam estratégias de despacho de acordo com as prioridades dos incidentes, permitindo estabelecer uma classificação que normalmente obedece ao

potencial de danos à vida, ao patrimônio e ao meio ambiente, estipulando tempos de resposta e níveis de importância diferentes, podendo servir de parâmetro para nortear o processo decisório de local da instalação e que influenciam no tipo e resultado do modelo.

Segundo López, Innocenti e Busquets (2008), no serviço médico de emergência da Espanha, os pacientes recebem uma prioridade de transporte, em que cada nível exige um tempo de resposta específico.

Lim, Mamat e Brauni (2011), no estudo do impacto das políticas de expedição de ambulâncias no desempenho dos serviços médicos de emergência, abordaram que pode haver uma redução no tempo de resposta de chamadas urgentes com a adoção de uma política de despacho apropriada.

Três prioridades são consistentes com a maioria dos serviços de emergência médica, nos quais se prevê que os pacientes com prioridade 1 sofrem condições de risco de vida, com prioridade 2 podem estar enfrentando tais condições e com prioridade 3 as que não estejam em tais condições (MCLAY; MAYORGA, 2013).

Segundo Boujemaa *et al.* (2018), na confecção de um modelo de alocação de ambulâncias com programação estocástica, citaram 4 tipos de prioridade, sendo classificadas como 1 aquelas que não requerem ambulância; 2, as que requerem serviço de transporte sem qualquer emergência; 3, as que se associam a um evento que não tenha ameaça à vida; e 4 para as chamadas que levam perigo para a vida humana, no qual foi dada uma prioridade mais alta às chamadas de maior prioridade, mas com provisão de atendimento em duas camadas.

Li *et al.* (2011), em um estudo abrangente sobre otimização para localização e planejamento de instalações de resposta a emergências, concluíram que as chamadas de emergência podem ter prioridades diferentes que exigem tipos e/ou números diferentes de serviços/veículos de emergência, sendo interessante integrar o conceito de níveis de qualidade e prioridades nos modelos.

2.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O planejamento de localização para serviços denominados de emergência possui uma ampla e diversificada literatura. Nota-se que há vários trabalhos com variância de modelos, métodos, fatores de risco e métricas de desempenho para implantação de unidades de emergência. No entanto, é nítida a importância de adequação local, estabelecendo uma metodologia que se adapte à demanda/necessidade de cada região.

3 CASO ESTUDADO

Este capítulo apresenta análises (situações) do modelo proposto com direcionamento a um conjunto de municípios do Estado do Espírito Santo que abranja, obrigatoriamente, a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), o que permitirá contemplar e avaliar os critérios para quantificar e localizar unidades de atendimento operacional de serviços de emergência.

Em virtude das atribuições e da possibilidade de aplicabilidade prática de uma base metodológica, já que o objetivo foi a criação de uma ferramenta científica de apoio à tomada de decisão para planejamento do atendimento operacional de serviços públicos de emergência que pudesse servir para a melhoria do atendimento e melhor capacidade de resposta em função das restrições impostas, o caso estudado foi do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Espírito Santo (CBMES), o qual serviu de modelo para avaliar a solução, a aplicabilidade e a complexidade do estudo.

Para melhor compreensão, serão explanadas as principais características do órgão de estudo e funcionamento/dados dos atendimentos, que incluem desde o acionamento da chamada até a atuação final. O capítulo está dividido em seis seções: (1) Descrição do órgão de estudo; (2) Descrição da área de estudo; (3) População e amostra; (4) Coleta de dados; (5) Análise de dados; e (6) Considerações finais do capítulo.

3.1 DESCRIÇÃO DO ÓRGÃO DE ESTUDO

O CBMES é uma Instituição pública pertencente à SESP, atendendo a uma grande diversidade de chamados emergenciais que englobam combate a incêndios, buscas e salvamentos diversos, no qual as equipes ficam dispostas nas unidades, sendo acionadas de acordo com a natureza e área do incidente.

A Instituição possui as atribuições descritas nas Constituições Federal e Estadual. Na Constituição Federal, além das demais atribuições definidas em lei, há a responsabilidade da execução de atividades de Defesa Civil (BRASIL, 1988). Na

Constituição do Estado do Espírito Santo, competem-lhe as ações de prevenção e combate a incêndios, busca e salvamento, elaboração de normas relativas à segurança das pessoas e dos seus bens contra incêndios e pânico, perícias de incêndios e explosões em locais de sinistros, coordenação e execução de ações de defesa civil, além de outras previstas em lei (ESPÍRITO SANTO, 1989).

O planejamento estratégico do CBMES definiu como missão prestar seus serviços de forma eficiente, ágil e integrada, tendo como iniciativa proposta no painel estratégico modernizar e ampliar a capacidade de resposta à emergência (CBMES, 2015).

Entretanto, ampliar a capacidade de resposta é um grande desafio, já que atualmente a Corporação dispõe em seus quadros de aproximadamente 1.100 militares para atender todo o território espírito-santense, com unidades de atendimentos operacionais em 17 dos 78 municípios do Estado.

Isto impõe uma importante tarefa de tomada de decisão de como ampliar e/ou otimizar os recursos/prestação dos atendimentos, levando à reflexão de fatores e critérios que possam sustentar esta escolha.

3.1.1 Órgãos de atendimento emergencial

O CBMES possui uma estrutura composta por órgãos de direção, apoio e execução, em que os de direção realizam o comando e a administração da Corporação e acionam os demais por meio de diretrizes e ordens; os de apoio realizam o atendimento das necessidades (pessoal e material) e os de execução realizam as atividades-fim, com os recursos de pessoal, de material e de serviços dados pelos órgãos de apoio (ESPÍRITO SANTO, 1997).

Possui ainda como órgão de direção setorial a Diretoria de Operações (DOp), que controla, coordena e disciplina as atividades que envolvem as missões constitucionais do CBMES, especificamente no que se refere a combate a incêndios, busca e salvamento (ESPÍRITO SANTO, 2013).

Os órgãos de execução do CBMES compreendem o Centro de Atividades Técnicas, Batalhões de Bombeiros Militares, Companhias Independentes de Bombeiros Militares, Companhias de Bombeiros Militares, Pelotões de Bombeiros Militares e Destacamentos de Bombeiros Militares (ESPÍRITO SANTO, 2013).

Cada tipologia de órgão de execução possui atribuições, divisões, estrutura e efetivo distinto. Entretanto, devido ao estudo definir um planejamento no qual deverão estar dispostos os recursos operacionais de unidades relacionadas aos serviços de emergência do CBMES, a dimensão da alocação se restringiu a designar todos os órgãos de execução como unidade de atendimento operacional, excetuando-se o Centro de Atividades Técnicas.

3.1.2 Distribuição das unidades de atendimento emergencial

O CBMES possui um plano de emprego que trata da alocação de recursos, distribuição do efetivo operacional, do acionamento dos esforços e da divisão da área de atendimento operacional das unidades, no qual busca estruturar sua capacidade de resposta tanto no atendimento a emergências quanto a desastres, sendo que o sistema de atendimento a emergências se baseia na composição e distribuição das guarnições e do efetivo pelas unidades do estado, além da composição da escala de serviço (CBMES, 2019).

A localização, neste aspecto, assume extrema relevância, pois todo o sistema de atendimento se baseia na organização das áreas de responsabilidade de cada unidade de atendimento operacional da Corporação.

Atualmente, o CBMES possui em todo o estado 17 unidades de atendimento operacional, com localização, abrangência de atendimento e número de habitantes, conforme Tabela 3, na qual se ressalta que não necessariamente a área de atuação de uma unidade coincide com as fronteiras políticas dos municípios, bem como regiões de apoio mútuo entre as mesmas denominada de “área de mobilização” (Figura 2).

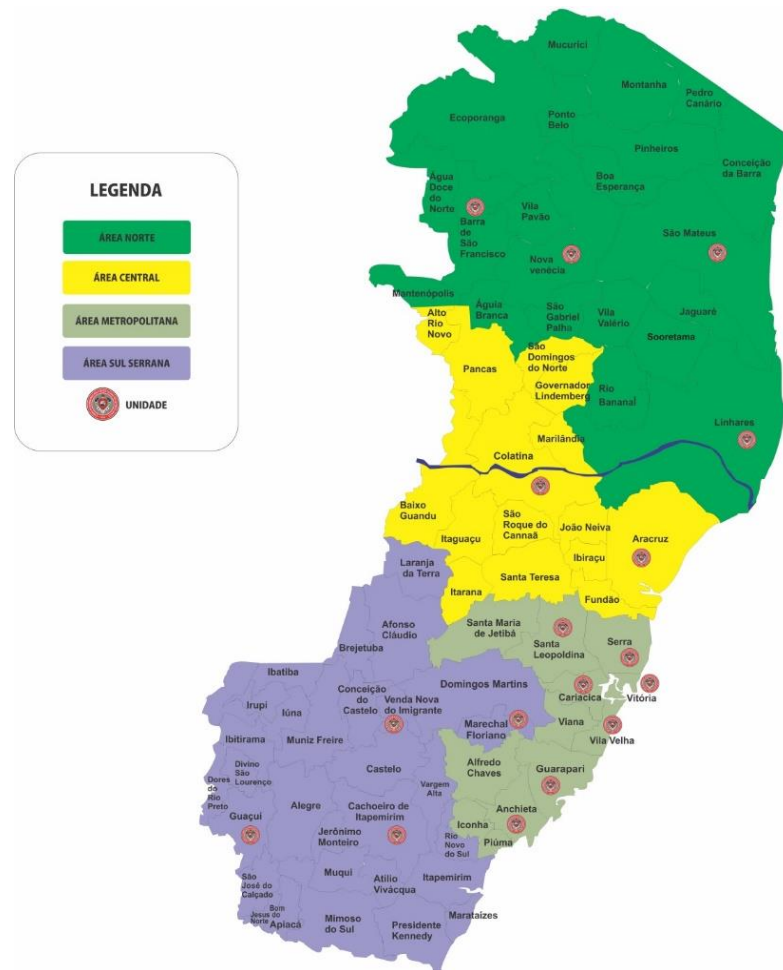
Tabela 3 - Unidades de atendimento operacional

LOCALIZAÇÃO	MUNICÍPIOS DE ATENDIMENTO	POPULAÇÃO*
Anchieta	Anchieta, Iconha, Piúma	64.834
Aracruz	Aracruz, Fundão, Ibirapu, João Neiva, Santa Teresa	175.466
Barra de São Francisco	Água Doce do Norte, Águia Branca, Barra de São Francisco, Ecoporanga	103.584
Cachoeiro de Itapemirim	Atilio Vivácqua, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Itapemirim, Jerônimo Monteiro, Marataízes, Mimoso do Sul, Muqui, Presidente Kennedy, Rio Novo do Sul, Vargem Alta	429.681
Cariacica	Cariacica, Viana	459.524
Colatina	Alto Rio Novo, Baixo Guandu, Colatina, Governador Lindenberg, Itarana, Itaguaçu, Mantenópolis, Marilândia, Pancas, São Domingos do Norte, São Roque do Canaã	271.083
Linhares	Linhares, Rio Bananal, Sooretama	222.766
Nova Venécia	Boa Esperança, Montanha, Mucurici, Nova Venécia, Pinheiros, Ponto Belo, São Gabriel da Palha, Vila Valério, Vila Pavão	185.649
Guaçuí	Alegre, Apiacá, Bom Jesus do Norte, Divino de São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Guaçuí, Ibitirama, São José do Calçado	108.952
Guarapari	Alfredo Chaves, Guarapari	139.460
Marechal Floriano	Afonso Cláudio, Domingos Martins, Laranja da Terra, Marechal Floriano	92.077
Santa Leopoldina	Santa Leopoldina, Santa Maria de Jetibá	52.655
São Mateus	Conceição da Barra, Jaguaré, Pedro Canário, São Mateus	218.335
Serra	Serra	517.510
Venda Nova do Imigrante	Brejetuba, Conceição do Castelo, Ibatiba, Irupi, Iúna, Muniz Freire, Venda Nova do Imigrante	136.489
Vila Velha	Vila Velha	493.838
Vitória	Vitória	362.097

Fonte: CBMES (2020).

* População estimada (IBGE, 2019).

Figura 2 - Áreas de mobilização



Fonte: CBMES (2019).

3.1.3 Áreas de articulação

Há uma divisão das unidades em área de atuação no cenário estadual de acordo com a atividade desenvolvida, sendo denominado de articulação, compreendendo quatro vertentes: articulação técnica (prestação de serviços inerentes ao código de segurança contra incêndio e pânico), de proteção e defesa civil, especial e operacional, sendo somente as duas últimas de competência da DOp (CBMES, 2019).

A articulação especial compreende a atividade de mergulho de segurança pública, reforço em combate a incêndio com veículos de apoio que fornecem maior reserva de água e podem também combater diretamente um incêndio, denominado de auto tanque, guarnições para atender ocorrências envolvendo produtos perigosos, equipes

de busca, resgate e salvamento com cães e equipe de desastres. Esta articulação é regionalizada e suas atividades não estão disponíveis em todas as unidades, sendo que cada equipe atua dentro de sua área por acionamento e, devido à peculiaridade do serviço prestado, possui a articulação dos serviços que não utilizou como base do tempo de resposta (CBMES, 2019). Atualmente há na unidade de Vitória equipe de serviço em regime de escala para a atividade de mergulho de segurança pública e reforço em combate a incêndio por meio de auto tanque.

Na articulação operacional é definida a área inicial de atendimento a emergências das unidades de onde partem os recursos, nas quais não foram utilizados os limites políticos como critério para o atendimento a ocorrências classificadas como emergências e sim o tempo de resposta (CBMES, 2019).

Embora a estrutura das articulações possa eventualmente ocupar o mesmo espaço físico na unidade, será dado ênfase somente à articulação operacional, por ser o posicionamento do recurso para atendimento à emergência o aspecto que implica na metodologia de escolha da presença geográfica de uma unidade, não incorrendo também nas divisões das áreas de mobilização. Entretanto, a ferramenta possibilita a análise individual ou global, com interação entre quaisquer áreas.

3.1.4 Sistemas de atendimento e dinâmica de geração de ocorrências

A SESP, no intuito de promover uma resposta técnica e eficiente, definiu como metodologia operacional de trabalho a confecção de uma norma de procedimento, com objetivos resumidos de estruturar a cadeia de atendimento emergencial, normatizar o atendimento ao prestar socorro e conceber uma metodologia padronizada de atuação, possibilitando assim economia de tempo e direcionamento dos recursos operacionais com maior exatidão possível (SESP, 2018).

O CBMES está envolto nesta metodologia e recebe a quase totalidade de chamados por meio da ligação telefônica, cujos registros, se são convertidos em ocorrências e quando há a necessidade de atendimento, dependendo do local, são encaminhados diretamente a uma unidade de atendimento operacional ou a uma central de

atendimento de emergência com atendentes civis, presente em um local denominado de Centro Integrado Operacional de Defesa Social (CIODES), localizado na sede da SESP.

O CIODES engloba também os atendimentos emergenciais de outras agências (Guarda Civil Municipal, Polícia Civil, Polícia Militar, Polícia Rodoviária Federal e Secretaria de Justiça) e, apesar da central de atendimento de emergência receber inicialmente o chamado, cabe ao CBMES a alocação e o despacho dos recursos operacionais.

Vale ressaltar que a central de atendimentos do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) não está integrada à estrutura do CIODES, por não ser um projeto da SESP e sim oriundo da Secretaria Estadual de Saúde, mas absorve grande parte da demanda de ocorrências de atendimento pré-hospitalar em várias localidades, sendo previsto no procedimento padrão o repasse de ocorrências do CBMES ao órgão.

Em cada situação é realizada a filtragem pela gravidade, o que permite a classificação por prioridade, visando à agilização do atendimento dos casos mais emergenciais e buscando reduzir ao máximo o tempo de angústia sofrido pelo cidadão (SESP, 2018).

Independentemente se a ocorrência se origina diretamente em uma unidade operacional ou CIODES, é utilizado um protocolo padronizado que coleta os dados mais importantes e necessários para o atendimento, com sistema de geração de ocorrências idêntico, dando origem a uma tipificação e a um registro do atendimento, com liberação do recurso para o atendimento, de onde foram extraídos os dados do estudo.

3.1.5 Tipologias/classificação das ocorrências no atendimento emergencial

A finalidade principal do atendimento emergencial é o salvamento, a proteção da vida e a integridade física das pessoas e, em um plano, a preservação do patrimônio, cujos chamados recebidos há situações que apresentam uma necessidade de maior

prioridade, levando assim a definição ao conceito das prioridades emergenciais como referência de atendimento das ocorrências (SESP, 2018).

O CBMES possui três escalonamentos de prioridade assim definidas: risco iminente de morte ou de lesão grave para a(s) vítima(s) ou de grande dano ao patrimônio (alta), risco moderado de agravo à saúde ou ao patrimônio (média) e baixo risco de dano ao patrimônio, além de outras ocorrências não emergenciais (baixa) (SESP, 2018).

Após o recebimento da chamada emergencial, há a necessidade de definição dos procedimentos conforme a prioridade para proporcionar maior agilidade no atendimento, sendo necessária a observância das agências de segurança a alguns critérios para suprimir o potencial lesivo dos inúmeros eventos críticos que possam ocorrer de forma simultânea (SESP, 2018).

3.1.6 Recursos operacionais

O CBMES atua num conjunto amplo e diversificado de especialidades, possuindo como lema principal proteger e salvar, e cujo desempenho requer um amplo espectro de recursos materiais.

Os veículos são empregados em praticamente todos os atendimentos, sofrendo adaptações para o melhor desempenho da tarefa, tornando-se indispensável no alcance da missão institucional.

Sob uma ótica de transporte dos recursos materiais e humanos, o planejamento da localização das unidades assume uma importância estratégica em função da sua capacidade de resposta, já que, na maioria dos atendimentos, há uma dependência do deslocamento do recurso ao local do incidente através de veículos de uso dedicado e integrados à atividade-fim, com a imperiosa necessidade de atender da melhor forma possível à população com o recurso necessário/disponível e no menor tempo de resposta.

O CBMES utiliza em suas unidades operacionais, na quase totalidade, pelo menos dois veículos com atuações distintas, sendo um multifuncional para atendimentos de incêndios/salvamentos e outro para pré-hospitalares que, em muitas vezes, se complementam no atendimento por envolver uma ação conjunta e coordenada em diversos tipos de ocorrências.

A nomenclatura dos veículos acima é regida de acordo com a Portaria nº 330-R, de 21 de julho (CBMES, 2014), sendo normalmente utilizado um veículo automotor do tipo caminhão para as atividades de incêndios/salvamentos, podendo, em algumas situações, se recorrer a um modelo substitutivo com menor capacidade de água e espaço de acomodação de materiais. Já as ocorrências de atendimentos pré-hospitalares são atendidas por um veículo automotor do tipo furgão que possui uma célula para atendimento e transporte de vítimas e materiais diversos.

Os demais veículos, conforme descrito na área de articulação, compreendem guarnições especiais, tais como atividades específicas de mergulho de segurança pública, reforço em combate a incêndio por meio de auto tanques (maior capacidade de água), emergências envolvendo produtos perigosos, além de equipes de busca, resgate e salvamento com cães, entre outros.

A importância da classificação do recurso é possibilitar a inclusão no modelo que remeta à capacidade de resposta de acordo com sua finalidade e desempenho.

3.1.7 Custos operacionais

Para operação de uma unidade de atendimento são vários os custos envolvidos, podendo citar resumidamente os investimentos em instalações físicas, pessoal, materiais e equipamentos.

Para cada tipo de veículo para o atendimento operacional é prevista uma quantidade de efetivo, sendo classificada como guarnição ideal, completa, reduzida ou de mínimo operacional (CBMES, 2019).

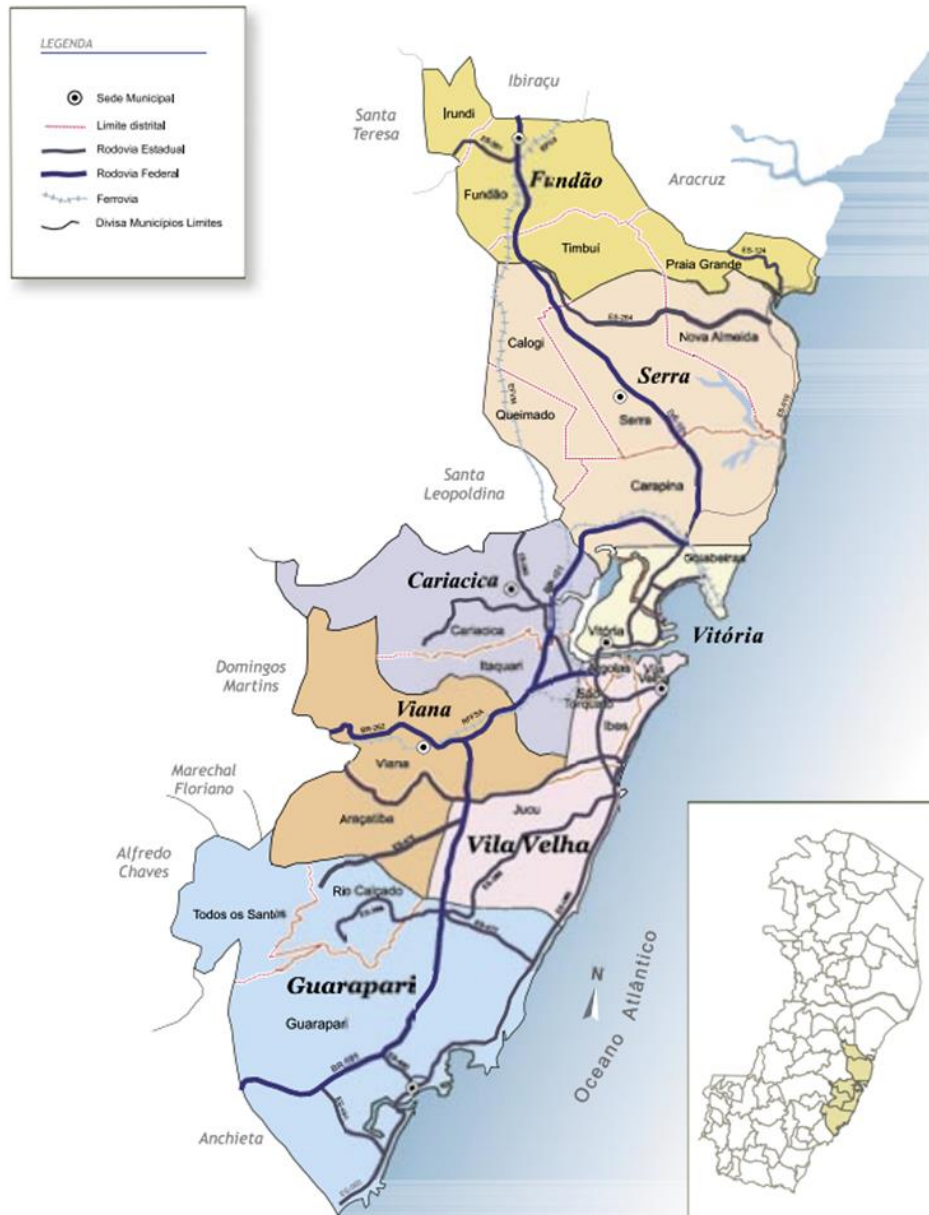
No sentido de expansão dos serviços de atendimento do CBMES, a Gerência de Engenharia e Arquitetura do CBMES desenvolveu um projeto preliminar de postos avançados que seguem determinadas premissas e contempla as necessidades básicas operacionais, administrativas, de descanso e estacionamento, nas quais os custos já foram aferidos.

Para custos de pessoal, dados foram fornecidos pelo setor de Recursos Humanos (CBMES) e descrevem um valor aproximado por equipe e tipologia de veículo. Salienta-se que somente os custos que porventura divirjam e impactem na escolha das instalações candidatas serão utilizados no modelo.

3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O modelo matemático foi aplicado a uma área que engloba necessariamente a RMGV. Compreende os municípios de Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória (Figura 3), possuindo uma centralidade no Estado que provoca uma absorção significativa de contingente populacional (47,5%) e ocupa pouco mais de 5% da área total do Estado (IJSN, 2017).

Figura 3 - Mapa da Região Metropolitana da Grande Vitória



Fonte: Instituto Jones dos Santos Neves (2017).

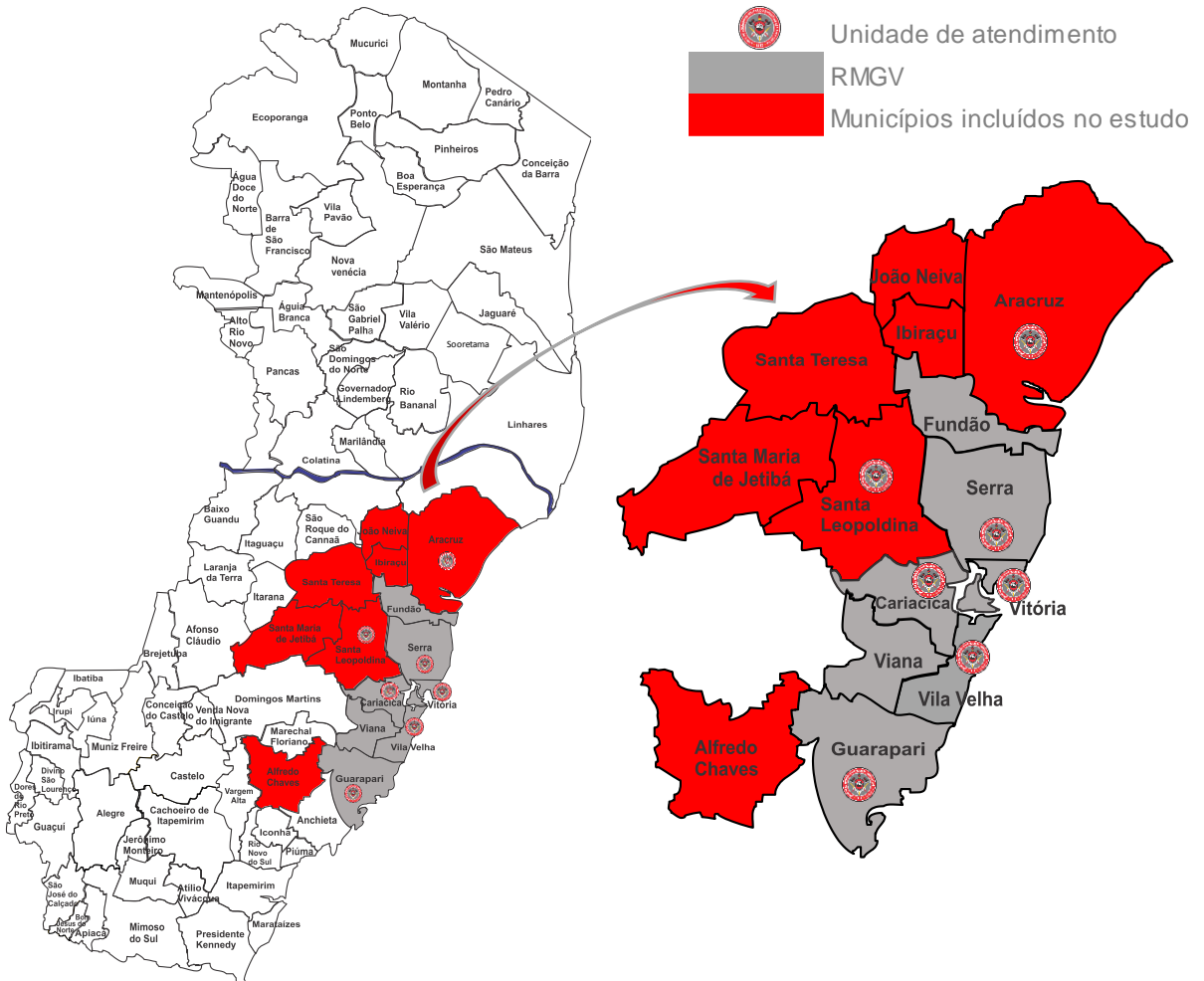
A área é atendida por seis unidades, sendo que, nos municípios de Fundão e Viana, o CBMES não possui presença física de unidade. No entanto, Viana é guarnecido prioritariamente pela unidade de Cariacica e Fundão pelas unidades dos municípios de Serra e Aracruz (dependendo da área).

