

SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA CIVIL  
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO  
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR DOM PEDRO II

## CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS

AUTORES: **Valquíria** Maria de Oliveira **Figueirêdo** Pavan – Cad BM  
Rafael **Ramalho** Santos – Cad BM

ORIENTADOR: Hudson **Provier** da Silva Junior – 2º Ten BM

# MODELAGEM PREDITIVA DE TEMPO RESPOSTA EM EVENTOS DE COMBATE A INCÊNDIOS DO CBA I – CAPITAL: UMA PROPOSTA GEORREFERENCIADA



Rio de Janeiro  
2024

AUTORES: **Valquíria** Maria de Oliveira **Figueirêdo** Pavan – Cad BM  
Rafael **Ramalho** Santos – Cad BM

MODELAGEM PREDITIVA DE TEMPO RESPOSTA EM EVENTOS DE  
COMBATE A INCÊNDIOS DO CBA I – CAPITAL: UMA PROPOSTA  
GEORREFERENCIADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência da disciplina de Metodologia da Pesquisa do Curso de Formação de Oficiais da Academia de Bombeiro Militar Dom Pedro II.

ORIENTADOR: Hudson **Provier** da Silva Junior  
- 2º Ten BM QOC/20

Rio de Janeiro  
2024

**SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA CIVIL  
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO  
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR DOM PEDRO II  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

AUTORES: **Valquíria** Maria de Oliveira **Figueirêdo** Pavan – Cad BM e Rafael **Ramalho** Santos – Cad BM

TÍTULO: MODELAGEM PREDITIVA DE TEMPO RESPOSTA EM EVENTOS DE COMBATE A INCÊNDIOS DO CBA I – CAPITAL: UMA PROPOSTA GEORREFERENCIADA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2024

Banca de Avaliação

---

Presidente

---

Avaliador 1

---

Avaliador 2

TÍTULO: Modelagem preditiva de tempo resposta em eventos de combates a incêndios do CBA I – Capital: uma proposta georreferenciada.

## RESUMO

**INTRODUÇÃO:** A presteza e agilidade nos atendimentos de emergência prestados pelos corpos de bombeiros são considerados essenciais para a obtenção de bons resultados operacionais. Neste sentido, o tempo-resposta aos incêndios urbanos é fator de sucesso para a salvaguarda de vida e patrimônio, em que pese poder ser impactado por diversas variáveis em cada contexto. O presente estudo investigou a relação entre o tempo estimado e o tempo registrado de deslocamento em operações de combate a incêndio urbano em quartéis da capital do Estado do Rio de Janeiro, no ano de 2023. **MÉTODOS:** Foram extraídos registros das localizações de incêndios em doze quartéis da capital através do Sistema de Gestão de Operações (SisGeO/CBMERJ) e calculados os tempos mínimos estimados de deslocamento através do software QGIS. Foi aplicada uma regressão linear simples, onde o tempo estimado (T-QGIS) foi considerado como variável independente, e o tempo real registrado (T-SisGeO) foi a variável dependente ( $p < 0,05$ ). **RESULTADOS:** A análise indicou que, embora o modelo preditivo de T-QGIS tenha mostrado uma relação significativa com T-SisGeo, o grau de explicação do modelo variou entre quartéis, com coeficientes de determinação ajustados ( $R^2$ ) variando de 0,384 a 0,692. Os resultados indicam que o tempo estimado é um preditor relevante do tempo real de deslocamento, especialmente em quartéis com maiores  $R^2$ . No entanto, observou-se que fatores não modelados, como condições de trânsito e operacionais, também influenciam de forma significativa os tempos de resposta, sugerindo a necessidade de uma modelagem mais abrangente, que inclua fatores-alvos de medidas administrativas potenciais. **CONCLUSÃO:** Conclui-se que o uso de ferramentas de georreferenciamento, como o T-QGIS, é uma estratégia eficaz para a previsão dos tempos de resposta, mas é necessário incluir mais variáveis contextuais para melhorar a precisão e apontar para variáveis modificáveis. Estudos futuros devem explorar a inclusão de fatores sazonais e operacionais e considerar a realização de análises longitudinais para avaliar a evolução dos tempos de resposta em cada contexto.

Palavras-chave: Gestão Estratégica; Geolocalização; Incêndio Urbano; Regressão Linear; Registro de Eventos.

TITLE: Predictive modeling of response time in fire fighting events of CBA I – Capital: a georeferenced proposal.

## ABSTRACT

**INTRODUCTION:** The promptness and agility in emergency responses provided by fire departments are considered essential for achieving good operational results. In this regard, response time to urban fires is a key factor in safeguarding life and property, although it can be impacted by various variables in each context. The present study investigated the relationship between estimated and recorded travel times in urban fire response operations in fire stations of the capital of the State of Rio de Janeiro in 2023. **METHODS:** Records of fire locations were extracted from twelve fire stations in the capital using the Operational Management System (SisGeo/CBMERJ), and the minimum estimated travel times were calculated using QGIS software. A simple linear regression was applied, where the estimated time (T-QGIS) was considered the independent variable, and the actual recorded time (T-SisGeo) was the dependent variable ( $p < 0.05$ ). **RESULTS:** The analysis indicated that, although the predictive model for T-QGIS showed a significant relationship with T-SisGeo, the model's explanatory power varied between stations, with adjusted determination coefficients ( $R^2$ ) ranging from 0.384 to 0.692. The results suggest that estimated time is a relevant predictor of actual travel time, especially in stations with higher  $R^2$  values. However, it was observed that non-modeled factors, such as traffic and operational conditions, also significantly influence response times, suggesting the need for a more comprehensive model that includes factors targeted for potential administrative measures. **CONCLUSION:** It is concluded that the use of georeferencing tools, such as T-QGIS, is an effective strategy for predicting response times, but it is necessary to include more contextual variables to improve accuracy and identify modifiable factors. Future studies should explore the inclusion of seasonal and operational factors and consider conducting longitudinal analyses to assess the evolution of response times in each context.