Diante das divisões de atuação já presentes na Instituição com as referidas áreas de articulação operacional (Anexo A), serão englobados todos os demais municípios de

responsabilidade das unidades que prestam atendimento em algum dos municípios na RMGV, objeto inicial do estudo.

O objetivo da tal inclusão é avaliar a divisão/composição atual de localização das unidades de atendimento operacional e suas respectivas áreas de atendimento com os testes das instâncias, traduzindo em uma análise realista. Dessa forma, foram incluídos os municípios de Alfredo Chaves, Aracruz, Ibraçu, João Neiva, Santa Leopoldina, Santa Maria de Jetibá e Santa Teresa na análise, totalizando 14 municípios e 07 unidades de atendimento, conforme Figura 4.

Figura 4 - Composição total dos municípios



Fonte: CBMES (2020).

3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA

A população do estudo foi constituída pelos atendimentos realizados entre o período de janeiro de 2017 a dezembro de 2019 nos municípios escolhidos, identificada a partir de dados retirados do sistema de gerenciamento de ocorrências, veículos e guarnições, e compilada em uma planilha pela Gerência do Observatório de Segurança Pública do Estado do Espírito Santo (GEOSP), que é responsável por gerar estatísticas operacionais. O período escolhido é motivado pelo fato de a aferição do tempo de atendimento ocorrer a partir de 2017.

3.4 COLETA DE DADOS

Os dados referentes ao período (2017-2019) foram extraídos com a utilização do Programa Microsoft Excel®, totalizando 81.226 atendimentos. Os atendimentos foram descritos como “incidentes” e perfizeram o quantitativo de 40.554 na área total de aplicação do modelo, que corresponderam a 49,93% do total em todo o estado do Espírito Santo.

Foram coletadas as informações referentes ao quantitativo por município e bairro/localidade, equipe de atendimento, data/horário do fato, horário e quilometragem do início da operação e da chegada no local, além do horário final da operação.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

Uma análise prévia antes do tratamento dos dados empregados no modelo teve por objetivo o entendimento de como os atendimentos se comportavam, suas características/aspectos, entre diversos outros fatores, que inclusive nortearam a construção do modelo matemático. O objetivo foi também explanar as características mais relevantes para subsidiar a escolha das tipologias de análises e instâncias de teste.

3.5.1 Análise da população e amostra

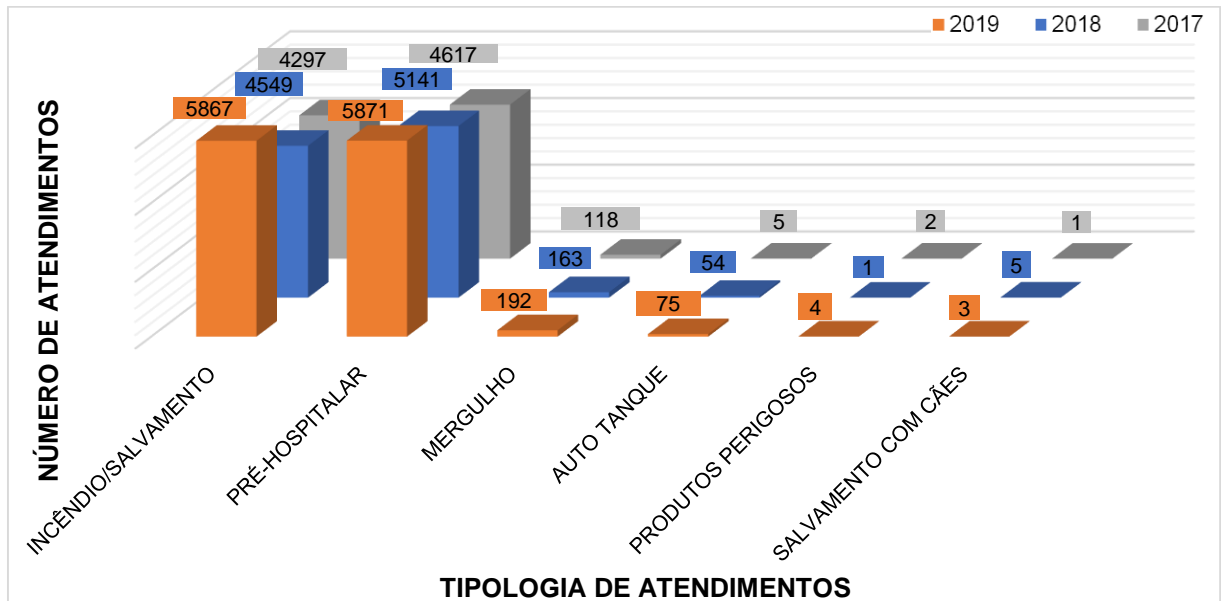
Do quantitativo total, foram utilizados como fator de inclusão somente os atendimentos que possuíam uma natureza emergencial inerente à articulação operacional e especial, envoltas de imprevisibilidade e que guardassem relação com o tempo de viagem, ou seja, que dependessem exclusivamente do deslocamento da equipe ao local para prestação do atendimento e, conseqüentemente, uma melhor alocação espacial.

Com os critérios de exclusão, deixaram de figurar na amostra os atendimentos relacionados a vistorias, escalas de equipes especiais de apoio, bem como auxílios/informações técnicas, muitas das quais são finalizadas no contato telefônico. Importante ressaltar que os servidores que atuam no CIODES ou nas unidades, cuja responsabilidade é de alocar e despachar os recursos operacionais para o atendimento das ocorrências, conforme previsto na Norma de Procedimento (SESP, 2018), foram responsáveis por aproximadamente 20% do total de atendimentos sem que houvesse a necessidade de emprego de veículos.

Outro fator relevante é que determinada tipologia de veículo atende determinados tipos de incidentes, sendo que os de tipologia multifuncional (incêndio/salvamento) e pré-hospitalar praticamente são o padrão de recurso presente de todas as unidades, e responsáveis pela quase totalidade dos atendimentos. As articulações especiais, mesmo de natureza emergencial, não estão presentes para atendimento ou reforço em todas as unidades operacionais, possuindo área de atuação diferenciada, sendo que o serviço de mergulho de segurança pública e reforço por meio de auto tanque atualmente é centralizado na unidade de atendimento do município de Vitória.

Após estas análises, selecionaram-se os incidentes que utilizaram os veículos descritos anteriormente no tópico de recursos operacionais do órgão de estudo, ou seja, tipologia multifuncional (incêndio/salvamento) e de atendimento pré-hospitalar, além das equipes de mergulho de segurança pública, reforço em combate a incêndio por meio de auto tanques, guarnições de produtos perigosos e equipes de busca, resgate e salvamento com cães, com quantitativo discriminado, conforme Figura 5.

Figura 5 - Número de atendimentos por tipologia



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

Ressalta-se que a tipologia de veículo multifuncional de incêndio/salvamento e atendimento pré-hospitalar corresponderam a 97,72% do total dos incidentes dependentes do deslocamento da equipe ao local para prestação do atendimento.

Devido a estas particularidades, foram considerados no modelo somente os recursos da tipologia multifuncional e pré-hospitalar como amostra na escolha de localização, podendo os demais veículos serem incluídos posteriormente nos locais candidatos, escolhidos após a designação/seleção no modelo.

3.5.2 Caracterização dos atendimentos da amostra

A importância do levantamento das características da amostra visa a subsidiar as premissas, restrições e objetivo do modelo, em conjunto com dados levantados da área e órgão de estudo.

Características levantadas no referencial teórico e mensuráveis na amostra, tais como demanda e localização dos incidentes, prioridades, velocidade/tempo de viagem e tempo de atendimento foram abordados por itens.

3.5.2.1 Demanda e localização dos atendimentos

A natureza dos atendimentos emergenciais do Corpo de Bombeiros é estocástica e a utilização dos registros históricos de demanda por local pode, a princípio, ser uma alternativa viável, pois não é possível afirmar se irá ocorrer novamente. Utilizar a previsão de demanda e localização pautada no histórico do ano anterior requer antes uma análise.

Os atendimentos foram separados pelo total de bairros/localidades nos municípios que compõem a área de estudo de acordo com o banco de dados fornecido pela Gerência do Observatório de Segurança Pública do Estado do Espírito Santo, contabilizando um total de 948 regiões.

No levantamento da demanda histórica dos atendimentos, a maioria possuía as coordenadas (latitude e longitude), sendo concatenado o quantitativo total de um bairro/localidade em um único ponto, seguindo a nomenclatura utilizada no banco de dados da SESP e utilizando como ponto da incidência total os centroides dos bairros fornecidos pelo banco de dados do Instituto Jones do Santos Neves (IJSN) ou consultando o *Google Maps*, quando tal informação não estava disponível.

Também foram excluídos como referência de ponto de atendimento o nome genérico “outro local” ou de grafia divergente, mas que remetiam a uma mesma região. A descrição de “zona rural” remetia a uma associação de diversos pontos, sendo agrupado o quantitativo total de atendimentos por município e utilizada a média aritmética de coordenadas para aferir a referência devido ao número relevante de atuação da Instituição, restando assim 652 bairros/localidades na análise.

No levantamento histórico dos anos 2017-2019, foram feitos testes de predição futura, com aplicação de regressões lineares com nível descritivo do teste do valor- $p < 0,05$, tendo como variável dependente os atendimentos absolutos por bairro/localidade no ano de 2019 e independente as mesmas variáveis, mas como análise dos antecedentes de atendimentos em relação a 2017 e 2018.

No levantamento histórico dos anos 2017-2019, foram feitos testes de correlação (r de Pearson), com nível de significância $p < 0,05$, tendo como variáveis os atendimentos absolutos por bairro/localidade no ano de 2019, 2018 e 2017.

Os coeficientes de correlação obtidos de 0,959 e 0,969 para 2017-2019 e 2018-2019 respectivamente demonstraram uma relação muito forte entre o quantitativo de atendimentos de bairros/localidades, evidenciando que os anos anteriores são indicadores dos acontecimentos atuais e até mesmo anos seguintes. Diante do fato e no intuito de busca de um histórico mais atualizado, optou-se pela análise dos atendimentos do ano de 2019.

3.5.2.2 Histórico de prioridades

O Plano de Emprego Operacional (CBMES, 2019) prevê que em situações em que uma equipe esteja engajada em uma ocorrência de menor prioridade e surja outro incidente, onde houver, por exemplo, vida em risco, não se deve retardar ainda mais o tempo de resposta, dando prioridade à guarnição que puder atender no menor tempo, inclusive prevendo o desengajamento da ocorrência de menor prioridade que estiver em atendimento, se necessário.

São estabelecidas as prioridades de atendimento emergencial, cuja finalidade precípua é salvar e proteger a vida e a integridade física dos cidadãos e, em um segundo momento, a preservação do patrimônio, resultando assim no escalonamento prioritário de atendimento, com definição da conceituação das prioridades emergenciais (SESP, 2018).

Conforme abordagem anterior de tipologias/classificação das ocorrências no atendimento emergencial, o CBMES possui três escalonamentos de prioridade, conforme Norma de Procedimento (SESP, 2018):

- Alta: risco iminente de morte ou de lesão grave para a(s) vítima(s) ou de grande dano ao patrimônio;
- Média: risco moderado de agravo à saúde ou ao patrimônio;

- Baixa: baixo risco de dano ao patrimônio, além de outras ocorrências não emergenciais (baixa).

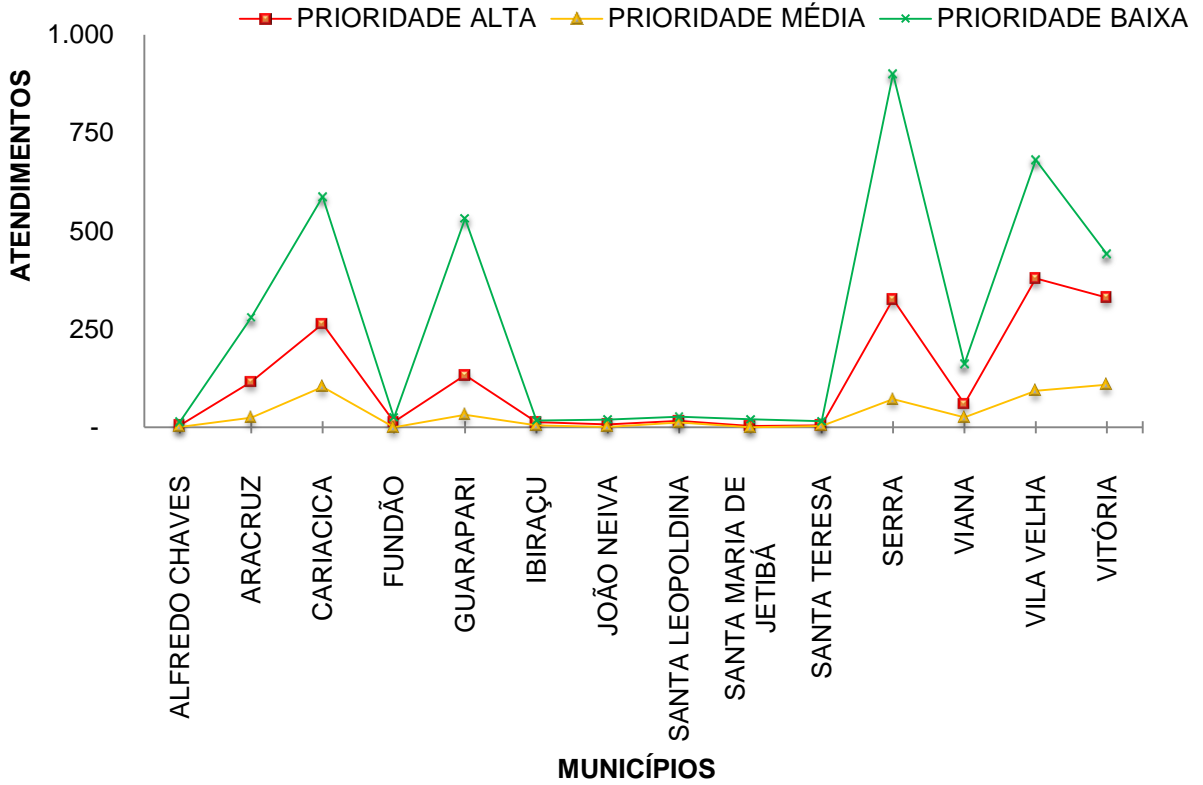
A referida norma elenca a descrição de prioridade de acordo com cada tipo de incidente, a qual foi a base utilizada para classificação dos atendimentos, agrupado por município e tipologia de veículo, conforme Tabela 4 e Figuras 6 e 7.

Tabela 4 - Distribuição dos atendimentos por município, prioridade e tipologia de veículo

MUNICÍPIOS	PRIORIDADE/TIPOLOGIA					
	INCÊNDIO/SALVAMENTO			PRÉ-HOSPITALAR		
	ALTA	MÉDIA	BAIXA	ALTA	MÉDIA	BAIXA
ALFREDO CHAVES	0005	0001	0014	0003	0000	0002
ARACRUZ	0116	0024	0280	0675	0051	0025
CARIACICA	0263	0103	0587	0791	0058	0068
FUNDÃO	0014	0000	0024	0015	0004	0002
GUARAPARI	0133	0032	0532	0791	0053	0066
IBIRAÇU	0013	0005	0017	0011	0001	0000
JOÃO NEIVA	0007	0001	0019	0010	0000	0000
SANTA LEOPOLDINA	0016	0012	0027	0065	0004	0005
SANTA MARIA DE JETIBÁ	0003	0000	0020	0004	0000	0002
SANTA TERESA	0005	0003	0015	0005	0001	0001
SERRA	0326	0072	0901	0422	0022	0024
VIANA	0059	0025	0161	0111	0009	0030
VILA VELHA	0379	0093	0681	1224	0069	0069
VITÓRIA	0330	0108	0441	0993	0070	0115
TOTAL	1669	0479	3719	5120	0342	0409

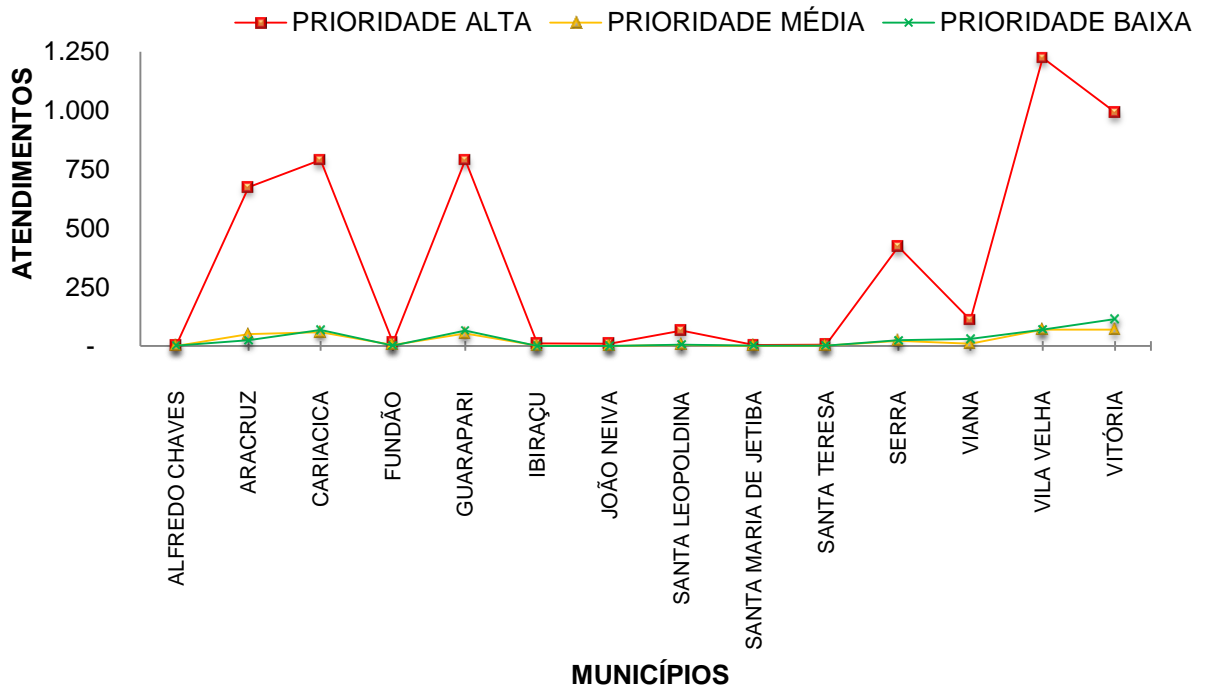
Fonte : Elaborada pelo autor, com base em SESP(2020).

Figura 6 - Atendimentos por prioridade (incêndio/salvamento)



Fonte : Elaborada pelo autor, com base em SESP(2020).

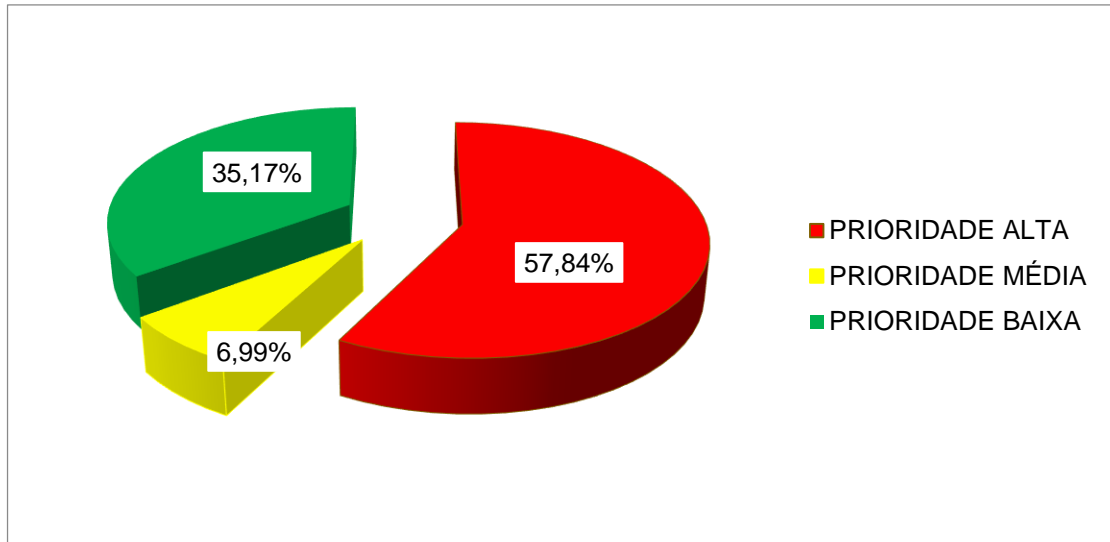
Figura 7 - Atendimentos por prioridade (pré-hospitalar)



Fonte : Elaborada pelo autor, com base em SESP(2020).

Em ambas as tipologias de veículos, os atendimentos totalizaram 6.789 (57,84%) incidentes para prioridade, 821(6,99%) para prioridade média e 4.125 (35,17%) para prioridade baixa, distribuídos conforme Figura 8.

Figura 8 - Distribuição total dos atendimentos por prioridade



Fonte : Elaborada pelo autor, com base em SESP(2020).

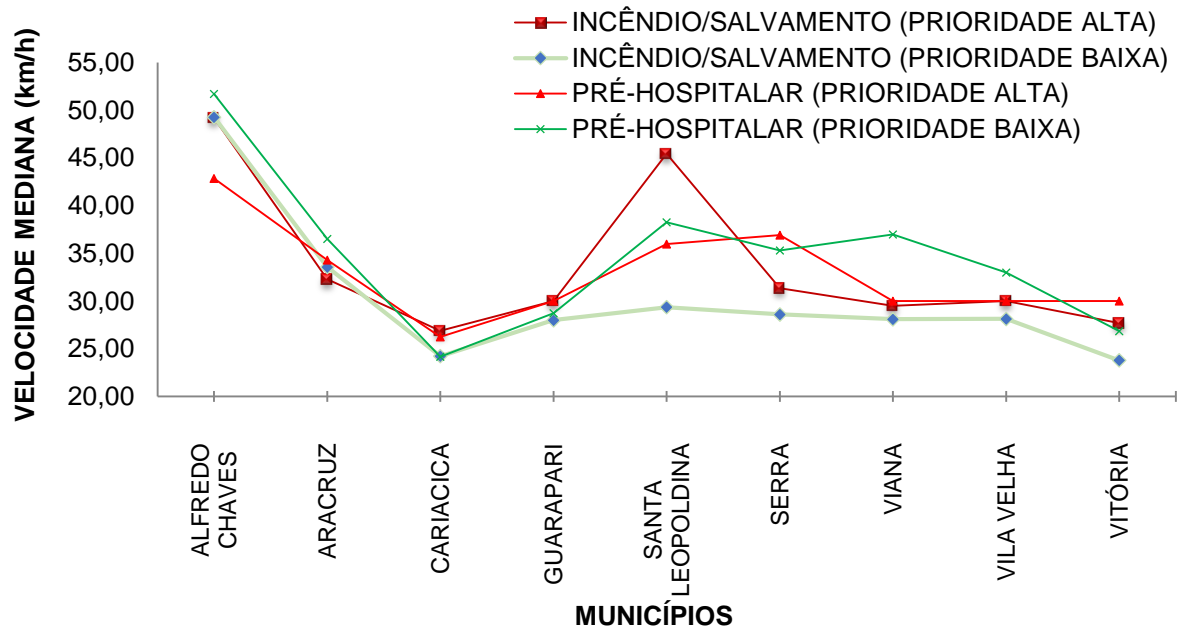
3.5.2.3 Análise de velocidade e quantitativo de atendimentos

A planilha compilada de dados possui os campos de hora e quilometragem de início da operação e chegada ao local, a partir do qual foram feitos os cálculos de velocidade (média e mediana) por tipologia de veículo e prioridade. Entretanto, em alguns atendimentos, não foi possível extrair a informação, devido a inconsistências ou limites não usuais de deslocamento.

Neste sentido, foram considerados todos os deslocamentos, com remoção dos valores iguais ou superiores a 120 km/h, que totalizam 6,46% da amostra. Os dados levantados encontram-se nas Tabelas 11,12 e 13 (Apêndice B).

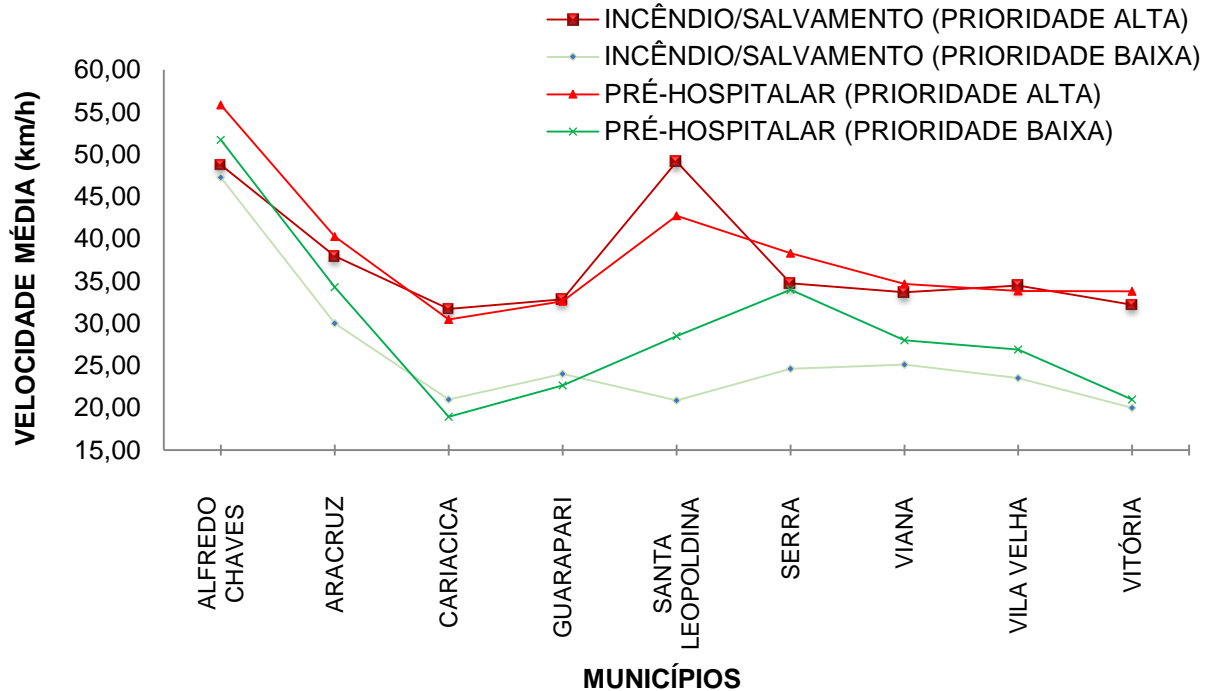
Não foi possível aferir mediana e média em alguns municípios, devido à falta de demanda nas prioridades média e baixa. Sendo assim, os dados dos municípios com possibilidade de obtenção de valores de velocidades entre a prioridade alta e baixa encontram-se nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Velocidade mediana por tipologia/prioridade



Fonte : Elaborada pelo autor, com base em SESP(2020).

Figura 10 - Velocidade média por tipologia/prioridade



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP(2020).

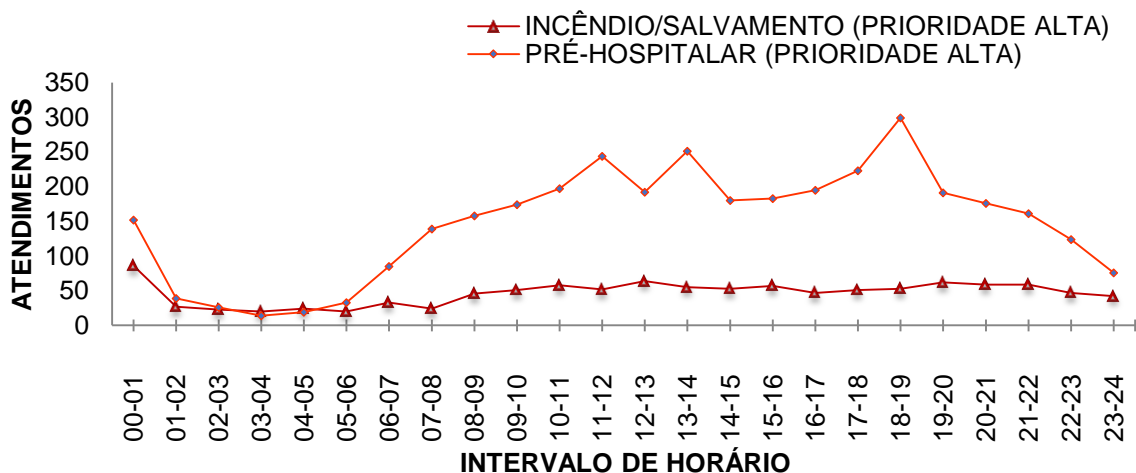
As medianas de velocidade na prioridade alta foram maiores que a baixa na tipologia multifuncional (incêndio/salvamento) em praticamente todos os municípios, sendo que, para pré-hospitalar, este fato ocorreu somente nos municípios de Cariacica,

Guarapari, Serra e Vitória. Já as velocidades médias também foram maiores para prioridade alta em praticamente todos os municípios.

Devido ao trânsito intenso em alguns municípios, normalmente potencializados entre segunda a sexta-feira, com possibilidade de maior trânsito/congestionamento em determinados horários, principalmente no período de deslocamento da residência para o trabalho/escola e vice-versa, foram levantados os dados da quantidade de atendimentos e velocidade por intervalo para uma análise mais apurada, excluídos os feriados. Foram também consideradas somente as ocorrências de prioridade alta por envolver risco iminente de morte ou de lesão grave ou de grande dano ao patrimônio, além de avaliar a faculdade inerente aos veículos de atendimento de emergência do CBMES neste atendimento, que possuem caracterização específica, permitindo o uso das prerrogativas de prioridade de trânsito e de livre circulação no estrito atendimento emergencial.

Com estes critérios, o total de atendimentos correspondeu a 66,69% e 68,96% do total para a multifuncional e pré-hospitalar respectivamente, sendo os valores divididos por intervalo, conforme Figura 11.

Figura 11 - Atendimentos por intervalos de horários por tipologia/prioridade



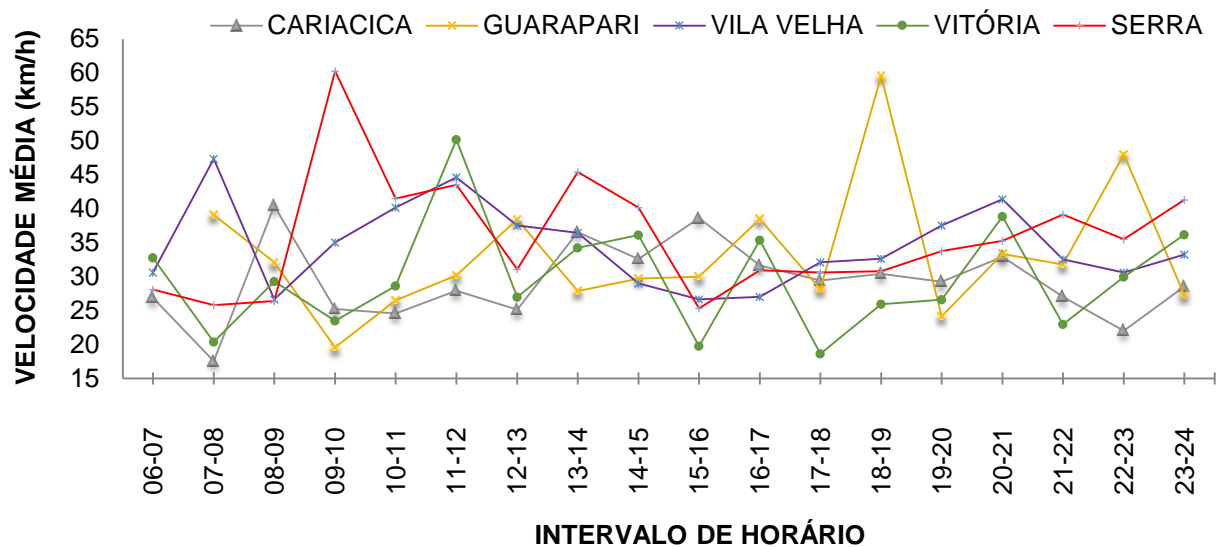
Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

Observa-se que para incêndio/salvamento há uma diminuição de ocorrências de 01h às 08h, e de 01h às 06h para pré-hospitalar. Nos intervalos de maior e menor

demanda para a tipologia multifuncional há uma certa uniformidade de quantitativos, mas com grandes variações e picos de aumento para pré-hospitalar.

No levantamento da velocidade média também não foi possível aferir valores em alguns municípios para determinados intervalos de horário em decorrência de ausência de demanda, sendo agrupados nas Figuras 12 e 13, de acordo com a tipologia de veículo, os períodos de horários e municípios mais propensos a trânsito.

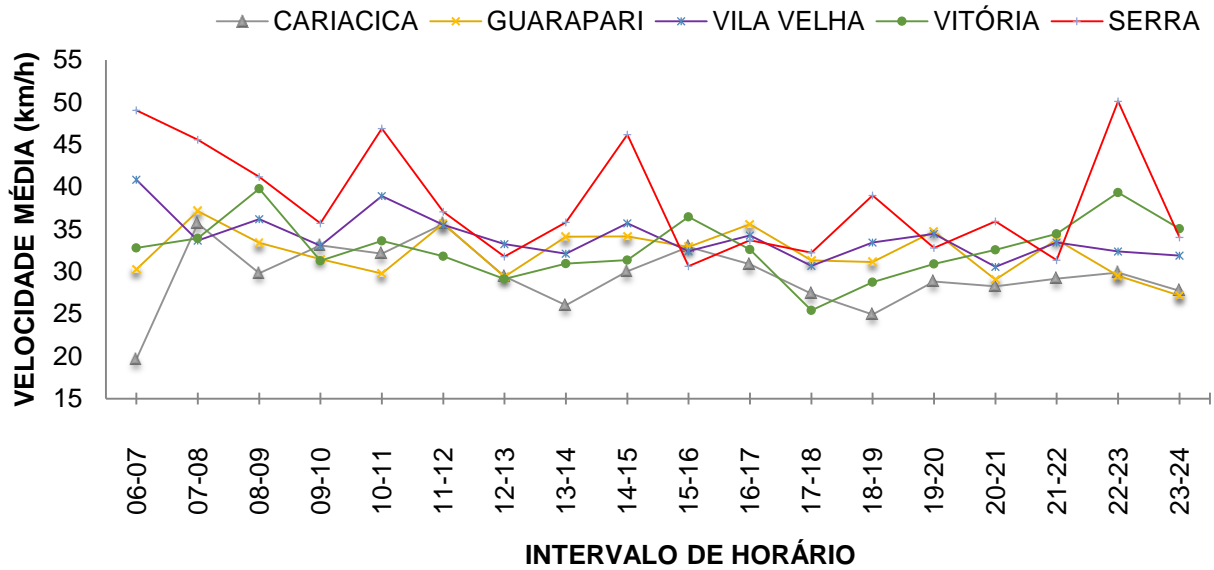
Figura 12 - Velocidade média por intervalos de horários (incêndio/salvamento) *



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP(2020).

* Não houve demanda no município de Guarapari no intervalo das 06h às 07h.

Figura 13 - Velocidade média por intervalos de horários (pré-hospitalar)

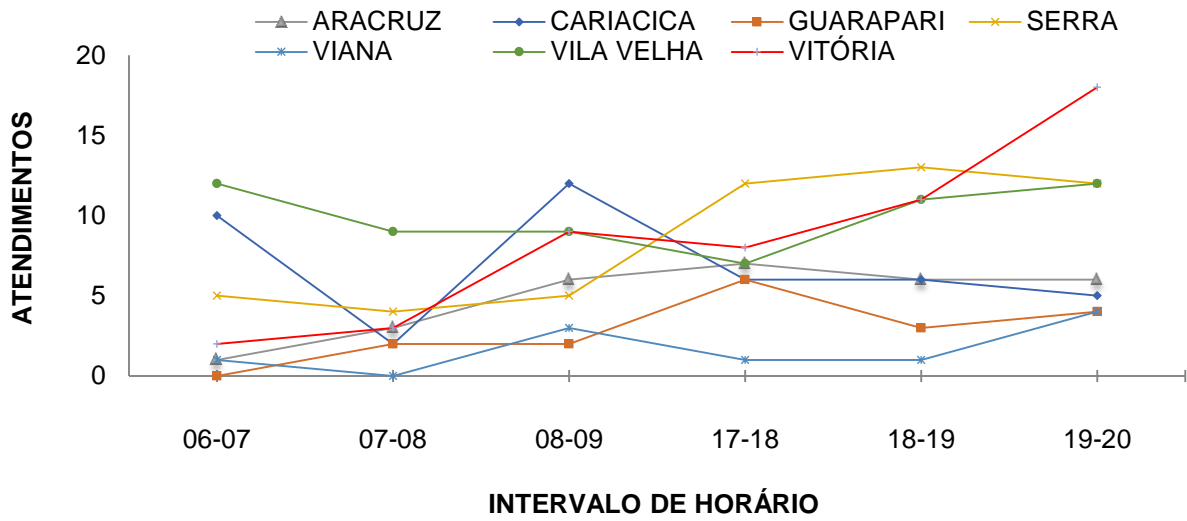


Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

Observa-se que não houve necessariamente uma diminuição considerável na velocidade média somente nos horários de possível trânsito intenso/congestionado, tais como o período de deslocamento da residência para o trabalho/escola e vice-versa conforme salientado anteriormente, mas notou-se a presença de grande parte de pontos de menor valor compreendidos nos intervalos de das 06h às 08h e das 17h às 19h. No município de Vitória, por exemplo, a queda de velocidade mais significativa em ambas as tipologias foi das 17h às 18h. Já no município de Cariacica foi das 07h às 08h para incêndio/salvamento e das 06h às 07h para pré-hospitalar.

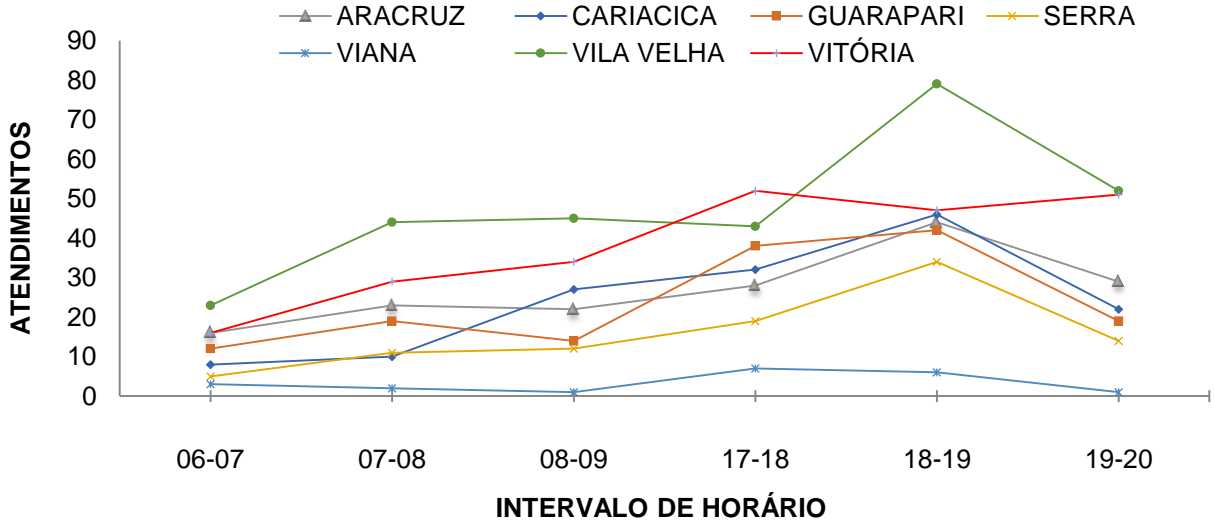
Neste sentido, tomando-se por base no estudo que um possível congestionamento seja compreendido entre segunda e sexta-feira, exceto feriados, e a necessidade de avaliação do percentual/quantitativo de atendimentos, estendeu-se a análise das 06h às 09h e das 17h às 20h, onde se verificou que este período/intervalo correspondeu a 16,12% e 21,39% do total para a tipologia de incêndio/salvamento e pré-hospitalar respectivamente. Avaliando ainda somente os atendimentos na prioridade alta neste período por município, observou-se a impossibilidade de aferir medição em alguns horários para certas localidades, devido à ausência de ocorrências. Sendo assim, os resultados somente dos municípios que possuíam demanda em todos os intervalos de acordo com a tipologia de veículo foram agrupados nas Figuras 14 e 15 a seguir.

Figura 14 - atendimentos por intervalos de horários para prioridade alta (incêndio/salvamento)



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP(2020).

Figura 15 - atendimentos por intervalos de horários para prioridade alta (pré-hospitalar)

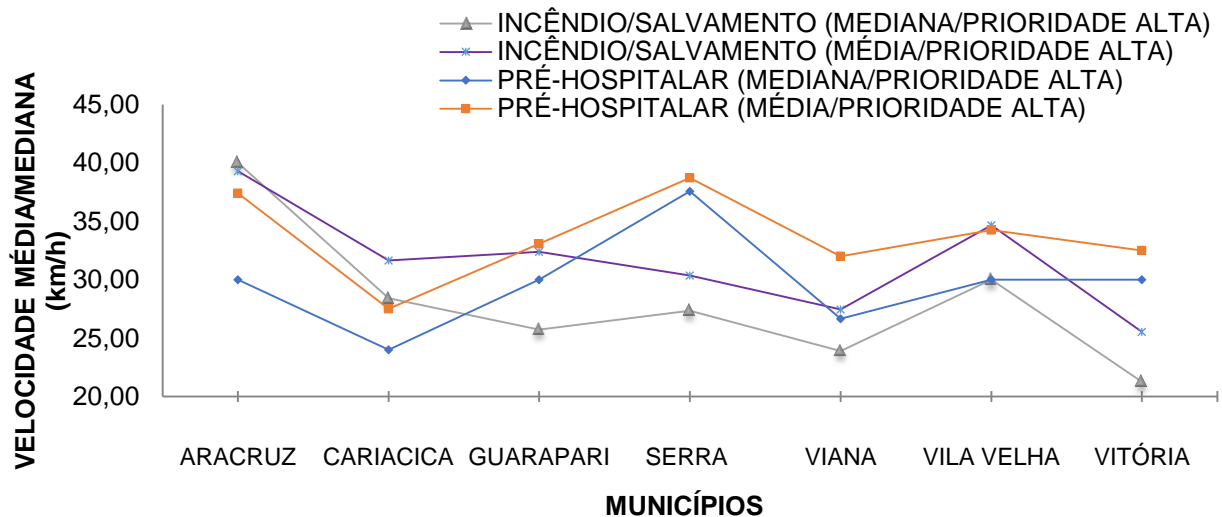


Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

Observa-se que para a tipologia de incêndio/salvamento, os maiores picos de demanda nos municípios compreenderam os horários das 17h às 20h, exceto o município de Cariacica que apresentou o intervalo das 08h às 09h. Já para pré-hospitalar, os maiores picos se situaram entre 17h às 19h, onde Vila Velha e Vitória somaram as maiores taxas de incidentes.

Foram também obtidas as velocidades médias e medianas por tipologia considerando todas as ocorrências no referido intervalo conforme Figura 16.

Figura 16 - Velocidade média e mediana por tipologia



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

Observa-se que a velocidade média foi maior que a mediana em praticamente todos os municípios em ambas as tipologias.

3.5.2.4 Tempo de viagem

De acordo com o plano de emprego operacional (CBMES, 2019), o tempo de resposta é o intervalo decorrido entre o aviso de um sinistro ao CBMES e a chegada da primeira guarnição apta a prestar um atendimento, sendo fator determinante para o resultado da atuação em variadas naturezas de ocorrências e interferindo na capacidade de atendimento.

Com o intuito de nortear o emprego do efetivo, o CBMES estabelece duas diretrizes maiores, nas quais em primeiro lugar aborda que a prioridade é salvar vidas, meio ambiente e patrimônio, mas a vida antes aos demais e, em função dessa prioridade, em segundo enaltece o tempo resposta, devido às complicações à vida e à saúde decorrentes de atraso no atendimento, abordando o termo da "hora de ouro do

trauma", o qual não se deve retardar este parâmetro, já considerado longo, em casos em que haja risco para a vida ou para a saúde de pessoas (CBMES, 2019).

No Estado do Espírito Santo, os órgãos da SESP possuem a orientação no tocante ao tempo de resposta previsto na norma de procedimento na qual cada agência de segurança deve observar critérios bem definidos para administração dos recursos para a sua conseqüente redução (SESP, 2018). Na norma há a informação de que, mediante estudo, as equipes e veículos possam vir a ser posicionadas em locais específicos com o objetivo de diminuir este intervalo de atendimento.

Ainda de acordo com a SESP (2018), a alocação dos recursos operacionais do CBMES segue um regime de aquartelamento no qual, em situação normal, as equipes aguardam na unidade de atendimento o chamado, tendo como exceção as operações preventivas (eventos e festividades de vulto).

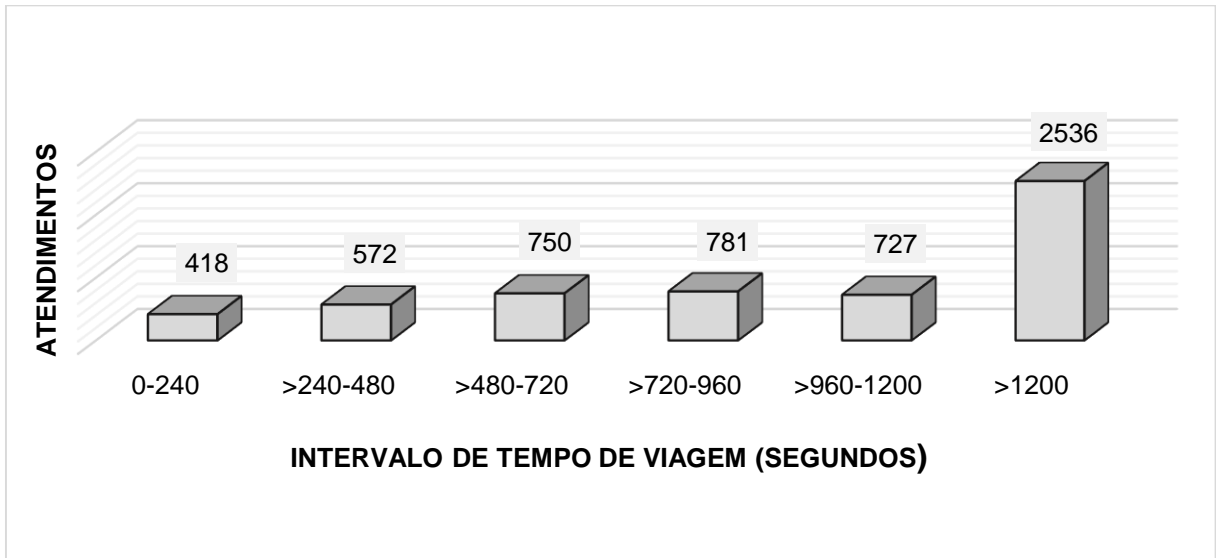
Apesar de o referencial teórico citar a divisão do tempo de resposta em até cinco intervalos, a premissa da localização da unidade de atendimento é a redução do tempo de viagem (intervalo que inicia quando o veículo sai a caminho do incidente e termina quando chega ao local), que depende exclusivamente da distância e da velocidade empregadas do veículo, sendo esta última atrelada ao tipo de via, volume de tráfego e tipo de veículo empregado. Este tempo interfere na capacidade de atendimento e é fator determinante para o resultado da atuação em variadas naturezas de ocorrências.

A planilha de dados possui os campos de hora de início da operação (saída do veículo) e chegada ao local, a partir do qual foram feitos os cálculos de tempo de viagem. Houve também alguns dados de atendimento dos quais não foi possível extrair a informação, sendo descartados 1,41% e 0,82% da amostra no quantitativo geral para a tipologia de incêndio/salvamento e pré-hospitalar, que impactaram em 1,68% e 0,86% na prioridade alta respectivamente.

Foram compilados os dados de tempo de viagem por intervalos de 240 segundos até o limite de 1200 segundos, sendo concatenados de forma geral por tipologia de

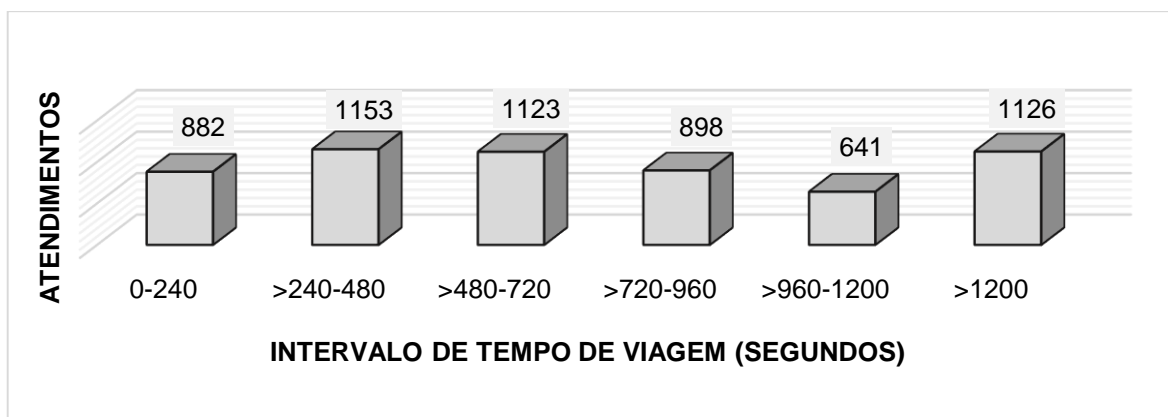
veículo e, também, pela importância de riscos para vítimas ou grande dano ao patrimônio, analisado de forma exclusiva a prioridade alta. Os valores gerais de todas as prioridades e somente na prioridade alta, separados por tipologia de veículos, encontram-se nas Figuras de 17 a 20.

Figura 17 - atendimentos por intervalos de tempos de viagem para todas as prioridades (incêndio/salvamento)



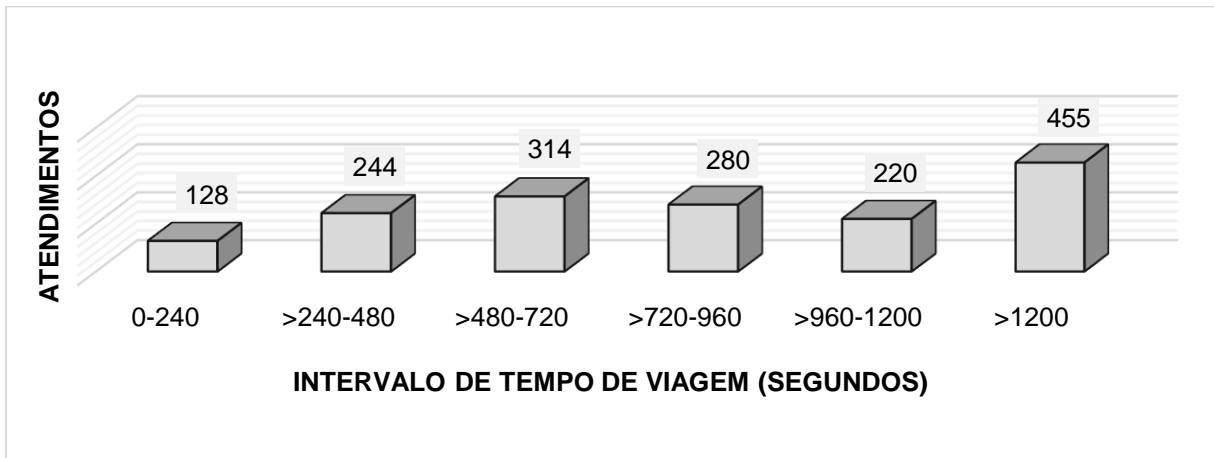
Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

Figura 18 - atendimentos por intervalos de tempos de viagem para todas as prioridades (pré-hospitalar)



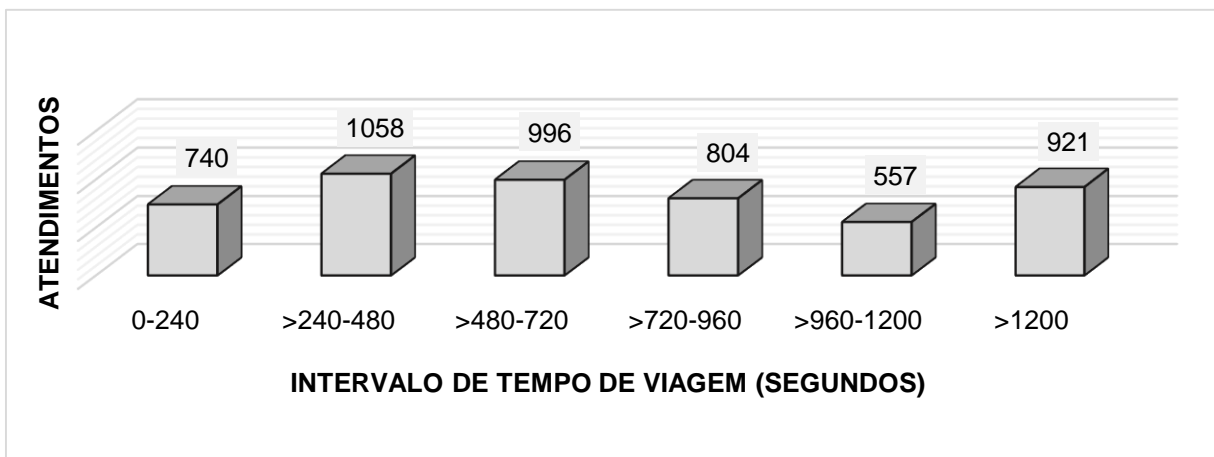
Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

Figura 19 - Atendimentos por intervalos de tempos de viagem para prioridade alta (incêndio/salvamento)



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

Figura 20 - Atendimentos por intervalos de tempos de viagem para prioridade alta (pré-hospitalar)



Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

3.5.2.5 Tempo de empenho e atendimento

O tempo de empenho do veículo é o cálculo da média que uma determinada equipe fica à disposição de uma ocorrência no atendimento operacional, que compreende o intervalo total que vai do acionamento ao encerramento, quando então está apta a atender outro evento, sendo diretamente influenciado pela distância a ser percorrida, pela complexidade das ocorrências e pelas condições de deslocamento (CBMES, 2019).

Este tempo é de importância, pois se presume a capacidade ou necessidade dos recursos de uma determinada unidade. Dependendo do local de instalação da unidade de atendimento, ele irá sofrer variação, devido à fração de intervalo dependente da distância.

O CBMES considera este critério pelas peculiaridades geográficas, pelas distâncias a serem percorridas e pela natureza de evento, pois pode haver uma diferenciação de intervalo para uma mesma natureza de ocorrência, em função da localização da unidade de atendimento (CBMES, 2019).

Portanto, a localização da unidade impacta nos tempos de deslocamentos (viagem e retorno), que compõe o tempo de empenho, compreendendo inclusive o tempo de atendimento, que não depende diretamente do trajeto/distância, mas sendo uma métrica que serve de base para análise de capacidade máxima de emprego do recurso.

Para o cálculo do tempo de atendimento, foram compilados da planilha de dados os campos de hora de chegada e saída do local, contabilizada por tipologia e subtipo/prioridade, obtendo os valores que se encontram na Tabela 5.

Tabela 5 - Tempos de atendimento dos incidentes por tipologia e prioridade

TEMPOS (segundos)	TIPOLOGIA E PRIORIDADE					
	INCÊNDIO/SALVAMENTO			PRÉ-HOSPITALAR		
	ALTA	MÉDIA	BAIXA	ALTA	MÉDIA	BAIXA
TEMPO MÉDIO	2521,93	4356,93	3003,61	905,74	1001,79	6968,09
TEMPO MEDIANO	1380,00	2220,00	1620,00	600,00	600,00	3720,00

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordadas a descrição do órgão e a área de estudo com o objetivo do entendimento e melhor adequação do modelo às necessidades reais. Ele ainda contemplou a análise da Instituição a ser aplicado o modelo, com coleta e análise de dados para subsidiar a criação das instâncias de teste.

Diante dos levantamentos, foi possível empreender diversas análises para permitir a construção de uma ferramenta que possa avaliar a diversidade de variáveis e permitir melhor tomada de decisão.

4 MODELO MATEMÁTICO

De forma a construir o modelo e gerar as instâncias de testes se faz necessária a análise e a definição das principais premissas e dados de entrada embasados nos levantamentos e conceitos apresentados no aporte teórico, com adequação às particularidades da área e órgão de estudo. Com este propósito e melhor compreensão, o capítulo está dividido em duas seções: (1) Descrição da base do modelo, dados de entrada, critérios e premissas; e (2) Modelo matemático proposto.

4.1 DESCRIÇÃO DA BASE DO MODELO, DADOS DE ENTRADA, CRITÉRIOS E PREMISSAS

O objetivo geral é a confecção de um modelo de planejamento da quantidade e da localização de unidades operacionais de resposta às emergências do CBMES em determinada área pautado em critérios internos e normatizados de resposta para ampliação e melhoria do atendimento à população.

Por mais que se almeje a excelência da prestação de serviço, a modelagem deve se pautar em aspectos realistas e exequíveis, bem como utilizar uma integração de fatores para testar análises diferenciadas, confrontando a importância dos mesmos na função objetivo.

Devido à diversidade de fatores nos municípios atendidos pelo CBMES, da multidisciplinaridade e prioridades de emergências de uma unidade operacional, além do CBMES possuir veículos de tipologias distintas em uma mesma unidade, buscar-se-á integração de recursos.

Na revisão bibliográfica observou-se que é notório o desempenho baseado no tempo de resposta, sendo o tempo de viagem imprescindível para análise da alocação de unidades de emergência. Sendo assim, a base do modelo foi o estabelecimento de um intervalo máximo de resposta neste quesito associado à localização como medida de desempenho no atendimento, pautando a essência do projeto no modelo de cobertura onde todos os pontos de demanda possam ser atendidos dentro de um

intervalo pré-estabelecido, mas com a limitação de número máximo de unidades operacionais que podem ser abertas.

Foi prevista a possibilidade de inserção de tempos de viagem diferenciados para cada subtipo de atendimento ou prioridade. A finalidade precípua é hierarquizar e definir score de importância de localização entre as que traduzam diretamente maior risco à vida, patrimônio e demais sequenciamentos que porventura sejam necessários.

A importância de considerar as ocorrências que em tese não envolvam diretamente salvamento e proteção à vida e integridade física das pessoas é que, ainda que possamos utilizar a classificação para priorizar o atendimento dos casos mais emergenciais, possamos empregar, por exemplo, equipes de apoio ou específicas para estes atendimentos.

Entretanto, a adoção de um tempo de resposta diferenciado (no caso maior) para eventos de menor gravidade sem prover redundância de recurso poderá ocasionar em certas situações atrasos nos atendimentos dos incidentes de prioridade alta, inclusive com tempo acima do estipulado, seja pelo próprio deslocamento em si (maior distanciamento/posicionamento, em local diverso da área de atuação estratégica do tempo limite), seja por uma possível necessidade de desmobilização (em casos de eventos simultâneos e falta de recurso) para prosseguir ao evento mais crítico.

Conforme explanado anteriormente, cabe ressaltar que existe uma diversidade mundial de padrão de tempos e o modelo permitirá flexibilidade na adoção do valor mais apropriado para cada situação (inclusive por subtipos de ocorrência). Como no Brasil não há regulamentação específica sobre o tempo de resposta e viagem, utilizamos um intervalo de referência de 480 segundos para testes das instâncias, podendo ser definido previamente um percentual ou número de unidades.

Na análise de desempenho, definidos tempo e percentual e com utilização única de modelo de cobertura, pode levar à concentração de abertura de unidades onde as demandas de ocorrências estejam agrupadas, sendo necessário confrontar estes aspectos de atendimento em cenários de dispersão de demanda.

A capacidade de atendimento é outro fator importante, pois certos tipos de ocorrências podem reter o recurso operacional por maior período, tais como o tempo de atendimento, tempo de transporte de uma vítima ao hospital, tempo de reabastecimento, restabelecimento ou assepsia, entre outros, impedindo as guarnições de estarem aptas a um novo atendimento.

É possível estimar no modelo, em função do dinamismo da alocação, o tempo de viagem e retorno e acrescentar o tempo médio de atuação no local, já que o intervalo de chegada da equipe até a saída do incidente (tempo de atendimento) é aferido e está contido nos relatórios, podendo assim utilizarmos os valores da análise feita no capítulo anterior, de acordo com o subtipo/prioridade do incidente.

Nos veículos da tipologia de incêndio/salvamento, o tempo de atuação da equipe normalmente se encerra no local. Sendo assim, para mensurar a capacidade máxima de atendimento, neste caso será utilizado o dobro do tempo de viagem entre a unidade alocada e o local do incidente, considerando a distância/velocidade, acrescida do tempo médio histórico de atuação no local de acordo com os subtipos/prioridades, somando ainda um intervalo empírico de 30 minutos devido à, em certos casos, realização das rotinas de abastecimento de combustível, abastecimento do agente extintor e confecção do relatório.

Nas atuações da tipologia pré-hospitalar, na maioria dos casos, compreende o tempo de viagem, atuação no local, transporte da vítima até a unidade de atendimento médico, trâmites de entrega do paciente aos cuidados médicos, viagem de retorno e assepsia (limpeza pós-ocorrência), além da necessidade de preenchimento de relatório. Entretanto, estes dados de tempo do veículo de atendimento pré-hospitalar que envolvem o transporte da vítima não são mensurados em fração nos relatórios, onde será acrescido um intervalo para análise do modelo de 90 minutos por incidente no cálculo da capacidade máxima de atendimento, baseado na estimativa relatada pela pesquisa junto a vários integrantes da equipe.

Quanto a outros fatores, o plano de emprego operacional (CBMES, 2019) afirma que muitos interferem na demanda pelo serviço de atendimento à emergência

(características da malha viária, urbanização, industrialização), não reconhecendo o estabelecimento de relação direta dos mesmos com a quantidade de ocorrências.

Importante ressaltar que qualquer fator que tenha correlação com a geração do incidente pode ser incorporado ao modelo, inclusive como forma de ser um preditor de demanda, pois as mesmas podem estar reprimidas em locais de ausência de unidade de atendimento de emergências.

Assim, por dispor do histórico de demandas de atendimento, foi dado ênfase a este quesito não só como fator decisório na alocação da unidade, mas para introdução do fator de capacidade de recursos necessários para suprir os serviços de emergência. Pelas ocorrências serem envoltas por localização e natureza incerta, no referido estudo o quantitativo de demanda, a localização e a natureza foram baseadas no levantamento histórico de atendimento nos bairros/localidades.

Por fim, o custo de implantação e operação (em função inclusive da faixa de capacidade por tipologia de ocorrência) é outro fator importante, seja pela prioridade às pré-existentes que não incidirão custos de implantação, seja pela comparação de possibilidade de expansão em virtude da disponibilidade de recursos da Instituição.

Entretanto, o foco foi a comparação dos custos que divergem na escolha entre uma ou outra unidade. Embora tivessem grande relevância os custos de pessoal, materiais e equipamentos, os mesmos foram considerados de igual valor independentemente do local, diferindo somente os necessários para novas instalações em detrimento às já existentes, que obviamente não incidem gastos.

Esses custos englobam prioritariamente os gastos de aquisição de terreno, o projeto e a execução das obras, já que, em uma possível realocação da unidade, tanto a equipe, como veículos, materiais, equipamentos, móveis, eletroeletrônicos e dispositivos de informática, podem ser remanejados para o novo local, permanecendo assim como fator relevante à instalação física.

Vale ressaltar que o custo poderá tomar relevância na escolha a partir da observância das condições mínimas de desempenho definidas pelo comando do CBMES, ou seja, interferindo na escolha que atender primeiramente o desempenho e tendo como fator de desempate os custos. Entretanto, permitirá que possam ser escolhidos locais que, obrigatoriamente, deverão abrigar unidades (pré-existentes ou novas instalações), inclusive da faixa de capacidade por tipologia de ocorrência.

Norteados pela literatura da revisão bibliográfica, o modelo teve como base o desempenho do atendimento, sendo assim entrelaçados o tempo máximo de viagem e percentual mínimo de ocorrências contempladas.

Embora seja definido um desempenho mínimo, todos os bairros/localidades devem ser atendidos independentemente do percentual/tempo de viagem máximo estipulado, sendo gerado na função objetivo um valor proporcional à taxa de ultrapassagem deste limite.

Apesar da ampla literatura de riscos e critérios na modelagem de localização e unidades de emergência, a abordagem no modelo foi pela análise quantitativa e qualitativa (prioridade) de ocorrências nos registros históricos em cada bairro/localidade, com maximização da cobertura nos que apresentassem maiores demandas totais por período.

A classificação de prioridade também foi contemplada, permitindo a utilização em duas situações:

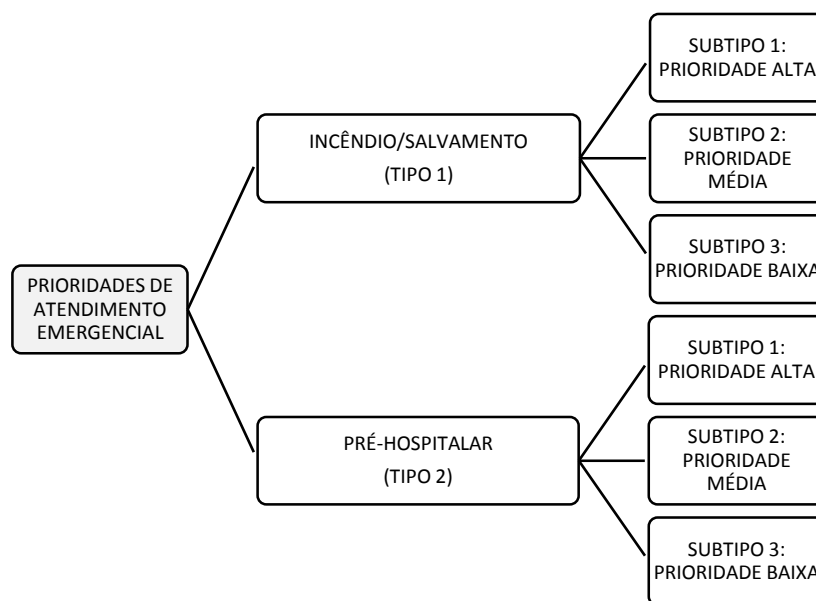
- Importância (peso) por subtipo a ser gerada na função objetivo da taxa de ultrapassagem no caso de exceder o limite estipulado (contagem da demanda total como fator de maximização da cobertura);
- Definição de um tempo distinto do limite de viagem, caso necessário.

Para definição das prioridades, as ocorrências foram divididas em tipos e subtipos, sendo as inerentes a incêndio/salvamento com um veículo multifuncional como tipo 1 e de atendimento pré-hospitalar (APH) em tipo 2. Foram agrupados nas prioridades alta, média e baixa dos incidentes de acordo com o veículo empregado (Figura 21),

no qual a classificação de prioridades de atendimento emergencial seguiu as definições previstas na Norma de Procedimento (SESP, 2018).

A classificação de prioridades de atendimento emergencial seguiu as definições previstas na Norma de Procedimento (SESP, 2018), sendo agrupadas nas prioridades alta, média e baixa dos incidentes de acordo com o veículo empregado (incêndio/salvamento ou atendimento pré-hospitalar), totalizando assim 06 subtipos com pesos/prioridades.

Figura 21 - Divisão das ocorrências em tipos e subtipos



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na escolha de uma unidade de atendimento operacional, é fator determinante verificar se esta possui capacidade de atendimento à demanda de ocorrências. Apesar do CBMES possuir apenas um veículo de cada tipologia com guarnição, no modelo foram previstas outras faixas a serem utilizadas nas instâncias, podendo ser avaliada a possibilidade de uma unidade contemplar quantitativos diferenciados/faixas de recursos.

Os critérios utilizados no referido estudo foram os custos (implantação e operação), tempo de viagem, capacidade de atendimento e histórico das ocorrências (quantidade, localização e natureza).

Diante da abordagem prévia, as seguintes premissas foram consideradas nas instâncias de teste:

- Quantidade de unidades de atendimento operacional a serem selecionadas: O modelo deve selecionar automaticamente as unidades dentro de um conjunto de possíveis locais candidatos. Estes locais contemplam as unidades de atendimento já existentes (Aracruz, Cariacica, Guarapari, Serra, Vila Velha, Vitória e Santa Leopoldina, com número de referência de 1 a 7, respectivamente), bem como outros levantados junto aos militares do CBMES e disponibilidade de áreas pertencentes ao Estado obtidas junto à Gerência de Patrimônio Estadual (GEPAE), analisando a acessibilidade, presença nas regiões administrativas dos municípios e espaçamento entre os mesmos, sendo retiradas da amostra os que possuem pequeno distanciamento entre si, totalizando assim uma seleção de 56 pontos, conforme Tabela 14 (Apêndice C), com possibilidade de prover uma base que poderá atender vários bairros/localidades. Cabe ainda ressaltar que estes locais/quantitativos deverão ser previamente validados antes da geração das instâncias, pois deverão ser capazes de possibilitar, dentro de valores que se almejam alcançar, uma cobertura máxima dentro do percentual de teste definido (atender ao desempenho mínimo estipulado);
- Quantidade mínima e máxima de unidades de atendimento operacional a serem abertas: Deverá consentir na escolha da quantidade mínima e máxima de unidades, permitindo assim facilidade/versatilidade de manuseio e análise pelos tomadores de decisão;
- Custos de implantação de uma unidade de atendimento operacional: Os custos considerados foram de operação e de instalação, de acordo com a faixa de capacidade de atendimento da unidade, podendo contemplar somente atendimento com recurso de incêndio/salvamento e/ou pré-hospitalar. Conforme abordagem anterior dos modelos existentes, os custos estimados considerados foram baseados no projeto preliminar de postos avançados na tipologia de alvenaria, com valores fornecidos pela Gerência de Engenharia e Arquitetura do CBMES e custos de operação iguais em todas as unidades, baseando no quantitativo de pessoas na equipe e a média salarial anual, de acordo com a tabela de proventos dos militares e fornecidos pelo setor de Recursos Humanos do órgão;

- Quantidade de locais a serem atendidos: A localização se baseou no descritivo/nomenclatura disponível no banco de dados fornecido pela Gerência do Observatório de Segurança Pública do Estado do Espírito Santo com histórico de demanda, totalizando 652 localidades;
- Demanda de ocorrências: Foi considerada a quantidade média anual de ocorrências por subtipo em cada bairro/localidade selecionado no ano de 2019;
- Quantidade total de ocorrências por subtipo: Foram contabilizadas por subtipo em cada bairro/localidade selecionado no ano de 2019;
- Peso/prioridade para cada subtipo de ocorrência: Escalonados pesos iguais para prioridade alta, média e baixa;
- Distância entre as possíveis unidades de atendimento operacional selecionadas e os bairros/localidades: Foi utilizada a distância euclidiana entre as instalações candidatas e as localidades. Para a métrica euclidiana, é necessária a escolha de um melhor fator de correção para precisão do modelo. Várias literaturas tratam de fatores distintos, que são empregados devido às particularidades de local, sendo que Gonçalves *et al.* (2014) afirmam que na literatura especializada é comum adotar um valor de 1,35, o qual será a base de cálculo. Entretanto, devido à presença da topografia diferenciada em alguns locais, criando rotas limitadas em certas situações e desconsiderando os acidentes geográficos naturais, tais como a presença de morros e a baía de Vitória, que poderia influenciar de maneira contundente a distância euclidiana em alguns pontos, foi necessária a utilização do *Google Maps* em determinadas bases e localidades;
- Velocidade de deslocamento da unidade de atendimento operacional a cada bairro/localidade: Utilizada a mediana da velocidade dos veículos no ano de 2019 que atendem às ocorrências do tipo 1 e 2 (multifuncional e atendimento pré-hospitalar);
- Tempo máximo de viagem para cada subtipo de ocorrência: 480 segundos para todos os subtipos, exceto na situação para emprego de motocicleta, que será utilizado o tempo diferenciado para a chegada do veículo de transporte da vítima, mas sempre mantendo o atendimento inicial em 480 segundos;
- Percentual mínimo: Valor definido de ocorrências a serem atendidas dentro do limite de tempo de viagem que visa a definir o desempenho do atendimento. Apesar do modelo permitir a inserção do percentual mínimo, como forma didática de demonstração e comparação de instâncias, foi realizado um aumento gradativo de

unidades (definindo o número de unidades), comparando o número/percentual atingido de ocorrências a cada incremento, dentro do limite de tempo de viagem estipulado. Para análise de prioridade das pré-existentes (Aracruz, Cariacica, Guarapari, Santa Leopoldina, Serra, Vila Velha e Vitória), que não incide em custos de implantação, foram realizados incrementos de percentual para efeito comparativo de vantajosidade em relação às novas instalações.

Definido o objeto de estudo e a fundamentação teórica, o modelo matemático pautou em critérios de custos, histórico e demanda de atendimentos, bem como tempo de viagem em determinado percentual mínimo de ocorrências.

Foi elaborado um modelo matemático de Programação Linear Inteira Mista (PLIM), utilizando o *solver* IBM® ILOG® CPLEX®, versão 12.8 (IBM, 2018) para resolver o modelo de modo a identificar e fornecer a solução ótima.

Quanto aos locais possíveis de receber novas unidades operacionais, serão definidas as possibilidades de faixas individuais de capacidade para cada tipo de ocorrência. Nesse sentido, a cobertura de uma unidade operacional pode se referir à capacidade por tipo e tempo de viagem.

Quanto às instâncias de teste, o objetivo é a criação de situações diferenciadas para análise global dos atendimentos, com abordagem de custo, tempo de ultrapassagem das demandas em relação a um intervalo máximo definido, métricas de desempenho, estudo de prioridade no contexto da análise geral, além da avaliação do posicionamento atual em comparação à abertura de novas instalações.

4.2 MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

Com base nas premissas e dados de entrada definidos anteriormente, o modelo matemático proposto teve por objetivo o planejamento da localização de unidades de atendimento operacional de emergência (quais e quantas) dentro de um conjunto de possíveis locais candidatos.

Consideraram-se, de forma resumida, as seguintes premissas para o desenvolvimento do modelo matemático:

- i. As unidades operacionais devem ser escolhidas a partir de um conjunto de possíveis locais;
- ii. Deve-se considerar também o custo de implantação no caso de escolha entre as pré-existentes e novas unidades de atendimento operacional;
- iii. Deve prever o custo de instalação e operação de uma unidade de atendimento operacional em função da faixa de capacidade;
- iv. Cada unidade de atendimento operacional deve apresentar uma capacidade individual de atendimento para cada tipo de ocorrência, podendo ser selecionadas várias capacidades para teste no modelo;
- v. A quantidade máxima de unidades de atendimento operacional (disponibilidade) para atendimento deve ser definida previamente;
- vi. Para cada situação, poderão ser definidos valores (pesos) para escalonamentos de prioridade para subtipos de ocorrências, incidindo sobre a demanda máxima diária dos bairros/localidades no intervalo de tempo definido;
- vii. Cada bairro/localidade deve ser atendido por somente uma unidade de atendimento operacional;
- viii. O tempo de viagem de uma unidade de atendimento operacional ao bairro/localidade será baseado na mediana da velocidade aferida nos veículos que atendem aos subtipos de ocorrências em determinado intervalo por município;
- ix. A escolha pela utilização de uma determinada unidade de atendimento operacional deve estar associada à redução dos custos e/ou eficiência máxima de desempenho nos limites estabelecidos e/ou redução do somatório de tempo de ultrapassagem, tendo como fator de riscos/relevância a demanda de ocorrências nos bairros/localidades e suas respectivas prioridades.

Considerando no o número de unidades operacionais candidatas a serem abertas; nf o número de faixas de capacidade possíveis para as unidades operacionais; nb o número de bairros/localidades com histórico de ocorrências; nt o número de tipos de ocorrências; ns o número de subtipos de ocorrências, o modelo matemático é apresentado a seguir em cinco partes: conjuntos, parâmetros, variáveis de decisão, função objetivo e restrições.

Conjuntos

NO	Conjunto de unidades operacionais, $NO = \{1, \dots, no\}$;
NF	Conjunto de faixas, $NF = \{1, \dots, nf\}$;
NB	Conjunto de bairros/localidades com histórico de ocorrências, $NB = \{1, \dots, nb\}$;
NT	Conjunto de tipos de ocorrências, $NT = \{1, \dots, nt\}$;
NS	Conjunto de subtipos de ocorrências, $NS = \{1, \dots, ns\}$.

Parâmetros

cp_{ift}	Capacidade de tempo de uma unidade operacional $i \in NO$ na faixa de capacidade $f \in NF$ para o tipo de ocorrência $t \in NT$;
ci_{jf}	Custo de implantar uma unidade operacional $j \in NO$ na faixa de capacidade $f \in NF$;
co_{jf}	Custo de operação de uma unidade operacional $j \in NO$ na faixa de capacidade $f \in NF$;
ji_{if}	Parâmetro que vale 1 caso uma unidade operacional $j \in NO$ já esteja aberta e operacional, e 0, caso contrário;
do_{is}	Demanda de ocorrência média diária por bairro/localidade $i \in NB$ e subtipo de ocorrência $s \in NS$;
dot_{is}	Demanda anual total de ocorrência por bairro/localidade $i \in NB$ e subtipo de ocorrência $s \in NS$;
t_{ji}	Tempo de viagem da unidade operacional $j \in NO$ ao bairro/localidade $i \in NB$;
ta_s	Tempo de atendimento no local do incidente por subtipo de ocorrência $s \in NS$;
ot_s	Outros tempos relacionados ao incidente por subtipo de ocorrência $s \in NS$;
rts_s	Relaciona subtipo com tipo de ocorrência $s \in NS$;
pri_s	Peso ou prioridade para cada subtipo de ocorrência $s \in NS$;
l_s	Limite máximo de tempo de viagem por subtipo de ocorrência $s \in NS$;

m	Parâmetro utilizado para a lógica do modelo que assume valor igual a 0,0001;
M	Parâmetro utilizado para a lógica do modelo que assume valor igual a 1.000.000,00;
α	Parâmetro que representa o peso a ser multiplicado na função objetivo para estabelecer o grau de importância dos custos de construir e operar uma unidade de atendimento operacional $j \in NO$ na faixa de capacidade $f \in NF$;
δ	Parâmetro que representa o peso a ser multiplicado na função objetivo para estabelecer o grau de importância da maximização de desempenho (atendimento dentro dos limites estabelecidos de tempo de viagem);
β	Parâmetro que representa o peso a ser multiplicado na função objetivo para estabelecer o grau de importância para os casos que extrapolem o limite de tempo de viagem;
$nmax$	Número máximo de unidades operacionais que podem ser abertas;
$nmin$	Número mínimo de unidades operacionais que devem ser abertas;
per	Percentual mínimo de ocorrências atendidas dentro do limite máximo de tempo de viagem.

Variáveis de decisão

x_{jfi}	Variável de decisão binária que vale 1, caso a unidade de atendimento operacional $j \in NO$ atenda ao bairro/localidade $i \in NB$ na faixa $f \in NF$, e 0, caso contrário;
ab_{jf}	Variável binária que assume valor igual a 1, caso a unidade de atendimento operacional $j \in NO$ na faixa $f \in NF$ seja aberta, e 0, caso contrário;
ax_{jis}	Variável binária que assume valor igual a 1, caso a unidade de atendimento operacional $j \in NO$ possa atender ao bairro/localidade $i \in NB$ dentro do limite de tempo do tipo de ocorrência $s \in NS$;

apx Variável binária que assume valor igual a 1, caso a unidade de atendimento operacional $j \in NO$ atenda ao bairro/localidade $i \in NB$ dentro do limite de tempo do tipo de ocorrência $s \in NS$.

Função Objetivo

Minimizar

$$\begin{aligned} & \alpha \sum_{i \in NO} \sum_{f \in NF} (c_{ijf} + c_{ojf}) ab_{jf} - \delta \sum_{j \in NO} \sum_{i \in NB} \sum_{s \in NS} dot_{is} ax_{jis} \sum_{f \in NF} x_{jfi} \\ & + \beta \sum_{j \in NO} \sum_{i \in NB} \sum_{s \in NS} (t_{ji} - l_s) dot_{is} pri_s ((\sum_{f \in NF} x_{jfi} - ax_{jis} \sum_{f \in NF} x_{jfi})) \end{aligned} \quad (1)$$

Restrições

$$(t_{ji} - l_s) \leq (1 - ax_{jis}) M \quad \forall j \in NO, i \in NB, s \in NS \quad (2)$$

$$(t_{ji} - l_s) \geq m - ax_{jis} M \quad \forall j \in NO, i \in NB, s \in NS \quad (3)$$

$$\sum_{j \in NO} \sum_{f \in NF} x_{jfi} = 1 \quad \forall i \in NB \quad (4)$$

$$\sum_{i \in NB} x_{jfi} \leq nb \quad \forall j \in NO, f \in NF \quad (5)$$

$$\sum_{j \in NO} \sum_{f \in NF} \sum_{i \in NB} x_{jfi} = nb \quad (6)$$

$$\sum_{i \in NB} \sum_{s \in NS: rts=t} do_{is} x_{jfi} (2t_{ji} + ta_s + ot_s) \leq cp_{jft} ab_{jf} \quad \forall j \in NO, f \in NF, t \in NT \quad (7)$$

$$ab_{jf} \geq ji_j \quad \forall j \in NO, f \in NF, i \in NB \quad (8)$$

$$ab_{jf} \leq 1 \quad \forall j \in NO, f \in NF, i \in NB \quad (9)$$

$$\sum_{i \in NB} x_{jfi} \geq ab_{jf} m \quad \forall j \in NO, f \in NF \quad (10)$$

$$\sum_{i \in NB} x_{jfi} \leq ab_{jf} M \quad \forall j \in NO, f \in NF \quad (11)$$

$$\sum_{f \in NF} ab_{jf} \leq 1 \quad \forall j \in NO \quad (12)$$

$$\sum_{j \in NO} \sum_{f \in NF} ab_{jf} \leq mmax \quad (13)$$

$$\sum_{j \in NO} \sum_{f \in NF} ab_{jf} \geq mmin \quad (14)$$

$$\sum_{j \in NO} \sum_{i \in NB} \sum_{s \in NS} apx_{jis} dot_{is} \geq per \sum_{i \in NB} \sum_{s \in NS} dot_{is} \quad (15)$$

$$x_{jfi} \in \{0,1\} \quad j \in NO, f \in NF, i \in NB \quad (16)$$

$$ab_{jf} \in \{0,1\} \quad j \in NO, f \in NF \quad (17)$$

$$ax_{jis} \in \{0,1\} \quad j \in NO, i \in NB, s \in NS \quad (18)$$

A função objetivo da Equação (1), conforme já explicado, é apresentada em três parcelas, que visam à redução dos custos e/ou eficiência máxima de desempenho nos limites de tempo estabelecidos e/ou redução do somatório de tempo de ultrapassagem. A primeira parcela visa a minimizar os custos (implantação e operação), não incidindo valor de implantação das unidades já abertas e escolhidas.

A segunda representa a maximização (sinal negativo) do número de atendimentos (desempenho) dentro dos limites estabelecidos de tempo de viagem. A terceira parcela representa o somatório do tempo de viagem de todas as unidades que excederam o limite máximo de tempo estipulado para atendimento por subtipo de ocorrência, multiplicado pelo número máximo de ocorrência (período definido) e prioridade, sendo este valor calculado somente para os bairros/localidades atendidos pela unidade operacional. Todas as parcelas são compostas com os fatores multiplicadores (parâmetros) α , δ e β respectivamente, que estabelecem o peso/grau de importância na função objetivo. É importante salientar que pode ser incluído o quantitativo de tipos de ocorrências quando necessário, tais como atividades específicas, permitindo inclusive uma análise individual de localização.

As Restrições (2) e (3) calculam o valor de ax_{jis} . Tal variável de decisão binária indica que se $ax_{jis} = 1$, o tempo de viagem da unidade de atendimento operacional $j \in NO$ até o ponto de demanda $i \in NB$ não excede o limite máximo de atendimento. Caso contrário, $ax_{jis} = 0$.

As Restrições (4) garantem que todo bairro/localidade $i \in NB$ deverá ser atendido por somente uma unidade de atendimento operacional $j \in NO$.

As Restrições (5) garantem que cada unidade de atendimento operacional $j \in NO$ poderá atender, no máximo, o total de bairros/localidades com ocorrência.

As Restrições (6) garantem que o total de bairros/localidades atendidos deve ser igual ao total de bairros/localidades com ocorrência.

As Restrições (7) asseguram que o total de ocorrências dos bairros/localidades atendidos pela unidade de atendimento operacional $j \in NO$ tem de ser menor ou igual a sua capacidade, caso esta tenha sido aberta.

As Restrições (8) e (9) definem que, caso uma unidade de atendimento operacional $j \in NO$ seja previamente selecionada como aberta ($j_{if} = 1$), obrigatoriamente ela deverá ser considerada como uma unidade de atendimento operacional. Caso a base $j \in NO$ não seja previamente selecionada, o modelo que decidirá pela sua abertura ou não.

As Restrições (10) e (11) definem o valor da variável ab_{jf} . Tal variável de decisão binária indica que se $ab_{jf} = 1$, a unidade de atendimento operacional será aberta em uma determinada faixa de tamanho, caso pelo menos um bairro/localidade tenha sido atendido pela mesma. Caso contrário, $ab_{jf} = 0$.

As Restrições (12) garantem que uma unidade de atendimento operacional $j \in NO$, caso seja selecionada para ser aberta, poderá ocupar apenas uma faixa.

As Restrições (13) garantem que o número de unidades de atendimento operacional $j \in NO$ abertas deverá ser menor ou igual ao limite máximo estipulado de unidades a serem selecionadas.

As Restrições (14) garantem que o número de unidades de atendimento operacional $j \in NO$ abertas deverá ser maior ou igual ao limite máximo estipulado de unidades a serem selecionadas.

Ao fim de tudo, percebe-se que a função objetivo (Equação 1) é não linear por conta do termo $ax_{jis} \sum_{f \in NF} x_{jfi}$. Para linearizar a função objetivo, foi criada a variável de decisão apx_{jis} e acrescentadas as Restrições (19) a (22).

Restrições

$$apx_{jis} \in \{0,1\} \quad j \in NO, i \in NB, s \in NS \quad (19)$$

$$apx_{jis} \leq \sum_{f \in NF} x_{jfi} \quad \forall j \in NO, i \in NB, s \in NS \quad (20)$$

$$apx_{jis} \leq ax_{jis} \quad \forall j \in NO, i \in NB, s \in NS \quad (21)$$

$$apx_{jis} \geq -1 + ax_{jis} + \sum_{f \in NF} x_{jfi} \quad \forall j \in NO, i \in NB, s \in NS \quad (22)$$

Com esta nova variável e as demais restrições, a função objetivo do modelo proposto foi substituída pela Equação (23).

Minimizar

$$\begin{aligned} & \alpha \sum_{i \in NO} \sum_{f \in NF} (ci_{jf} + co_{jf}) ab_{jf} - \delta \sum_{j \in NO} \sum_{i \in NB} \sum_{s \in NS} dot_{is} apx_{is} \\ & + \beta \sum_{j \in NO} \sum_{i \in NB} \sum_{s \in NS} (t_{ji} - l_s) dot_{is} pri_s \left(\sum_{f \in NF} x_{jfi} - apx_{jis} \right) \end{aligned} \quad (23)$$

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, embasado nos levantamentos e conceitos apresentados no aporte teórico e com base na definição dos dados de entrada, critérios e parâmetros, foi elaborado o modelo matemático proposto, que objetiva a execução do planejamento da localização de unidades de atendimento operacional de emergência (quais e quantas) dentro de um conjunto de possíveis locais candidatos, possibilitando a geração de análises comparativas com instâncias de testes na área de estudo.

5 ANÁLISES E RESULTADOS

Neste capítulo foram abordadas análises comparativas para teste do modelo proposto e os resultados obtidos por meio do *solver* IBM® ILOG® CPLEX®, versão 12.8 (IBM, 2018), levando em consideração algumas particularidades inerentes ao estudo de caracterização dos atendimentos da amostra obtidos no órgão de estudo. O capítulo encontra-se dividido em oito seções: (1) Análise geral de todos os atendimentos e prioridades; (2) Análise da obrigatoriedade de utilização das unidades pré-instaladas; (3) Análise somente dos atendimentos de prioridade alta; (4) Análise de utilização de local/unidade distinta para veículos da tipologia pré-hospitalar; (5) Análise da utilização temporária de local para tipologia pré-hospitalar no horário de trânsito intenso; (6) Análise com utilização de outro tipo de veículo para apoio pré-hospitalar; e (7) Considerações finais do capítulo.

5.1 ANÁLISE 1 - TODOS OS ATENDIMENTOS E PRIORIDADES

O objetivo desta análise traduz em uma avaliação/comparação dos resultados com priorização de importância nas partes que compõem a função objetivo do modelo (minimização dos custos, maximização do desempenho e minimização do somatório dos tempos nos atendimentos que extrapolam o limite de tempo de viagem) para cada incremento no quantitativo de unidades, sendo estabelecido como limite mínimo o quantitativo de unidades de atendimento operacional já existentes na área de estudo (07 no total) e número máximo de 15 no total.

Sendo assim, foram definidos previamente os valores dos parâmetros multiplicadores, de forma que a combinação tivesse a premissa de elevar um dos termos a se sobrepôr em quaisquer condições de incremento do número de unidades de teste (tornando assim parte prioritária).

Neste sentido, como foram considerados os custos de operação iguais entre as unidades instaladas e futuras, após esgotar-se a seleção de unidades já instaladas, os custos de implantação assumem fator determinante/desempate na relação entre

as outras duas partes da função objetivo (desempenho e somatório de ultrapassagem).

Diante da análise de todos os atendimentos e prioridades, duas situações envolvem custos com fator determinante (principal), tendo o desempenho (situação 1) e somatório de ultrapassagem (situação 2) como secundário e, por último, a situação somente do desempenho (situação 3), que totalizaram 27 instâncias de teste.

A relação das unidades selecionadas foi disposta na Tabela 15 (Apêndice D), com escolha de um veículo de cada tipologia (incêndio/salvamento e pré-hospitalar) por local. Os demais resultados foram concatenados nas Tabelas 6, 7 e 8 a seguir, que indicam a quantidade obrigatória de unidades e análises dos seguintes campos nas três situações:

- Campo de percentual alcançado: Elenca o percentual total de atendimentos dentro do limite máximo de tempo de viagem;
- Campo desempenho: Elenca o número de atendimentos dentro do tempo limite de viagem;
- Campo tempo médio: Refere-se ao cálculo da média geral (intervalo) dos demais atendimentos que ultrapassaram o valor máximo do tempo de viagem.

Tabela 6 - Situação 1 (custos com ultrapassagem)

Nº unidades	TEMPO DE VIAGEM MÁXIMO ESTIPULADO DE 480 SEGUNDOS		
	Percentual alcançado	Nº de atendimentos	Tempo médio (segundos)
7	30,49%	3578	1154,54
8	39,19%	4599	1107,11
9	41,50%	4870	1057,43
10	44,06%	5170	1008,44
11	44,61%	5235	968,53
12	46,54%	5461	941,70
13	52,04%	6106	949,22
14	56,30%	6606	949,00
15	57,35%	6729	915,93

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 7 - Situação 2 (custos com desempenho)

Nº unidades	TEMPO DE VIAGEM MÁXIMO ESTIPULADO DE 480 SEGUNDOS		
	Percentual alcançado	Nº de atendimentos	Tempo médio (segundos)
7	30,49%	3578	1154,54
8	39,19%	4599	1107,11
9	45,73%	5366	1128,01
10	50,50%	5926	1162,16
11	54,48%	6393	1181,18
12	57,45%	6741	1205,22
13	60,14%	7057	1191,57
14	62,34%	7315	1192,38
15	64,20%	7533	1184,83

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 8 - Situação 3 (desempenho)

Nº unidades	TEMPO DE VIAGEM MÁXIMO ESTIPULADO DE 480 SEGUNDOS		
	Percentual alcançado	Nº de atendimentos	Tempo médio (segundos)
7	48,47%	5687	1228,97
8	52,39%	6148	1259,45
9	55,79%	6546	1310,96
10	58,75%	6894	1339,09
11	61,90%	7263	1335,96
12	63,86%	7493	1308,81
13	65,66%	7704	1266,10
14	67,42%	7911	1216,86
15	69,09%	8107	1250,88

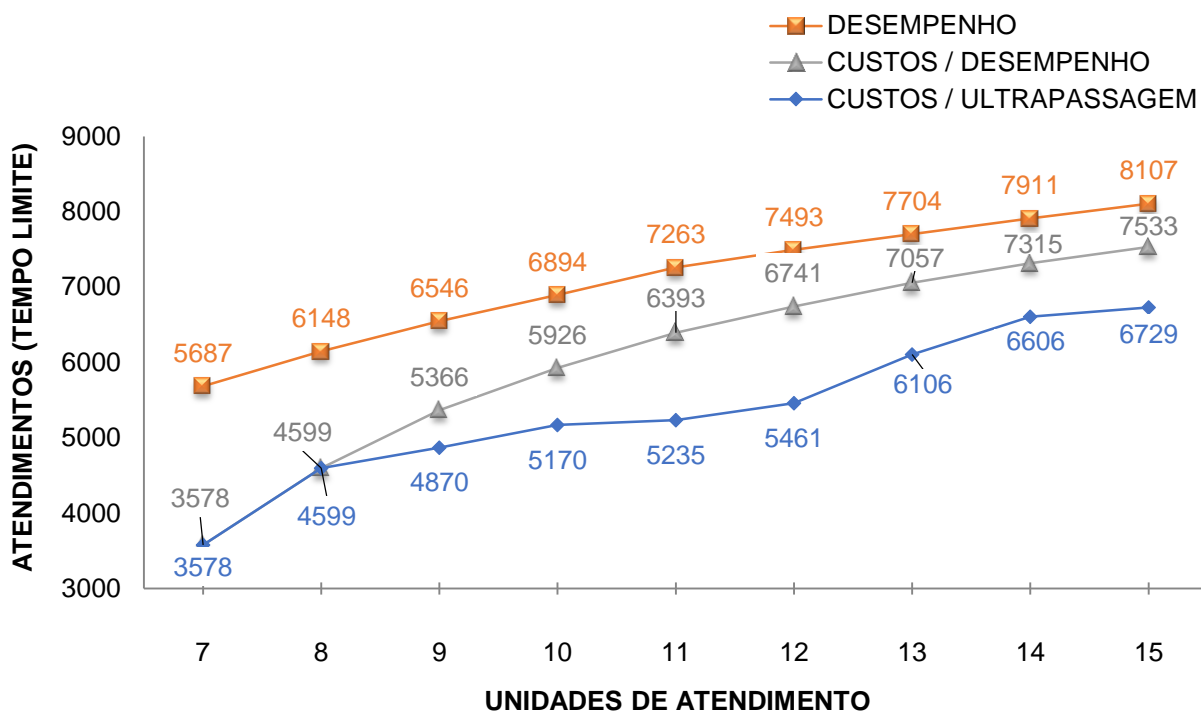
Fonte: Elaborada pelo autor.

Na situação 1 e 2 há a seleção de todas as unidades pré-existentes. Na situação 1, a escolha de novas unidades a serem construídas se baseia na diminuição do somatório de ultrapassagem (minimização), o que diretamente acarreta diminuição do valor médio dos tempos de atendimento dos incidentes que extrapolam o limite do tempo de viagem máximo estipulado. Na situação 2, esta alternativa prioriza a escolha de unidades que possam oferecer um maior número de atendimentos dentro do tempo de viagem estabelecido (maximização).

Na situação 3, a escolha não leva em consideração os custos e, conseqüentemente, só serão selecionadas unidades pré-instaladas se sua localização favorecer maior eficiência (maior quantitativo) de ocorrências atendidas dentro do tempo de viagem máximo estipulado.

Um comparativo do número de atendimentos dentro do limite de tempo nas três situações foi concatenado na Figura 22.

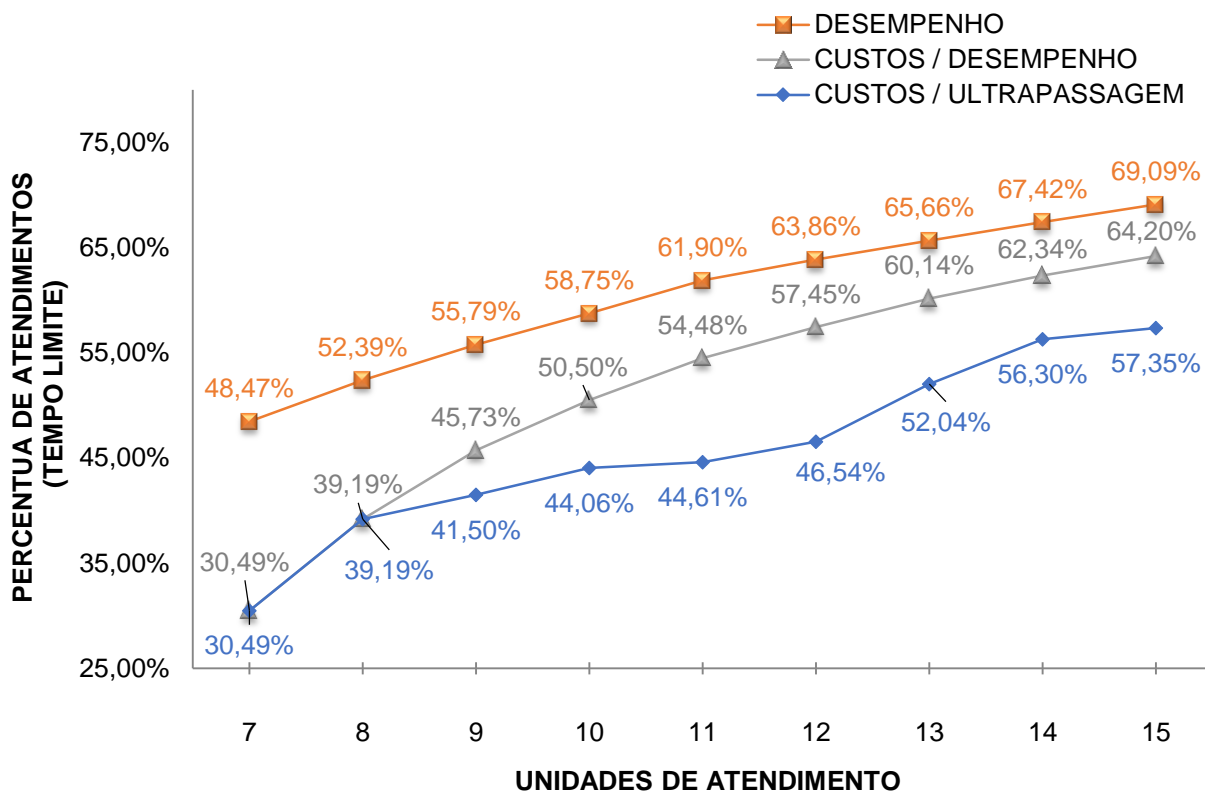
Figura 22 - atendimentos por situação em relação ao número de unidades



Fonte: Elaborada pelo autor.

Realizada também a análise percentual dos incrementos de melhora da cobertura com o aumento do número de unidades em todas as situações, conforme Figura 23.

Figura 23 - Percentual por situação em relação ao número de unidades

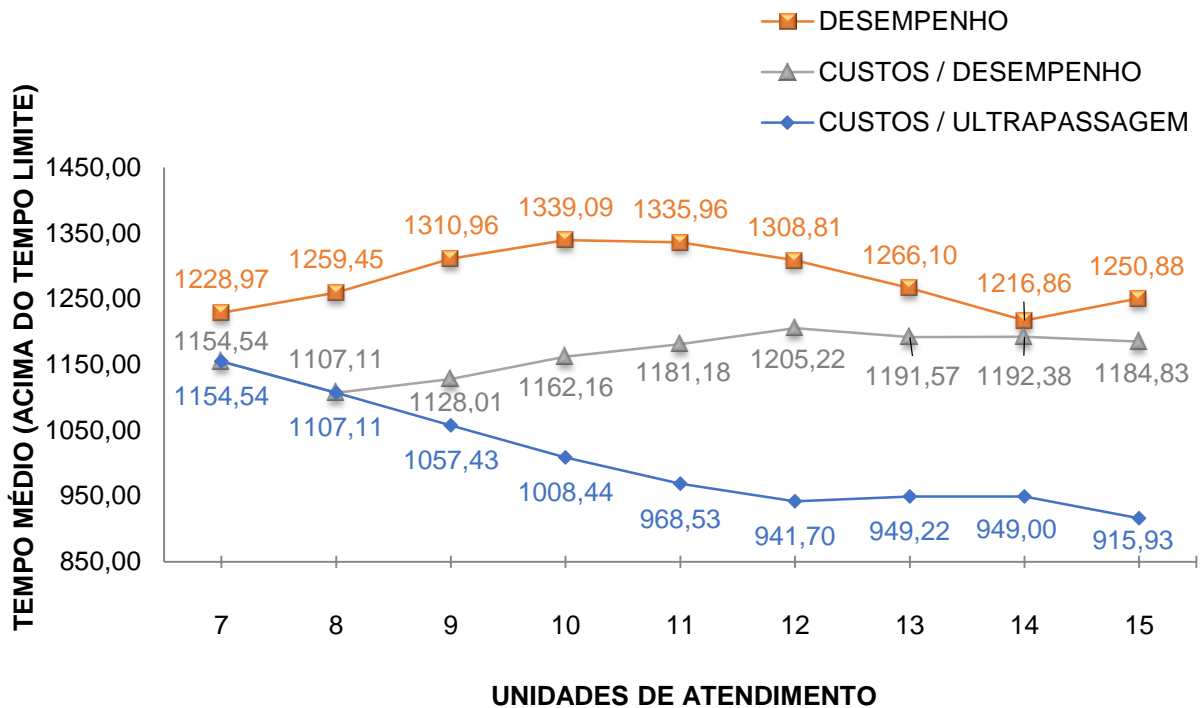


Fonte: Elaborada pelo autor.

Observa-se que, com a localização atual das unidades são contemplados 30,49% do total de atendimentos no tempo limite de viagem, sendo que na população do estudo constituída pelos incidentes do ano de 2019 perfizeram-se 26,06%. Mantendo o mesmo quantitativo atual de unidades e realizando as realocações, temos a elevação do percentual para 48,47% (diferença de 17,98%).

Além deste quesito, é importante avaliar o impacto de desempenho máximo em relação aos demais atendimentos. Os tempos médios foram calculados baseando-se nos valores dos demais atendimentos que não se enquadram no tempo máximo de viagem, sendo também concatenados na Figura 24.

Figura 24 - Tempo médio de atendimento para ocorrências que extrapolam o período limite de viagem em função do número de unidades



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na análise, observa-se que, dependendo do caso, uma maximização de cobertura pode levar a uma diminuição do tempo médio nos demais atendimentos.

5.2 ANÁLISE 2 - OBRIGATORIEDADE DE UTILIZAÇÃO DAS UNIDADES PRÉ-INSTALADAS

O objetivo desta análise foi avaliar o número de unidades necessárias entre as situações de obrigatoriedade/não obrigatoriedade de utilização das unidades pré-instaladas, sendo estabelecido inicialmente um percentual mínimo de incidentes que devem ser atendidos dentro do limite máximo de tempo de viagem.

Considerando que atualmente as unidades já instaladas desempenham um atendimento no limite do tempo de viagem em 30,49% dos incidentes, foram estipuladas metas percentuais superiores, definidas em 40%, 50%, 60% e 70%, totalizando 08 instâncias de testes com resultados obtidos nas Tabelas 9 e 10, sendo

escolhido um veículo de cada tipologia (incêndio/salvamento e pré-hospitalar) para cada local.

Tabela 9 - Comparativo do número de unidades necessárias

PERCENTUAL BASE	RESULTADOS DO MODELO					
	APROVEITAMENTO OBRIGATÓRIO DAS UNIDADES PRÉ-INSTALADAS			ESCOLHA LIVRE DAS UNIDADES		
	Nº de atendimentos	% alcançado	Nº de unidades necessárias	Nº de atendimentos	% alcançado	Nº unidades necessárias
40%	5536	47,18%	9	5289	45,07%	7*
50%	5926	50,50%	10	6085	51,86%	8**
60%	7057	60,14%	13	7152	60,95%	11**
70%	8335	71,03%	19	8295	70,69%	16***

Fonte: Elaborada pelo autor.

* Com aproveitamento de 05 unidades pré-instaladas.

** Com aproveitamento de 04 unidades pré-instaladas.

*** Com aproveitamento de 03 unidades pré-instaladas.

Tabela 10 - Relação das unidades selecionadas

PERCENTUAL BASE	RESULTADO DO MODELO	
	APROVEITAMENTO OBRIGATÓRIO DAS UNIDADES PRÉ-INSTALADAS	ESCOLHA LIVRE DAS UNIDADES
40%	1-2-3-4-5-6-7-9-42	1-2-3-4-6-9-42
50%	1-2-3-4-5-6-7-9-42-49	1-2-3-6-9-26-42-49
60%	1-2-3-4-5-6-7-9-12-24-26-42-49	1-2-3-6-12-13-24-26-42-46-49
70%	1-2-3-4-5-6-7-9-12-13-20-24-26-28-29-38-42-46-46	1-3-6-9-12-13-20-24-26-28-29-34-39-42-46-49

Fonte: Elaborada pelo autor.

Apesar da apresentação no subcapítulo anterior de resultados mais satisfatórios de desempenho (análise 1/situação 3) para o mesmo número de unidades (48,5%, 52,4% e 61,9% para 07, 08 e 11 unidades, respectivamente, com prioridade de desempenho), nota-se que foi atingida a meta percentual desejada com grande aproveitamento das pré-existentes pelo modelo. Entretanto, ao colocar a premissa obrigatória de seleção de todas as pré-existentes, o número de instalações aumentou em 02 unidades no quantitativo para atingir as metas de 40%, 50% e 60% e 03 unidades para 70%.

5.3 ANÁLISE 3 - SOMENTE DOS ATENDIMENTOS DE PRIORIDADE ALTA

O objetivo desta análise é a verificação do impacto das localizações das unidades de atendimento de emergência, em função da consideração global dos atendimentos/prioridades em detrimento à escolha somente dos incidentes classificados como de prioridade alta e que resultam em risco iminente à integridade física e grande dano ao patrimônio.

Foram feitos testes similares aos utilizados anteriormente somente para prioridade alta com o intuito de também balizar sua utilização como previsão de demanda futura, sendo aplicados os de correlação (r de Pearson), com nível de significância $p < 0,05$ para os atendimentos absolutos por bairro/localidade no ano de 2019, 2018 e 2017, exclusivamente para prioridade alta.

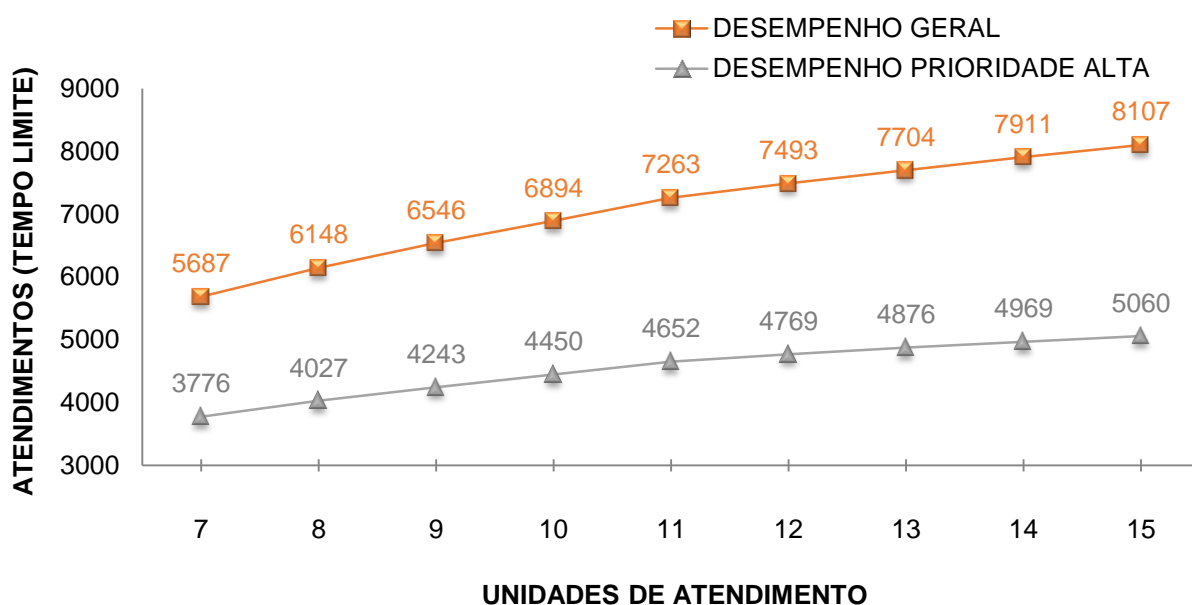
Os coeficientes de correlação obtidos de 0,859 e 0,876 para tipologia incêndio/salvamento e 0,954 e 0,960 para pré-hospitalar em 2017-2019 e 2018-2019, respectivamente, demonstraram uma forte relação entre o quantitativo de atendimentos de bairros/localidades, evidenciando que os anos anteriores também são indicadores dos acontecimentos atuais e até mesmo dos anos seguintes para a referida análise exclusiva da prioridade, evidenciando que a separação dos atendimentos não afeta a predição de demanda.

Cabe ressaltar que o modelo desenvolvido permite estipular fator multiplicador, mas se refere à métrica de peso para ultrapassagem do limite do tempo de viagem estipulado para cada tipo de prioridade. O objetivo foi de permitir a inclusão diferenciada de penalização por ultrapassagem para tipos de prioridades distintos.

Sendo assim, foram geradas outras 09 instâncias com análise individual dos atendimentos de alta prioridade pautadas em desempenho, com dados das unidades selecionadas e resultados obtidos na Tabela 16 (Apêndice E), sendo escolhido pelo modelo um veículo de cada tipologia por local (incêndio/salvamento e pré-hospitalar), as quais foram comparadas com os dados gerais obtidos na análise 1 para a

importância de desempenho (situação 3), com exposição dos valores, conforme Figura 25.

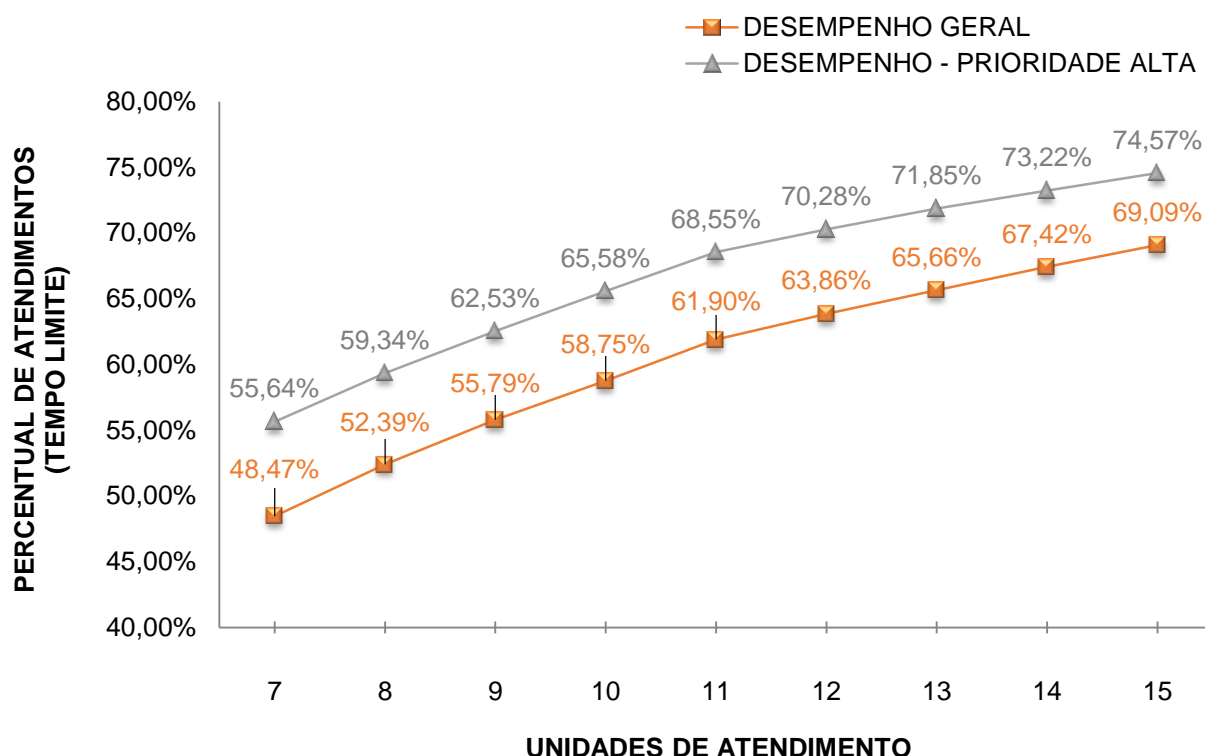
Figura 25 - Quantidade de atendimentos com desempenho definido em função do número de unidades para todas as ocorrências



Fonte: Elaborada pelo autor.

No entanto, para melhor análise da importância da localização nos atendimentos de prioridade alta é preciso avaliar percentualmente o quantitativo contemplado com desempenho definido, já que o número de atendimentos de prioridade alta perfaz 57,84% do somatório total. Assim, realizando novamente o comparativo com os dados gerais obtidos na análise 1 para a importância de desempenho (situação 3), os resultados são apresentados na Figura 26.

Figura 26 - Comparativo percentual entre desempenho geral e prioridade alta em relação ao número de unidades



Fonte: Elaborada pelo autor.

Concluiu-se, portanto, que os atendimentos de prioridade alta obtiveram um desempenho superior em relação ao desempenho global.

5.4 ANÁLISE 4 - UTILIZAÇÃO DE LOCAL/UNIDADE INDIVIDUALIZADA PARA VEÍCULOS DA TIPOLOGIA PRÉ-HOSPITALAR

O objetivo desta análise foi a avaliação do desempenho envolvendo a alocação individualizada de veículos da tipologia pré-hospitalar em detrimento à análise dos locais definidos conjuntamente com a tipologia de incêndio/salvamento.

Normalmente as unidades de atendimento operacional principais do CBMES possuem estrutura construtiva peculiar para abrigar diversas tipologias de veículos e equipamentos, muitos dos quais de grande dimensão, não permitindo assim uma fácil flexibilização de mudança de local de atendimento. Entretanto, os veículos de atendimento pré-hospitalar, por possuírem dimensão e funcionalidade mais comum, poderiam ser alocados de forma definitiva ou temporária em locais distintos da

sede/base, de forma a minimizar o tempo de viagem, seja pela condição de diminuição da distância a ser percorrida, seja pelo trânsito, já que, de um modo geral, há uma diminuição de velocidade em alguns intervalos do dia, devido geralmente aos deslocamentos de residência para o trabalho/escola e vice-versa.

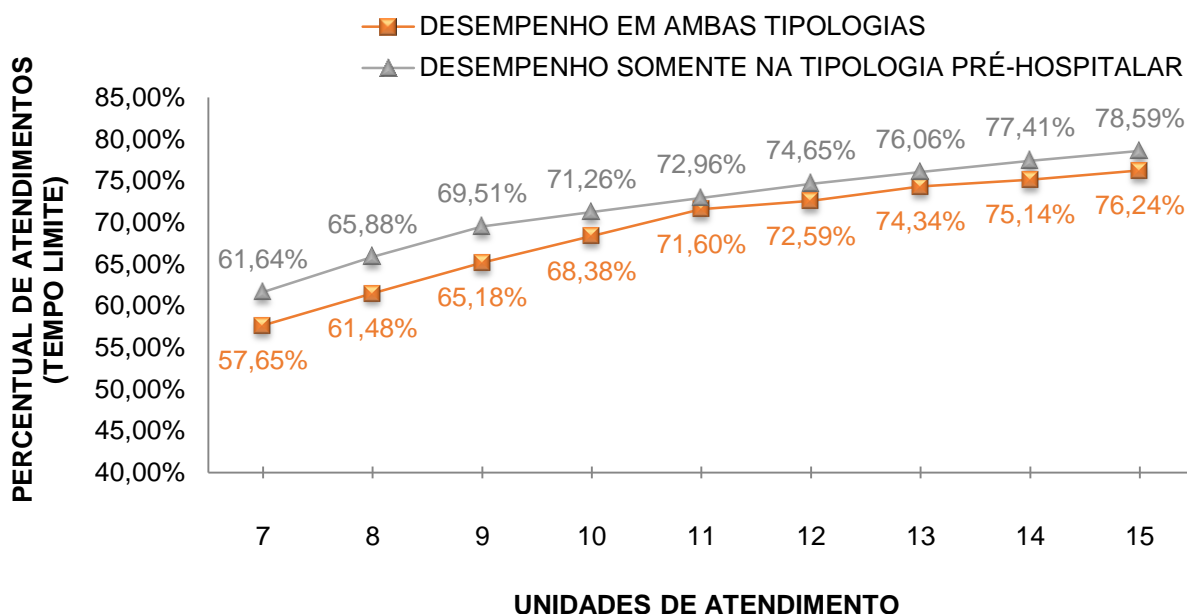
Neste sentido, pode-se avaliar a escolha de outros locais candidatos com previsão de estruturas menores, de menor custo, ou mesmo já instaladas de outras agências que não incidiriam investimentos, além de possibilitar testes/análises com um quantitativo mais diversificado de pontos, podendo resultar em melhor localização/desempenho.

Como o CBMES compartilha com o SAMU algumas de suas unidades de atendimento operacional, e no intuito de expandir as possibilidades de locais candidatos, foram selecionadas, a título de teste, pontos/unidades que o órgão utiliza na área de estudo e em locais distintos dos já utilizados nas análises anteriores. Sendo assim, foram incluídos dezesseis locais, conforme Tabela 17 (Apêndice F).

É importante salientar que os locais candidatos não são necessariamente pertencentes ao órgão em questão, sendo alguns, por exemplo, unidades de atendimento hospitalar utilizados pelo mesmo e servem de referência de localização e/ou possibilidade de sinergia de emprego conjunto de recursos.

Ainda que teoricamente não se considere a incidência de custos nas unidades do SAMU na análise, os valores dos parâmetros multiplicadores tiveram a premissa de obtenção de maior desempenho. Neste sentido, foram geradas outras 18 instâncias com utilização de um tempo de viagem de 480 segundos para todas as prioridades/subtipos, sendo 09 utilizando os locais selecionados na análise 1 para a importância de desempenho (situação 3) obtidas para ambos os veículos (tipologia de incêndio/salvamento e pré-hospitalar) e avaliadas/comparadas com uma análise de alocação individual, conforme Tabela 18 (Apêndice G). Outras 09 instâncias foram obtidas com escolha livre pelo modelo, sendo possível ter mais de 1 unidade por local, com dados obtidos na Tabela 19 (Apêndice H). Os resultados percentuais foram concatenados na Figura 27.

Figura 27 - Desempenho conjunto e individual



Fonte: Elaborada pelo autor.

O comparativo demonstra que a utilização de forma individualizada da tipologia pré-hospitalar conduz a um maior desempenho com o mesmo número de unidades de atendimento operacional.

Mesmo não sendo considerados os custos na análise, em todos os testes com variação do quantitativo de unidades foi selecionado pelo modelo no mínimo um local utilizado pelo SAMU. Para o quantitativo de 07 e 08 unidades, foram três. Para os quantitativos de 09, 10, 11 e 12 foram 2, e 1 unidade para 13, 14 e 15 locais candidatos.

5.5 ANÁLISE 5 - UTILIZAÇÃO TEMPORÁRIA DE LOCAL NA TIPOLOGIA PRÉ-HOSPITALAR NO HORÁRIO DE POSSÍVEL TRÂNSITO INTENSO

O objetivo desta análise envolvendo a alocação somente em determinados intervalos de horários da tipologia de veículo pré-hospitalar é devido ao menor porte e maior facilidade de uma alocação temporária.

No plano de emprego operacional (CBMES, 2019) há a previsão de Ponto Base (PB), no qual o veículo permanece fora da unidade e de lá atende os chamados, além da norma de procedimento (SESP, 2018), como citado anteriormente em 3.5.2.4, que

prevê que as equipes e veículos podem ser posicionados em locais específicos com o objetivo de diminuir o tempo resposta de atendimento.

Foi utilizada a tipologia de veículo pré-hospitalar considerando os atendimentos na prioridade alta, intervalo adotado como possível de maior congestionamento (segunda a sexta-feira, exceto feriados, das 06h às 09h e das 17h às 20h), sendo escolhidos os municípios de Vila Velha e Vitória, no quantitativo atual existente (02 veículos), motivado por este último apresentar um declínio de velocidade e ambos apresentarem maior demanda neste período, conforme análise, que totalizaram aproximadamente 33% dos atendimentos.

Nesta análise utilizou-se a velocidade média de cada município no referido intervalo, tempo de viagem de 480 segundos, incluídas as unidades do SAMU como locais candidatos e valores dos parâmetros multiplicadores para obtenção de maior desempenho (dentro do limite máximo de tempo de viagem), sendo avaliado o quantitativo também dos tempos médios de atendimentos das demais ocorrências, que não se enquadram no limite definido de tempo, e comparando os valores em relação à localização das unidades atualmente instaladas e os locais definidos pelo modelo. Sendo assim, foram geradas outras 04 instâncias somente no intervalo de trânsito intenso, sendo 02 nas localizações atuais (Enseada do Suá/Vitória e Vale Encantado/Vila Velha) e 02 com escolha livre pelo modelo.

Os resultados indicaram que nas localizações atuais, 120 ocorrências (22,90%) são atendidas dentro do tempo limite de viagem, com média de 975,90 segundos para o restante. Ao focar no desempenho e realocação de 02 unidades do veículo da tipologia pré-hospitalar com escolha pelo modelo, os locais designados foram Maruípe (Vitória) e Soteco (Himaba-Vila Velha), que conseguiram atingir um quantitativo de 296 ocorrências (56,49%) dentro do tempo estipulado, com 804,32 segundos para o restante dos atendimentos.

5.6 ANÁLISE 6 - UTILIZAÇÃO DE OUTRO TIPO DE VEÍCULO PARA APOIO PRÉ-HOSPITALAR

A premissa do estudo da localização da unidade de atendimento se baseou na redução do tempo de viagem, com dependência de fatores de distância e velocidade, sendo esta última dependente, além do tipo de via e volume de tráfego, de qual veículo é empregado.

Avaliar alternativas para melhorar o tempo de viagem pode ser um fator determinante para diminuir a quantidade de unidades de atendimento de emergência. Portanto, o objetivo desta análise foi envolver a alocação temporária de motocicleta como apoio no serviço de atendimento pré-hospitalar para teste do modelo, no intuito de uma possível economia de tempo e recurso.

No trânsito de grandes cidades é notório que, em determinados intervalos, as motocicletas são mais ágeis, devido ao tráfego intenso/trânsito congestionado e, por esse motivo, alguns estados já possuem motocicletas para atendimento pré-hospitalar.

Dando ênfase ao tempo de viagem, mensurar o desempenho de primeira resposta para motocicletas pode ser uma alternativa para melhorar o atendimento e, inclusive, reduzir custos, além de servir para maior rapidez e/ou gerenciamento do local do incidente.

As motocicletas de emergências médicas podem ser usadas nas condições críticas de tempo, tais como uma parada cardíaca e pacientes traumatizados, com o intuito de reduzir o tempo de resposta, além de outros benefícios como custo reduzido e redução de missões desnecessárias de ambulância (NAKSTAD; BJELLAND; SANDBERG, 2009).

Fink e Andoljšek (2008), no estudo de custo-benefício da utilização de motocicleta para melhorar a qualidade do tempo de resposta, afirmou que o tempo médio de resposta foi reduzido em 50%.

Lecca *et al.* (2017), no estudo da utilização da motocicleta como estratégia para diminuir o tempo de resposta na cidade de São Paulo, concluíram que o tempo resposta da ambulância em média foi de 10 minutos e 30 segundos e da motocicleta de 5 minutos e 30 segundos.

Portanto, nesta análise, para uma melhor compreensão, realizou-se uma análise com o mesmo tempo de viagem empregado em todas as situações, mas com o dobro da velocidade considerada no estudo para um por um veículo tradicional que possui célula de atendimento. Entretanto, ao se utilizar a motocicleta, partindo da premissa de um ganho de velocidade, pode-se ampliar o tempo de chegada do veículo de transporte com célula de atendimento.

É importante informar que, mesmo com a motocicleta servindo de apoio na prestação do atendimento, permitindo assim trazer mais rapidez ao atendimento até a chegada de um veículo de transporte, há como premissa a necessidade de transporte no veículo da tipologia pré-hospitalar tradicional que possui célula de atendimento.

Outro fato é que normalmente a equipe que utiliza motocicleta é composta de uma dupla de socorristas em veículos distintos, que é igual ao efetivo utilizado em alguns locais de atendimento do CBMES com o veículo da tipologia pré-hospitalar.

A situação testada teve também como base as premissas da análise anterior, em que novamente se salienta que se manterá a permissividade de utilização temporária de local para tipologia pré-hospitalar no horário de trânsito intenso e continuando a empregar o veículo que possua célula de atendimento/transporte no quantitativo atual existente (02 unidades), já que se considera que a vítima necessitará de transporte, atuando assim de forma concomitante.

Também foram considerados os atendimentos na prioridade alta no intervalo adotado como possível de maior congestionamento (segunda a sexta-feira, exceto feriados, das 06h às 09h e das 17h às 20h) nos mesmos municípios (Vila Velha e Vitória), pelos motivos já explicados na análise anterior.

Outro ponto é que o veículo de transporte, ao chegar ao local do incidente, terá em tese um tempo de emprego menor, já que algumas ações de suporte à vítima já devem ter sido tomadas pela equipe de motocicleta. Neste sentido, há um menor emprego de tempo e maior disponibilidade, aumentando a capacidade de atendimento.

Após essas ressalvas, utilizou-se um tempo máximo de 480 segundos para o atendimento com motocicletas e 960 segundos para a chegada do veículo de transporte da vítima, que totaliza um tempo inferior ao somatório do tempo de viagem e mediana da atuação no local do incidente (1080 segundos).

Sendo assim, foram geradas outras 02 instâncias, em que os resultados indicaram que 02 motocicletas de apoio somente no horário de trânsito intenso e 02 unidades da tipologia atual de pré-hospitalar, nos locais designados, que foram Itararé (Vitória) e Soteco (Vila Velha), atingiram um desempenho de 493 atendimentos dentro do tempo limite de viagem, correspondendo a 94,08% dos incidentes, com 700,71 segundos para o restante dos atendimentos.

Sendo assim, um complemento de motocicletas pode ser uma alternativa para reduzir o tempo de viagem, podendo ser avaliada a possibilidade de equipes de escalas especiais ou mesmo uma migração temporária de efetivo para emprego de motocicletas.

5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Os resultados comprovaram que o modelo desenvolvido permite versatilidade para comparação com análises/situações diversas.

Após os resultados apresentados nas análises propostas, pudemos concluir que:

- 1) A análise do percentual de cobertura do modelo utilizando as localizações atuais das unidades se aproximou muito da análise dos dados históricos de atendimento;
- 2) Em nenhum dos casos foi alocado mais de um recurso de veículo por tipologia em uma mesma unidade de atendimento operacional, o que remete que a demanda se enquadra dentro da capacidade mínima definida;

- 3) Dependendo do grau de importância dada na função objetivo a custos ou desempenho, há uma significativa diferença no percentual de atendimentos dentro do limite máximo estipulado de tempo de viagem;
- 4) A busca da maximização da cobertura pode levar à diminuição dos tempos médios dos demais atendimentos não contemplados com o desempenho;
- 5) Um remanejamento de locais de instalação das atuais unidades levou a um incremento praticamente de 18% de desempenho, demonstrando a importância da localização para serviços de emergência;
- 6) É possível que, dentro do tempo de viagem definido, unidades pré-existentes não tenham posição estratégica para alcance de um determinado desempenho, sendo então necessário um quantitativo maior de unidades para exercer a mesma eficiência. Este fato ficou evidente na análise com a obrigatoriedade de utilização das unidades pré-existentes, sendo que 16 unidades escolhidas livremente pelo modelo obtiveram praticamente o mesmo desempenho que o quantitativo de 19 com a premissa de aproveitamento das atuais unidades;
- 7) A utilização de todos os tipos de prioridades no modelo não traduz necessariamente um prejuízo ao desempenho exclusivo da prioridade alta, que vai depender muito da distribuição espacial dos incidentes;
- 8) Os veículos da tipologia pré-hospitalar, quando inseridos no modelo de forma individualizada, ou seja, permitindo pontos de atendimento exclusivo, obtiveram desempenho superior;
- 9) Apesar de envolver um recurso ainda não existente no órgão e que necessita da avaliação de outros fatores, a utilização do apoio da motocicleta, sob o olhar do tempo de resposta/desempenho, se mostrou uma alternativa para melhoria do número de atendimentos em determinado limite do tempo de viagem, ou mesmo a possibilidade de diminuição deste intervalo, visando à antecipação da chegada do atendimento principalmente para os casos mais graves;
- 10) A alocação temporária de veículos da tipologia pré-hospitalar nos horários de alta demanda e trânsito intenso resultou em um ganho substancial de desempenho dentro do limite de tempo de viagem, além da diminuição do tempo médio para as demais ocorrências;
- 11) Ficou demonstrado que o aumento gradual do número de unidades de atendimento pode levar a uma mudança substancial na escolha da localização.

Isto leva à reflexão da necessidade de uma análise criteriosa no planejamento de expansão para evitar que uma unidade passe a ter um baixo desempenho/localização deficiente em um cenário futuro de expansão.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Diante da necessidade de criar um modelo que pudesse traçar metas de desempenho e englobar diversas situações de prestação de serviços com seus tipos e subtipos distintos de emergências (prioridades, grau de importância em função do serviço a ser prestado, possibilidade de inserção e/ou análise de custos já demandados, entre outros fatores específicos), foi definido como objetivo geral desenvolver uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para planejamento do atendimento operacional de serviços públicos de emergência, tendo como objetivos específicos a realização de levantamento na literatura dos principais modelos, métodos e critérios que tenham relação com o problema de pesquisa; o desenvolvimento de um modelo matemático para apoio à tomada de decisão e a elaboração e aplicação de análises e instâncias para testes do modelo matemático com o intuito de demonstrar sua capacidade.

Em relação ao primeiro objetivo específico, a discussão teórica permitiu melhor compreensão dos modelos, métodos e critérios empregados no cenário mundial que tratam da alocação de unidades de atendimento de emergência que subsidiaram a criação do modelo matemático.

No segundo e terceiro objetivos, tendo entre si desdobramento correlato, pode-se afirmar que foram integralmente atendidos, visto que as diversas análises/instâncias no modelo desenvolvido comprovaram sua aplicabilidade e versatilidade de emprego em agências que lidam com a prestação de serviços emergenciais, servindo inclusive para planejar a alocação de instalações permanentes e temporárias.

O estudo abordou o tempo de viagem que guarda uma relação direta com uma melhor alocação de unidades de emergência. Por lidar com um recurso cuja falha pode resultar em danos potenciais à vida e ao patrimônio, este intervalo no tempo de resposta foi um fator primordial para a avaliação de desempenho. Entretanto, outros intervalos, que fogem ao escopo do modelo, são igualmente importantes, cuja análise permite avaliar o desempenho individual e otimizar ações mais específicas e aprofundadas, possibilitando assim inferir padrões temporais de atendimento

estabelecidos em diversos países. É importante inclusive uma análise crítica, além do ciclo temporal interno e exclusivo de determinado órgão, que trata normalmente de métrica até o local do incidente, estendendo para uma reflexão de localização das unidades que prestam serviços de apoio e/ou médico/hospitalar.

O percentual de atendimento pré-hospitalar representou de forma significativa e importante na análise de localização. Neste sentido, por ser um serviço também prestado por outras agências, a avaliação de um cenário conjunto de atendimento pode ser uma alternativa para otimizar o atendimento global, inclusive com a possibilidade de regulação única ou mesmo a adoção de uma política de expedição pautada em prioridades de despacho/cobertura conjunta.

Além da otimização dos serviços entre agências, como o serviço de emergência lida com incerteza de demanda, precisa de uma interação mais próxima e contínua de métricas de desempenho, dados e critérios, visando à maximização da eficiência.

A alocação temporária de veículos mostrou-se uma alternativa de ganho de desempenho, sendo importante avaliar antecipadamente a velocidade no local designado pelo modelo, que pode diferir da velocidade adotada como parâmetro na localização atual das unidades de atendimento operacional.

A análise de atendimento com o apoio da motocicleta também mostrou que há uma possibilidade de ganho de desempenho pautado no aumento da velocidade/diminuição do tempo de viagem, devendo ser avaliados outros fatores que possam impactar na implementação do serviço.

As análises se pautaram no histórico retrospectivo de atendimentos do ano anterior, que possuía correlação com o histórico de demandas e locais dos incidentes dos demais anos. Entretanto, uma análise mais apurada e específica, com estatísticas avançadas e métodos multivariados preditivos (regressão linear), é de fundamental importância para compreensão e melhor avaliação da regularidade da distribuição espacial com o intuito de previsão de demanda futura a ser empregada no modelo.

A avaliação da demanda de atendimentos deve ser contínua, já que há um dinamismo de dados e fatores que podem impactar de forma muito incisiva na análise, principalmente os que podem ser desenvolvidos por outras agências. Dentre eles, podemos exemplificar as mudanças na legislação de prevenção, crescimento populacional, quantidade de militares empregados na atividade emergencial, programas de descentralização administrativa do atendimento pré-hospitalar em favor dos órgãos de saúde federais, estaduais e municipais (a exemplo do SAMU ou centrais de ambulâncias), absorção de atendimentos por outras instituições/órgãos/agências (bombeiros voluntários ou municipais, presença de brigadas de prevenção e combate a incêndios em unidades de conservação, concessões ou privatizações de rodovias, entre outros), nos quais certas demandas passam a não serem atendidas de forma exclusiva.

A busca por fatores que tenham correlação com a geração de incidentes, ou mesmo uma análise de demandas que porventura estejam reprimidas pela ausência local de uma agência de prestação do serviço de emergência, é importante para alimentar o modelo no sentido de melhorar a capacidade de resposta e previsão de expansão, já que a ferramenta desenvolvida permite tal inserção, além de poder subsidiar ações de prevenção.

Muito embora a localização da instalação física das unidades de atendimento operacional de serviços públicos de emergência seja muito essencial e substancial, não se podem ignorar outras ações/ferramentas disponíveis para a melhor resposta, inclusive com decisões proativas, tais como avaliação de rota, realocações temporárias e equipes de apoio para picos de demanda, pois nem sempre a menor distância acarretará o menor tempo de viagem. Tecnologias modernas também podem auxiliar o dinamismo de atualização de dados dos incidentes, prioridades de despacho de recursos ou mesmo redirecionamentos.

O estudo partiu de uma articulação operacional já definida pelo órgão estudado, que estipula a área inicial de atendimento e para o qual partem os recursos. Entretanto, devido a possíveis variações do tempo de viagem em relação ao volume de tráfego e tipo de veículo empregado, um levantamento mais aprofundado pode auxiliar em uma

maior aplicabilidade/eficiência de utilização do modelo para melhor emprego dos recursos e composição das áreas de cobertura de atendimento no plano de emprego operacional da Instituição, inclusive de maneira dinâmica em certos casos.

Conforme avaliação da disponibilidade de recursos atualmente existente, no modelo não foram tratadas as ocasiões que pudessem incidir necessidade de emprego concomitante na área de atuação para uma mesma tipologia/unidade ou mesmo avaliação da premissa de que quando uma equipe é acionada para uma demanda, ficam descobertos outros atendimentos. Sendo assim, podem ser aprimoradas alocações redundantes, realocações temporárias ou mesmo apoio em determinados intervalos, conforme previsão de demanda, de forma a inibir uma demora ou impossibilidade de atendimento.

O estudo considerou o envio de despacho simplificado para atendimento, podendo ser reavaliado/aprimorado o despacho múltiplo, seja pela necessidade inicial de desempenho conjunto, evolução do potencial do incidente ou mesmo pela redundância/confiabilidade de resposta, com análise do retorno imediato dos recursos que se fizerem desnecessários para restabelecimento na maior brevidade da cobertura da área de atuação.

A dinâmica atual de envio do veículo que estiver mais próximo do incidente deve ser reavaliada em função das prioridades de atendimento que confrontam com a necessidade de manter um nível de confiança de cobertura adequada, podendo ser levado em consideração inclusive o histórico de incidência. Uma mudança do intervalo de atendimento, desde que possível, para incidentes de risco moderado ou baixo risco/não emergenciais pode também ser uma alternativa para manter um maior nível de disponibilidade.

Uma possibilidade de melhoria dos tempos de viagem seria a avaliação de equipes multifuncionais para ambos os veículos em função da demanda, acionada conforme tipologia de atendimento, mantendo sempre um nível mínimo de recurso para determinados incidentes, se necessário, tornando assim a presença mais

estrategicamente distribuída e/ou análise de cobertura secundária, com melhor ocupação espacial.

No emprego do modelo, foi possível avaliar diversas análises com métricas de comparação entre alternativas distintas, de forma a auxiliar a otimização dos recursos e prestar um melhor serviço à população, sendo dessa forma entregue um produto técnico de grande aplicabilidade.

A abordagem pode ser adaptada a diversas agências de emergência e/ou situações, servindo de base para o aperfeiçoamento dos tomadores de decisão na avaliação de diferentes métodos e estratégias para prover melhor abordagem da gestão do despacho dos recursos e maior eficiência no fornecimento de serviço emergencial para a população.

Ainda que outras análises possam ser feitas, foi possível constatar, nas diversas situações abordadas, a importância da utilização do modelo proposto para apoiar a tomada de decisão no planejamento do atendimento operacional e melhoria da eficiência dos serviços prestados à população.

REFERÊNCIAS

AKBARI, Amin; PELOT, Ronald; EISELT, Horst A. A modular capacitated multi-objective model for locating maritime search and rescue vessels. **Annals of Operations Research**, v. 267, n. 1-2, p. 3-28, 2018.

AKTAŞ, Emel *et al.* Optimizing fire station locations for the Istanbul metropolitan municipality. **Interfaces**, v. 43, n. 3, p. 240-255, 2013.

ALDABBAS, Mohammad *et al.* Finding the adequate location scenario after the merger of fire brigades thanks to Multiple Criteria Decision Analysis Methods. **Foundations of Computing and Decision Sciences**, v. 43, n. 2, p. 69-88, 2018.

ALSALLOUM, Othman Ibraheem; RAND, Graham K. Extensions to emergency vehicle location models. **Computers & Operations Research**, v. 33, n. 9, p. 2725-2743, 2006.

AL-SHAQSI, Sultan Zayed Khalifah. Response time as a sole performance indicator in EMS: Pitfalls and solutions. **Open access emergency medicine: OAEM**, v. 2, p. 1, 2010.

ARAZ, Ceyhun; SELIM, Hasan; OZKARAHAN, Irem. A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services. **Computers & Operations Research**, v. 34, n. 3, p. 705-726, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 37120:2017**: Desenvolvimento sustentável de comunidades — Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. Rio de Janeiro. 2017

BADRI, Masood; MORTAGY, Amr K.; ALSAYED, Colonel Ali. A multi-objective model for location fire station. **European Journal of Operational Research**, v. 110, p. 243-260, 1998.

BAŞAR, Ayfer; ÇATAY, Bülent; ÜNLÜYURT, Tonguç. A taxonomy for emergency service station location problem. **Optimization letters**, v. 6, n. 6, p. 1147-1160, 2011.

BILLHARDT, Holger *et al.* Dynamic coordination of ambulances for emergency medical assistance services. **Knowledge-Based Systems**, v. 70, p. 268-280, 2014.

BOONMEE, Chawis; ARIMURA, Mikiharu; ASADA, Takumi. Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 24, p. 485-498, 2017.

BROTCORNE, Luce; LAPORTE, Gilbert; SEMET, Frederic. Ambulance location and relocation models. **European journal of operational research**, v. 147, n. 3, p. 451-463, 2003.

BRASIL. **Constituição República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 14 set. 2019.

BRASIL. **Lei nº9.503, de 23 setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, DF: Presidência da República, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9503.htm. Acesso em: 12 maio 2020.

BOUJEMAA, Rania; JEBALI, Aida; SONDES, Hammami; RUIZ, Angel. A stochastic approach for designing two-tiered emergency medical service systems. **Flexible Services and Manufacturing Journal**, v. 30, n. 1-2, p. 123-152, 2018.

BUFFINGTON, Tyler; EZEKOYE, Ofodike A. Statistical Analysis of Fire Department Response Times and Effects on Fire Outcomes in the United States. **Fire Technology**, v. 55, n. 6, p. 2369-2393, 2019.

CHALLANDS, Neil. The relationships between fire service response time and fire outcomes. **Fire technology**, v. 46, n. 3, p. 665-676, 2010.

CHEVALIER, Philippe; THOMAS, Isabelle; GERAETS, David; GOETGHEBEUR, Els; JANSSENS, Olivier; PEETERS, Dominique; PLASTRIA, Frank. Locating fire stations: An integrated approach for Belgium. **Socio-Economic Planning Sciences**, v.46, n.2, 173-182, 2012.

CHURCH, Richard L.; REVELLE, Charles S. The maximal covering location problem. **Papers in Regional Science**, v. 32, n. 1, p. 101-118, 1974.

CLARIDGE, Ed; SPEARPOINT, Michael. New Zealand fire service response times to structure fires. **Procedia engineering**, v. 62, p. 1063-1072, 2013.

COMMISSION ON FIRE ACCREDITATION INTERNATIONAL, Inc. **Creating and Evaluating Standards of Response Coverage for Fire Departments**. 4th ed. Chantilly, VA: Public Entity Risk Institute, 2003. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/document/read/31342949/creating-and-evaluating-standards-of-response-coverage-for-fire->. Acesso em: 21 dez. 2019.

COMMISSION ON FIRE ACCREDITATION INTERNATIONAL. **Template Standards of Response Coverage**. Disponível em: https://www.iafc.org/docs/default-source/uploaded-documents/sop-cpse-cfai-standard-of-cover-template.pdf?sfvrsn=9f16d80d_0&download=true. Acesso em: 26 fev. 2020.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESPÍRITO SANTO. **Planejamento estratégico CBMES 2015-2019**. 2015. Disponível em: <https://cb.es.gov.br/planejamento-estrategico-2>. Acesso em: 07 jan. 2020.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESPÍRITO SANTO. **Plano de Emprego Operacional**. Vitória, 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Portaria nº 330-R, de 21 de julho de 2014. Regula os procedimentos administrativos no âmbito do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Espírito Santo para estabelecimento da nomenclatura das viaturas da Corporação. *In*: GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Coletânea de Portarias**. Vitória, 2014. Disponível em: <https://cb.es.gov.br/Media/CBMES/PDF's/Legislacao/Colet%C3%A2nea%20de%20Portarias%20R%20-%20Atualizada%20em%2024.06.2020.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2020.

CRAINIC, Teodor Gabriel; LAPORTE, Gilbert. Planning models for freight transportation. **European journal of operational research**, v. 97, n. 3, p. 409-438, 1997.

DEGEL, Dirk *et al.* Reorganizing an existing volunteer fire station network in Germany. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 48, n. 2, p. 149-157, 2014.

DEGEL, Dirk *et al.* Time-dependent ambulance allocation considering data-driven empirically required coverage. **Health care management science**, v. 18, n. 4, p. 444-458, 2015.

DONG, Xin-ming *et al.* Study on Urban Fire Station Planning based on Fire Risk Assessment and GIS Technology. **Procedia engineering**, v. 211, p. 124-130, 2018.

DOYEN, Alper; ARAS, Necati; BARBAROSOGLU, Gülay. A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics. **Optimization Letters**, v. 6, n. 6, p. 1123-1145, 2012.

ERDEN, T.; COŞKUN, M. Z. Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 10, n. 10, p. 2127-2134, 2010.

ESPÍRITO SANTO. **Constituição do Estado do Espírito Santo**. Vitória, ES: Assembleia legislativa do estado do Espírito Santo, 1989. Disponível em: http://www.al.es.gov.br/appdata/anexos_internet/downloads/c_est.pdf. Acesso em: 05 maio 2019.

ESPÍRITO SANTO. **Emenda Constitucional nº12, de 20 de dezembro de 1997**. Modifica, adita e dá nova redação aos dispositivos da Constituição Estadual, que trata sobre a Polícia Militar e Corpo de Bombeiros Militar, 1997. Disponível em: <http://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/ECE121997.html>. Acesso em: 17 ago. 2019.

ESPÍRITO SANTO. **Lei complementar nº 705, de 27 de agosto de 2013**. Altera dispositivos das Leis Complementares nº 101, de 22.9.1997, e nº 467, de 04.12.2008, e da Lei nº 5.789, de 22.12.1998, e dá outras providências, 2013. Disponível em: <http://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/lec7052013.html#a18>. Acesso em: 17 ago. 2019.

FARAHANI, Reza Zanjirani *et al.* Covering problems in facility location: A review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 62, n. 1, p. 368-407, 2012.

FARAHANI, Reza Zanjirani; STEADIESEIFI, Maryam; ASGARI, Nasrin. Multiple criteria facility location problems: A survey. **Applied Mathematical Modelling**, v. 34, n. 7, p. 1689-1709, 2010.

FINK, Andrej; ANDOLJŠEK, Danijel. Cost-Benefit of Medical Emergency Motorcycle System. **Annals of Emergency Medicine**, v. 51, n. 4, p. 514-515, 2008.

GONÇALVES, Daniel Neves Schmitz *et al.* Analysis of the difference between the Euclidean distance and the actual road distance in Brazil. **Transportation Research Procedia**, v. 3, p. 876-885, 2014.

HALE, Trevor S.; MOBERG, Christopher R. Location science research: a review. **Annals of operations research**, v. 123, n. 1-4, p. 21-35, 2003.

HELLER, Miriam; COHON, Jared L.; REVELLE, Charles S. The use of simulation in validating a multiobjective EMS location model. **Annals of Operations Research**, v. 18, n. 1, p. 303-322, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Espírito Santo – Panorama**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/panorama>. Acesso em: 11 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2019**. [20--]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: 17 ago. 2019.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Região Metropolitana da Grande Vitória - RMGV**: Sistema gestor de informações básicas. Vitória, ES. 2005. Disponível em: http://www.ijsn.es.gov.br/ConteudoDigital/20120829_rmgv_sistemagestordeinformacoesbasicas.pdf. Acesso em: 17 ago. 2019.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 37120:2014(en)**: Sustainable cities and communities – indicators for city services and quality of life. 2014. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:37120:ed-1:v1:en>. Acesso em: 17 dez. 2019.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 37120:2018(en)**: Sustainable cities and communities – indicators for city services and quality of life. 2nd. ed. 2018. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:37120:ed-2:v1:en>. Acesso em: 17 dez. 2019.

JIA, Hongzhong. **Models and solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies**. 2006. Dissertation (Ph.D.) - University of Southern California, 2006.

JIA, Hongzhong; ORDÓÑEZ, Fernando; DESSOUKY, Maged M. Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. **Computers & Industrial Engineering**, v. 52, n. 2, p. 257-276, 2007.

KARATAS, Mumtaz; RAZI, Nasuh; TOZAN, Hakan. A Comparison of p-median and Maximal Coverage Location Models with Q-coverage Requirement. **Procedia Engineering**, v. 149, p. 169-176, 2016.

KC, Kiran; CORCORAN, Jonathan; CHHETRI, Prem. Spatial optimisation of fire service coverage: a case study of Brisbane, Australia. **Geographical research**, v. 56, n. 3, p. 270-284, 2018.

LECCA, Valmir da Silva *et al.* **A motolância como estratégia para diminuir o tempo resposta na cidade de São Paulo**. 2017.

LI, Xueping *et al.* Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. **Mathematical Methods of Operations Research**, v. 74, n. 3, p. 281-310, 2011.

LIM, Cheng Siong; MAMAT, Rosbi; BRAUNL, Thomas. Impact of ambulance dispatch policies on performance of emergency medical services. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 12, n. 2, p. 624-632, 2011.

LÓPEZ, Beatriz; INNOCENTI, Bianca; BUSQUETS, Dídac. A multiagent system for coordinating ambulances for emergency medical services. **IEEE Intelligent Systems**, v. 23, n. 5, p. 50-57, 2008.

MCLAY, Laura A.; MAYORGA, Maria E. A model for optimally dispatching ambulances to emergency calls with classification errors in patient priorities. **IEEE Transactions**, v. 45, n. 1, p. 1-24, 2013

MCLAY, Laura A.; MAYORGA, Maria E. Evaluating emergency medical service performance measures. **Health care management science**, v. 13, n. 2, p. 124-136, 2010.

MLADENOVIĆ, Nenad *et al.* The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 179, n. 3, p. 927-939, 2007.

MURRAY, Alan T. Optimising the spatial location of urban fire stations. **Fire safety journal**, v. 62, p. 64-71, 2013.

MURRAY, Alan T.; TONG, Daoqin; KIM, Kamyoun. Enhancing classic coverage location models. **International Regional Science Review**, v. 33, n. 2, p. 115-133, 2010.

NAKSTAD, Anders Rostrup; BJELLAND, Bjørn; SANDBERG, Mårten. Medical emergency motorcycle—is it useful in a Scandinavian Emergency Medical Service? **Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine**, v. 17, n. 1, p. 9, 2009.

NATIONAL FIRE OPERATIONS REPORTING SYSTEM. Washington, DC.
Disponível em: <https://i-psdi.org/nfors.html>. Acesso em: 26 fev. 2020.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 1221.
Standard on Installation, Maintenance, and Use of Emergency Services Communications Systems, 2016 Ed. Disponível em:
<https://catalog.nfpa.org/NFPA-1221-Standard-for-the-Installation-Maintenance-and-Use-of-Emergency-Services-Communications-Systems-P1420.aspx> . Acesso em: 26 fev. 2020.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 1221.
Standard on Installation, Maintenance, and Use of Emergency Services Communications Systems, 2019 Ed. Disponível em:
https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/1221/Proposed_TIA_1435_NFPA_1221.pdf. Acesso em: 26 fev. 2020.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 1710.
Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Career Fire Departments, 2010 Ed. Disponível em: <https://www.nfpa.org/Codes-and-Standards/ARCHIVED/Safer-Act-Grant/NFPA-1710>. Acesso em: 17 ago. 2019; 20 fev. 2020.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 1720.
Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Career Fire Departments, 2010 Ed. Disponível em: <https://www.nfpa.org/Codes-and-Standards/ARCHIVED/Safer-Act-Grant/NFPA-1720>. Acesso em: 17 ago. 2019; 20 fev.2020.

OWEN, Susan Hesse; DASKIN, Mark S. Strategic facility location: A review. **European journal of operational research**, v. 111, n. 3, p. 423-447, 1998.

PELEG, Kobi; PLISKIN, Joseph S. A geographic information system simulation model of EMS: reducing ambulance response time. **The American journal of emergency medicine**, v. 22, n. 3, p. 164-170, 2004.

PIRKUL, Hasan; SCHILLING, David. The capacitated maximal covering location problem with backup service. **Annals of Operations Research**, v. 18, n. 1, p. 141-154, 1989.

REVELLE, Charles S.; EISELT, Horst A.; DASKIN, Mark S. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. **European Journal of Operational Research**, v. 184, n. 3, p. 817-848, 2008.

REVELLE, Charles S.; EISELT, Horst A. Location analysis: A synthesis and survey. **European journal of operational research**, v. 165, n. 1, p. 1-19, 2005.

REVELLE, Charles S. *et al.* Facility location: a review of context-free and EMS models. **Health Services Research**, v. 12, n. 2, p. 129, 1977.

REVELLE, Charles S.; SNYDER, Stephanie. Integrated fire and ambulance siting: A deterministic model. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 29, n. 4, p. 261-271, 1995.

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

SCHILLING, David A. *et al.* Some models for fire protection locational decisions. **European Journal of Operational Research**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 1980.

SECRETARIA DE SEGURANÇA PÚBLICA. **Norma de procedimento**. Disponível em: <https://sesp.es.gov.br/normas-de-procedimento>. 2018. Acesso em: 23 jun. 2019.

SECRETARIA DE SEGURANÇA PÚBLICA. **Plano Estadual de Segurança Pública**. Disponível em: https://sesp.es.gov.br/Media/sesp/Gest%C3%A3o%20estrat%C3%A9gica/PLANO%20DE%20SEGURAN%C3%A7A%202015-2018_vers%C3%A3o1.pdf. Acesso em: 23 jun. 2019.

SERRA, Daniel; MARIANOV, Vladimir. New trends in public facility location modeling. **UPF Economics and Business Working Paper**, n. 755, 2004.

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

SHARIFF, S.s. Radiah; MOIN, Noor Hasnah; OMAR, Mohd. Location allocation modeling for healthcare facility planning in Malaysia. **Computers & Industrial Engineering**, v. 62, n. 4, p. 1000-1010, 2012.

SORENSEN, Paul; CHURCH, Richard. Integrating expected coverage and local reliability for emergency medical services location problems. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 44, n. 1, p. 8-18, 2010.

SUZUKI, Atsuo; DREZNER, Zvi. The p-center location problem in an area. **Location science**, v. 4, n. 1-2, p. 69-82, 1996.

SUZUKI, Tatsuya; SATOH, Eiji. An analysis on the optimum location of fire department based on ambulance dispatch situation—A case study in Utsunomiya City. **Japan Architectural Review**, v. 3, n. 2, p. 241-255, 2020.

TANSEL, Barbaros C.; FRANCIS, Richard L.; LOWE, Timothy J. State of the art—location on networks: a survey. Part I: the p-center and p-median problems. **Management science**, v. 29, n. 4, p. 482-497, 1983.

USANOV, Dmitrii; VAN DE VEN, Peter M.; VAN DER MEI, Rob D. Dispatching fire trucks under stochastic driving times. **Computers & Operations Research**, v. 114, p. 104829, feb. 2020. DOI: 10.1016/j.cor.2019.104829

YANG, Lili; JONES, Bryan F.; YANG, Shuang-Hua. A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms. **European Journal of Operational Research**, v. 181, n. 2, p. 903-915, 2007.

ZHANG, Jiang-Hua; LI, Jin; LIU, Zhi-Ping. Multiple-resource and multiple-depot emergency response problem considering secondary disasters. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 12, p. 11066-11071, 2012.

ZHAO, Ming; LIU, Xiang. Development of decision support tool for optimizing urban emergency rescue facility locations to improve humanitarian logistics management. **Safety science**, v. 102, p. 110-117, 2018.

ZHENG, Yu-Jun; CHEN, Sheng-Yong; LING, Hai-Feng. Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey. **Applied Soft Computing**, v. 27, p. 553-566, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – DECLARAÇÃO DE ENTREGA E ATESTADO DE RECEBIMENTO E EXECUÇÃO DE PRODUTO TÉCNICO/ TECNOLÓGICO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA



Vitória, 18 de junho de 2020.

Ao Órgão

Assunto: Entrega de produto técnico

Sr. Comandante,

Tendo sido aprovado no processo seletivo para cursar o Mestrado Profissional em Gestão Pública, oferecido pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), após a obtenção do título de Mestre, encaminho o produto técnico/tecnológico, em sua versão final para depósito no repositório institucional, denominado - Modelo matemático para apoiar a tomada de decisão no planejamento do atendimento operacional de serviços públicos de emergência - resultante da minha pesquisa de conclusão de curso, desenvolvido sob a orientação do Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa.

Mauro Rosa
Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em
Gestão Pública- PPGGP- UFES

Comandante-Geral
Conveniada ao PPGGP

ATESTADO DE RECEBIMENTO/EXECUÇÃO DE PRODUTO TÉCNICO/TECNOLÓGICO

Atestamos para fins de comprovação que recebemos o produto/serviço, dentro de padrões de qualidade, prazo e viabilidade, contidos no relatório intitulado “Modelo matemático para apoiar a tomada de decisão no planejamento do atendimento operacional de serviços públicos de emergência”, que teve como origem os resultados da dissertação desenvolvida pelo aluno Mauro Rosa, no Mestrado Profissional em Gestão Pública da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), orientado pelo Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa, no período de março/2018 a março/2020. O resultado consiste em um modelo matemático para apoiar a tomada de decisão no planejamento do atendimento operacional de serviços públicos de emergência, definindo a quantidade e a localização de unidades de emergência, possibilitando englobar os principais critérios que traduzam melhor resposta às emergências.

Vitória - ES, 18 de junho de 2020.

Responsável

APÊNDICE B –
TABELAS DE VELOCIDADE POR BAIRRO/LOCALIDADE, TIPOLOGIA DE
VEÍCULO E PRIORIDADE

Tabela 11 - Distribuição das velocidades nos atendimentos para prioridade alta

MUNICÍPIOS	VELOCIDADE (km/h)			
	INCÊNDIO/SALVAMENTO		PRÉ-HOSPITALAR	
	MÉDIA	MEDIANA	MÉDIA	MEDIANA
ALFREDO CHAVES	48,75	49,20	55,83	42,86
ARACRUZ	37,95	32,31	40,27	34,29
CARIACICA	31,71	26,90	30,45	26,25
FUNDÃO	54,89	54,30	58,88	58,42
GUARAPARI	32,83	30,00	32,63	30,00
IBIRAÇU	51,73	49,78	57,73	60,00
JOÃO NEIVA	52,21	48,57	61,95	53,56
SANTA LEOPOLDINA	49,11	45,43	42,71	36,00
SANTA MARIA DE JETIBÁ	33,26	32,14	37,62	31,98
SANTA TERESA	40,52	42,21	43,14	50,46
SERRA	34,75	31,37	38,30	36,92
VIANA	33,66	29,52	34,67	30,00
VILA VELHA	34,47	30,00	33,82	30,00
VITÓRIA	32,18	27,69	33,80	30,00

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

Tabela 12 - Distribuição das velocidades nos atendimentos para prioridade média

MUNICÍPIOS	VELOCIDADE (km/h)			
	INCÊNDIO/SALVAMENTO		PRÉ-HOSPITALAR	
	MÉDIA	MEDIANA	MÉDIA	MEDIANA
ALFREDO CHAVES	-	-	-	-
ARACRUZ	36,10	31,64	30,28	24,00
CARIACICA	26,75	18,95	23,44	20,00
FUNDÃO	-	-	51,92	53,39
GUARAPARI	19,19	16,80	28,05	26,25
IBIRAÇU	53,40	52,00	40,00	40,00
JOÃO NEIVA	-	-	-	-
SANTA LEOPOLDINA	37,20	36,00	41,33	41,33
SANTA MARIA DE JETIBÁ	-	-	-	-
SANTA TERESA	71,36	71,36	37,85	37,85
SERRA	31,75	25,71	40,91	40,00
VIANA	28,79	25,71	40,46	25,00
VILA VELHA	27,94	24,49	30,37	26,67
VITÓRIA	23,13	21,00	31,06	24,00

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

Tabela 13 - Distribuição das velocidades nos atendimentos para prioridade baixa

MUNICÍPIOS	VELOCIDADE (km/h)			
	INCÊNDIO/SALVAMENTO		PRÉ-HOSPITALAR	
	MÉDIA	MEDIANA	MÉDIA	MEDIANA
ALFREDO CHAVES	47,28	49,28	51,71	51,71
ARACRUZ	30,00	33,58	34,29	36,52
CARIACICA	21,00	24,24	18,95	24,16
FUNDÃO	42,13	43,78	-	-
GUARAPARI	24,00	28,01	22,64	28,75
IBIRAÇU	32,14	30,11	-	-
JOAO NEIVA	45,52	51,22	-	-
SANTA LEOPOLDINA	20,87	29,37	28,50	38,25
SANTA MARIA DE JETIBÁ	34,67	39,01	-	-
SANTA TERESA	45,60	42,49	-	-
SERRA	24,62	28,60	33,98	35,31
VIANA	25,13	28,11	28,00	37,00
VILA VELHA	23,52	28,14	26,90	33,01
VITÓRIA	20,00	23,79	21,00	26,86

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em SESP (2020).

APÊNDICE C –

LOCAIS CANDIDATOS PARA TESTES DE INSTÂNCIAS

Tabela 14 - Locais candidatos à instalação de unidade de atendimento operacional

(Continua)

NÚMERO DE REFERÊNCIA	MUNICÍPIO	BAIRRO E/OU REFERÊNCIA
1	ARACRUZ	BELA VISTA (SEDE CBMES)
2	CARIACICA	SÃO FRANCISCO (SEDE CBMES)
3	GUARAPARI	AEROPORTO (SEDE CBMES)
4	SERRA	CAMARÁ (SEDE CBMES)
5	VILA VELHA	VALE ENCANTADO (SEDE CBMES)
6	VITÓRIA	ENSEADA DO SUÁ (SEDE CBMES)
7	SANTA LEOPOLDINA	CENTRO (SEDE CBMES)
8	CARIACICA	FLEXAL (BR-101 / KM 291)
9	CARIACICA	JARDIM AMÉRICA (BR-262 / ACESSO 2ª PONTE)
10	CARIACICA	NOVO HORIZONTE (RUA DOS JORNALISTAS)
11	CARIACICA	PORTO DE SANTANA (AV. VALE DO RIO DOCE)
12	CARIACICA	RIO MARINHO (VIADUTO ROD. LESTE OESTE)
13	CARIACICA	TUCUM (PROX. 7º BATALHÃO DA PM)
14	CARIACICA	PADRE MATHIAS (BR - 101 / KM 291 SUL)
15	FUNDÃO	CENTRO
16	GUARAPARI	BARRO BRANCO (BR-101 / KM 321 SUL)
17	GUARAPARI	CENTRO
18	GUARAPARI	MARIQUIOCA (POSTO POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL)
19	GUARAPARI	MEAIPE (TREVO COM RODOVIA DO SOL)
20	GUARAPARI	SETIBA (TREVO SETIBA)
21	GUARAPARI	JARDIM GUARAPARI (TREVO GUARAPARI)
22	SERRA	BAIRRO DAS LARANJEIRAS (RODOVIA ES-010)
23	SERRA	BARRO BRANCO (BR – 101 / KM 264 SUL)
24	SERRA	CARAPINA (VIADUTO BR – 101)
25	SERRA	JACARAÍPE (PRAÇA ENCONTRO DAS ÁGUAS)
26	SERRA	LARANJEIRAS (TERMINAL DE LARANJEIRAS)
27	SERRA	MARINGÁ (TREVO PORTO CANOA)
28	SERRA	CENTRO
29	SERRA	VILA NOVA DE COLARES (SECRETARIA DE SAÚDE)
30	SERRA	NOVA ALMEIDA (PRÓXIMO À PONTE)
31	VIANA	ARLINDO ÂNGELO VILLASCHI (AV. GUARAPARI)
32	VIANA	CANAÃ (BR – 101 / KM 300 SUL)
33	VIANA	JUCU (BR – 101 / KM 308 SUL)
34	VIANA	VILA BETHÂNIA (BR – 101 / KM 298 SUL)
35	VIANA	BOM PASTOR (BR – 262 / KM 18)
36	VILA VELHA	CENTRO (PRAÇA DUQUE DE CAXIAS)
37	VILA VELHA	BARRA DO JUCU (ES – 060 / KM 13 SUL)
38	VILA VELHA	RIVIERA DA BARRA (ES – 060 / KM 15 SUL)
39	VILA VELHA	JOCKEY DE ITAPARICA (ES – 060 / KM 09 SUL)
40	VILA VELHA	PONTA DA FRUTA (ES – 060 / KM 26 SUL)
41	VILA VELHA	SANTA INÊS (AV. CARLOS LINDEMBERG – PROX. FÁBRICA CHOCOLATES GAROTO)
42	VILA VELHA	SOTECO (IFES – CAMPUS VILA VELHA)

Tabela 14 - Locais candidatos à instalação de unidade de atendimento operacional

(Conclusão)		
NÚMERO DE REFERÊNCIA	MUNICÍPIO	BAIRRO E/OU REFERÊNCIA
43	VILA VELHA	23 DE MAIO (ES – 060 / KM 18 SUL)
44	VILA VELHA	INTERLAGOS (ES – 060 / KM 22 SUL)
45	VITÓRIA	CAMBURI (AV. JOSÉ MARIA VIVÁQUA SANTOS – PROX. SHOPPING NORTE SUL)
46	VITÓRIA	ILHA DO PRÍNCIPE (PROX. TERMINAL RODOVIÁRIO)
47	VITÓRIA	ITARARÉ (CRUZAMENTO DA AV. LEITÃO DA SILVA COM RUA DAS PALMEIRAS)
48	VITÓRIA	MARUÍPE (AV. MARUÍPE – PRÓX. POLÍCIA MILITAR)
49	VITÓRIA	MATA DA PRAIA (CRUZAMENTO DA AV. DANTE MICHELINI COM AV. ADALBERTO SIMÃO NADER)
50	VITÓRIA	SÃO PEDRO (RODOVIA SERAFIM DERENZI – PROX. ÁREA DA ESCOLA VIVA)
51	ALFREDO CHAVES	CENTRO
52	SANTA MARIA DE JETIBÁ	CENTRO (CRUZAMENTO DA RODOVIA ES – 264 COM ES – 368)
53	IBIRAÇU	CENTRO
54	JOÃO NEIVA	CENTRO
55	SANTA MARIA DE JETIBÁ	CENTRO
56	SANTA TERESA	CENTRO

Fonte: Elaborada pelo autor.

APÊNDICE D –
UNIDADES SELECIONADAS NA ANÁLISE 1

Tabela 15 - Unidades selecionadas na análise 1

SITUAÇÃO	QUANTIDADE DE UNIDADES	UNIDADES SELECIONADAS
1	7	1-2-3-4-5-6-7
1	8	1-2-3-4-5-6-7-42
1	9	1-2-3-4-5-6-7-23-42
1	10	1-2-3-4-5-6-7-9-23-40
1	11	1-2-3-4-5-6-7-9-23-30-40
1	12	1-2-3-4-5-6-7-8-9-23-30-40
1	13	1-2-3-4-5-6-7-8-9-23-30-38-42
1	14	1-2-3-4-5-6-7-9-14-23-24-30-38-42
1	15	1-2-3-4-5-6-7-8-9-23-24-30-35-42-43
2	7	1-2-3-4-5-6-7
2	8	1-2-3-4-5-6-7-42
2	9	1-2-3-4-5-6-7-9-42
2	10	1-2-3-4-5-6-7-9-42-49
2	11	1-2-3-4-5-6-7-9-24-42-49
2	12	1-2-3-4-5-6-7-9-12-24-42-49
2	13	1-2-3-4-5-6-7-9-12-24-26-42-49
2	14	1-2-3-4-5-6-7-12-13-24-26-42-46-49
2	15	1-2-3-4-5-6-7-12-13-24-26-29-42-46-49
3	7	1-2-3-9-26-42-48
3	8	1-2-3-9-24-26-42-48
3	9	1-2-3-6-9-24-26-42-48
3	10	1-2-3-6-9-12-24-26-42-48
3	11	1-3-6-12-13-24-26-34-42-46-48
3	12	1-3-6-12-13-24-26-29-34-42-46-48
3	13	1-3-6-12-13-24-26-29-34-38-42-46-48
3	14	1-3-6-12-13-24-26-28-29-34-38-42-46-48
3	15	1-3-6-9-12-13-24-26-28-29-34-38-42-46-48

Fonte: Elaborada pelo autor.

**APÊNDICE E –
RESULTADO DA ANÁLISE 3**

Tabela 16 - Resultado da análise para prioridade alta

QUANTITATIVO DE UNIDADES	RESULTADOS DO MODELO		
	UNIDADES SELECIONADAS	NÚMERO DE ATENDIMENTOS	PERCENTUAL DE DESEMPENHO
7	1-2-3-9-24-42-49	3776	55,64%
8	1-2-3-6-9-24-42-49	4027	59,34%
9	1-2-3-6-9-24-26- 42-49	4243	62,53%
10	1-2-3-6-9-12-24-26- 42-49	4450	65,58%
11	1-3-6-12-13-24-26- 34-42-46-49	4652	68,55%
12	1-3-6-12-13-24-26-34-38-42-46-49	4769	70,28%
13	1-3-6-12-13-20-24-26-34-38-42-46-49	4876	71,85%
14	1-3-6-9-12-13-20-24-26-34-38-42-46-49	4969	73,22%
15	1-3-6-9-12-13-20-24-26-28-34-38-42-46-49	5060	74,57%

Fonte: Elaborada pelo autor.

APÊNDICE F –
UNIDADES COM PRESENÇA DO SAMU PARA TESTE DE INSTÂNCIAS

Tabela 17 - Unidades SAMU candidatas a abrigar tipologia pré-hospitalar

NÚMERO DE REFERÊNCIA	MUNICÍPIO	BAIRRO E/OU REFERÊNCIA
57	VITÓRIA	FORTE SÃO JOÃO
58	VITÓRIA	SANTA LÚCIA
59	VITÓRIA	BAIRRO REPÚBLICA
60	VILA VELHA	INDUSTRIAL DO ALECRIM (HOSPITAL EVANGÉLICO)
61	VILA VELHA	SOTECO (HOSPITAL ESTADUAL INFANTIL E MATERNIDADE)
62	VILA VELHA	PRAIA DA COSTA (CENTRO DE REABILITAÇÃO FÍSICA DO ESPÍRITO SANTO)
63	SERRA	CARAPINA (UNIDADE DE PRONTO ATENDIMENTO CARAPINA)
64	SERRA	SERRA (UNIDADE DE PRONTO ATENDIMENTO SERRA)
65	SERRA	BARCELONA (UNIDADE DE PRONTO ATENDIMENTO BARCELONA)
66	CARIACICA	JARDIM AMÉRICA (CENTRO REGIONAL DE ESPECIALIDADES METROPOLITANO)
67	CARIACICA	ORIENTE (MATERNIDADE DE CARIACICA)
68	CARIACICA	ITACIBÁ (PRONTO ATENDIMENTO TREVO ITACIBÁ)
69	VIANA	ARLINDO VILLASCHI (PRONTO ATENDIMENTO ARLINDO VILLASCHI)
70	FUNDÃO	FUNDÃO
71	SANTA MARIA DE JETIBÁ	SANTA MARIA DE JETIBÁ
72	SANTA TERESA	SANTA TERESA

Fonte: Elaborada pelo autor.

**APÊNDICE G –
RESULTADO DA ANÁLISE 4**

Tabela 18 - Resultado da análise individual para utilização de local/unidade distinta para pré-hospitalar utilizando as unidades da análise 1/situação 3

QUANTITATIVO DE UNIDADES	RELAÇÃO DOS LOCAIS SELECIONADOS	
	UNIDADES SELECIONADAS	PERCENTUAL DE DESEMPENHO
7	1-2-3-9-26-42-48	57,65%
8	1-2-3-9-24-26-42-48	61,48%
9	1-2-3-6-9-24-26-42-48	65,18%
10	1-2-3-6-9-12-24-26-42-48	68,38%
11	1-3-6-12-13-24-26-34-42-46-48	71,60%
12	1-3-6-12-13-24-26-29-34-42-46-48	72,59%
13	1-3-6-12-13-24-26-29-34-38-42-46-48	74,34%
14	1-3-6-12-13-24-26-28-29-34-38-42-46-48	75,14%
15	1-3-6-9-12-13-24-26-28-29-34-38-42-46-48	76,24%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 19 - Resultado da análise para utilização de local/unidade distinta para pré-hospitalar

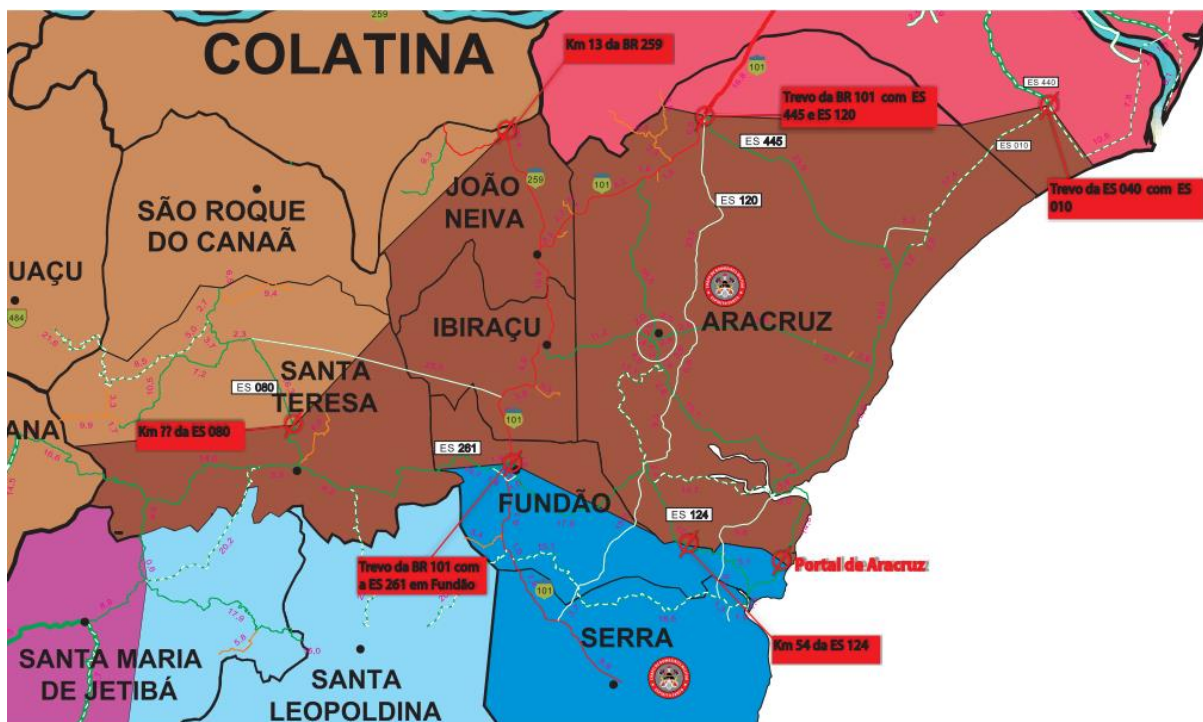
QUANTITATIVO DE UNIDADES	RELAÇÃO DOS LOCAIS SELECIONADOS	
	UNIDADES SELECIONADAS	PERCENTUAL DE DESEMPENHO
7	1-2-3-42-58-63-66	61,64%
8	1-2-3-12-42-58-63-66	65,88%
9	1-2-3-6-12-42-49-63-66	69,51%
10	1-2-3-6-12-38-42-49-58-66	71,26%
11	1-2-3-6-12-20-38-42-49-63-66	72,96%
12	1-2-3-6-8-12-20-38-42-49-63-66	74,65%
13	1-2-3-6-8-12-20-24-26-38-42-49-66	76,06%
14	1-2-3-6-8-12-20-24-25-26-38-42-49-66	77,41%
15	1-2-3-6-8-12-20-24-25-26-38-42-49-50-66	78,59%

Fonte: Elaborada pelo autor.

ANEXOS

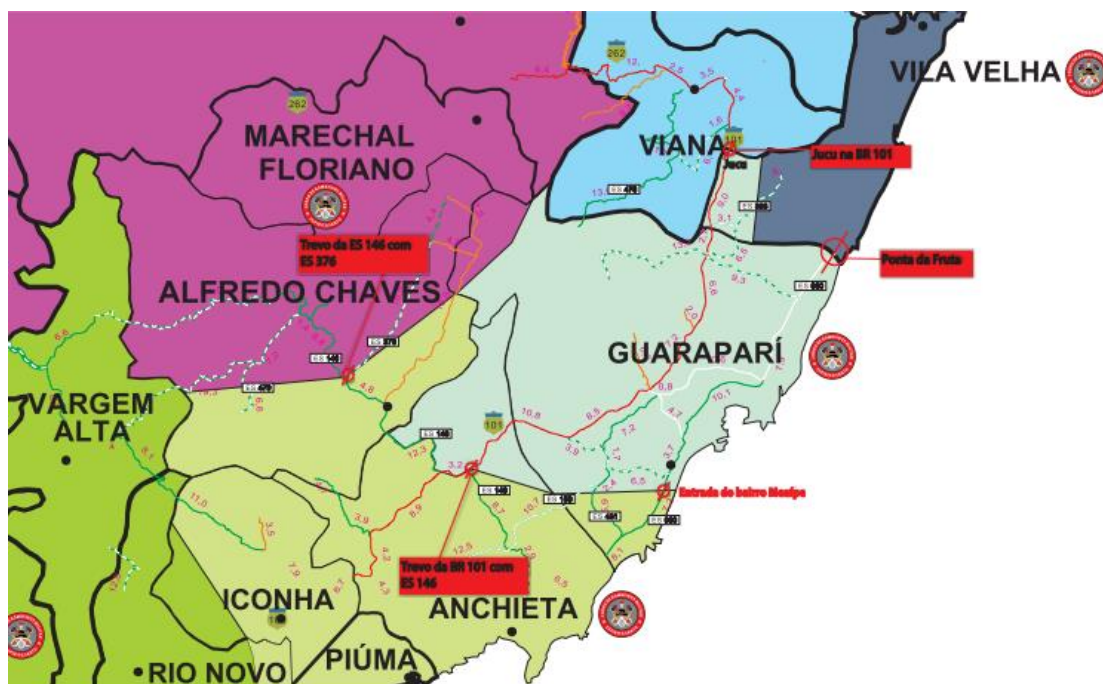
ANEXO A –
ARTICULAÇÃO OPERACIONAL DAS UNIDADES DO ESTUDO

Figura 28 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Aracruz



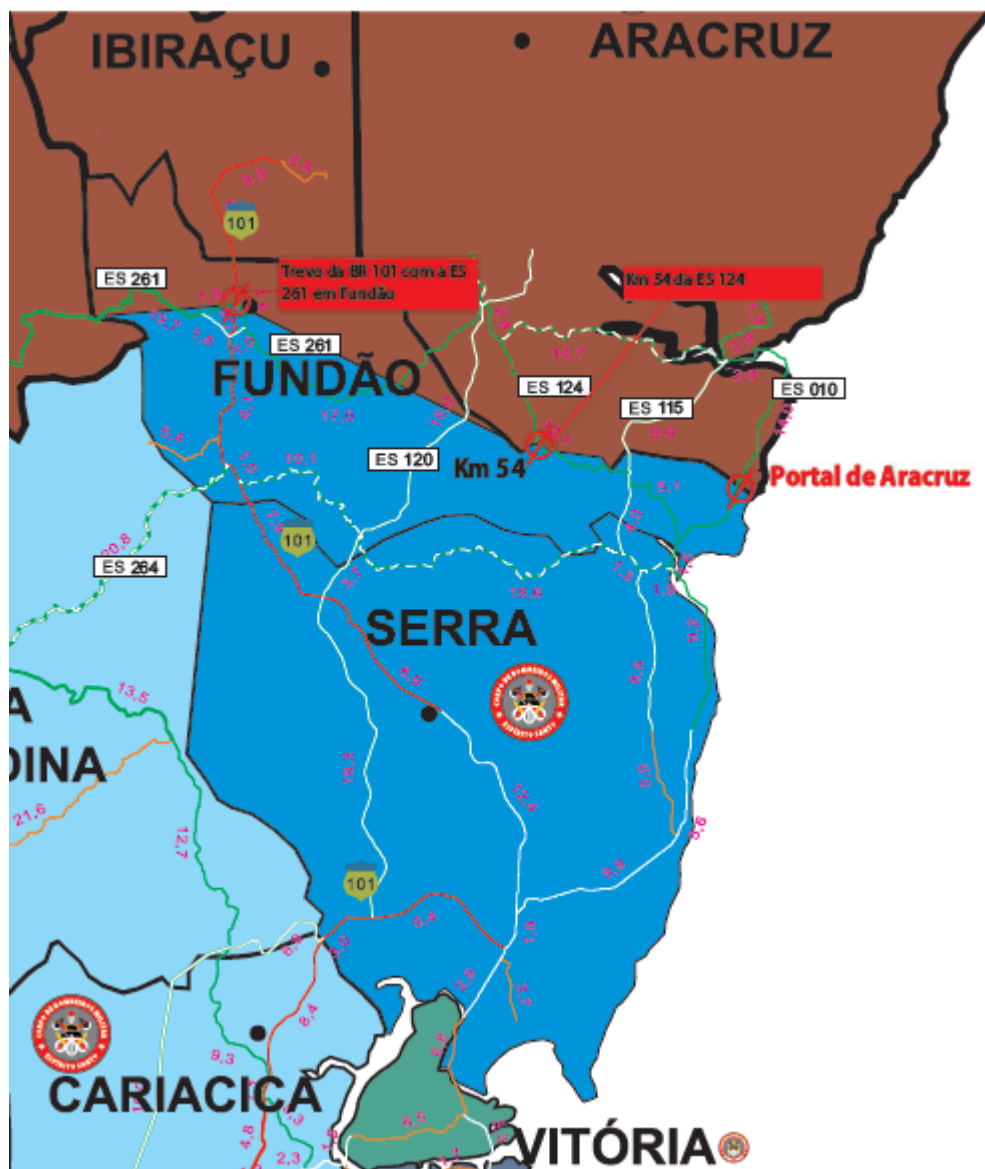
Fonte: CBMES (2019).

Figura 30 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Guarapari



Fonte: CBMES (2019).

Figura 31 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Serra



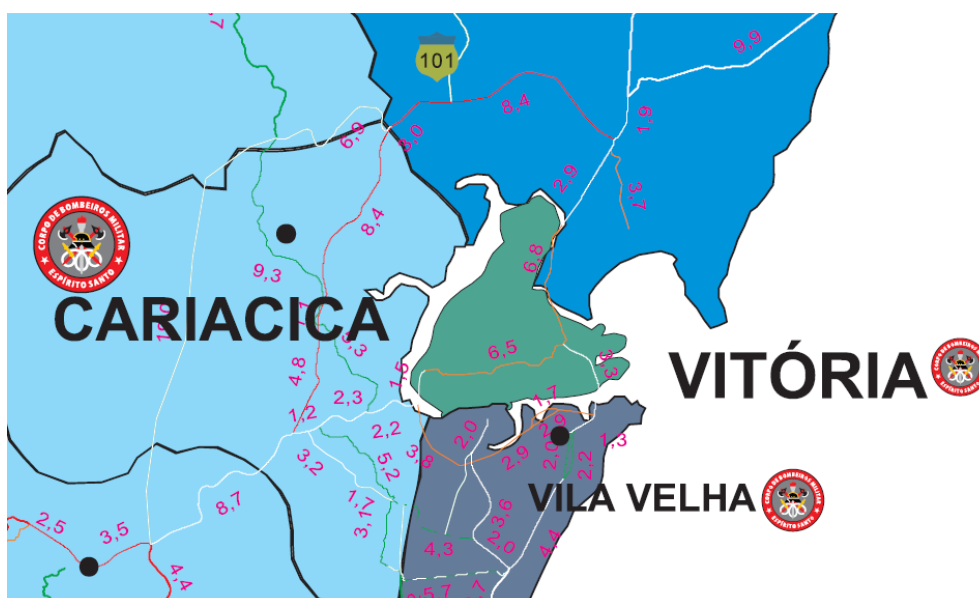
Fonte: CBMES (2019).

Figura 32 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Vila Velha



Fonte: CBMES (2019).

Figura 33 - Articulação operacional da unidade sediada no município de Vitória



Fonte: CBMES (2019).