**Keywords:** Strategic Management; Geolocation; Urban Fire; Linear Regression; Event Logging.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Campinho - 8º GBM.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Jacarepaguá - 12º GBM.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Campo Grande - 13º GBM .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4 Realengo – 25º GBM .....</b>	<b>17</b>
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>23</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>24</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Alinhado com o que prevê a Carta Magna que é nossa Constituição Federal, os Corpos de Bombeiros Militar do nosso país possuem a missão constitucional de preservação da ordem pública, da incolumidade das pessoas e do patrimônio, sendo também de sua atribuição a execução das atividades de defesa civil (BRASIL, 1988). Dentre as diversas ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ), os incêndios urbanos destacam-se pela sua complexidade e pelo impacto potencial à segurança pública e estes eventos exigem uma resposta rápida e eficaz para minimizar danos e salvar vidas.

Ao analisar os eventos relacionados a incêndio no ano de 2023 que constam no Anuário disponibilizado pela Corporação, os militares do CBMERJ foram acionados para 36.970 ocorrências, distribuídas pelos subtipos Fogo em Vegetação (11.037 acionamentos), Fogo em Veículo (3.360), Fogo em Via Pública (13.869) e Fogo em Edificações (8.704), sendo o alvo do estudo o percentual de incêndios em edificações, incluindo prédios residenciais, comerciais, públicos ou privados, que se manteve em aproximadamente 23% do total de combates a incêndios realizados pelo CBMERJ (CBMERJ, 2023). Ainda no Anuário consta a informação que a capital fluminense, atendida principalmente pelo Comando de Bombeiros de Área (CBA) I - Capital e pelo Comando de Bombeiros de Área (CBA) VIII - Atividades Especializadas, foi região com maior quantidade de casos de incêndios, fato esse que motivou o enfoque deste trabalho no conjunto de unidades subordinadas ao CBA I.

Compreender as características específicas dos incêndios urbanos é essencial para a elaboração de estratégias que garantam uma resposta eficiente. Esses eventos apresentam desafios únicos, como a rápida propagação do fogo e a presença de pessoas em risco, o que exige um tempo-resposta adequado para que a ação dos bombeiros ocorra o mais próximo possível da fase inicial do incêndio. O fenômeno do flashover, que ocorre entre o final da fase crescente e o início da fase totalmente desenvolvida do fogo, costuma acontecer em até 10 minutos após o início das chamas, frequentemente antes da chegada dos bombeiros (CBMERJ, 2017, p. 379).

De acordo com a ABNT NBR 15219 (2020), em incêndios estruturais que ocorrem em compartimentos não ventilados de edificações residenciais ou comerciais com até 3 metros de altura, é essencial um atendimento rápido para minimizar os danos. O flashover, ou ponto de combustão total, pode ocorrer em cerca de 8 minutos, momento em que a destruição pode atingir mais de 50% da propriedade. Após 10 minutos, caso medidas de controle não sejam adotadas, a propagação das chamas e o aumento da temperatura podem levar à destruição de mais de 90% do local (ABNT, 2020).

No Planejamento Estratégico do CBMERJ para o biênio 2022-2023, a Corporação tem como ação estratégica a redução do tempo-resposta na atuação operacional desenvolvendo os indicadores corporativos de tempo de processamento interno da informação, tempo de acionamento, tempo de deslocamento e liberação para novos eventos com o objetivo de oferecer um serviço eficiente e eficaz à população fluminense, executando suas atividades com efetividade, qualidade e comprometimento. Além disso, busca-se reduzir o impacto do tráfego urbano no tempo-resposta, aprimorar processos e protocolos nas Central 193 e nas Subseção de Comunicação (SsCO) das Unidades de Bombeiro Militar (UBM) (CBMERJ, 2021).

O Sistema de Gestão de Operações (SisGeO) foi implementado pelo CBMERJ em 2018, sob a gestão da Diretoria-Geral de Comando e Controle Operacional (DGCCO), ainda como um teste que veio a se tornar uma realidade no contexto gerencial da Corporação, seus principais objetivos incluem a automação das atividades diárias e o controle operacional por meio do monitoramento em tempo real de diversas operações. É uma ferramenta de gestão integrada, capaz de unir informações e recursos, além de auxiliar na tomada de decisões em tempo real, permitindo uma abordagem coordenada e estratégica para emergências, contendo informações como mapas temais de ocorrências, monitoramento de viaturas, dashboards com gráficos em tempo real (CBMERJ, 2023).

O fluxo de atendimento de um chamado de emergência no CBMERJ começa quando o cidadão disca o tri dígito 193, sendo imediatamente direcionado a um atendente no Centro de Operações do Corpo de Bombeiros (COCB). O operador realiza a triagem e processamento interno das informações no sistema de despacho do CBMERJ chamado OnCall, despachando o socorro à Organização de Bombeiro Militar (OBM) mais próxima, através do sistema por meio das opções que ele oferece ao analisar o local do sinistro, mantendo contato com a Subseção de Comunicação (SsCo) do quartel. O COCB, em tempo real, supervisiona todas as etapas do socorro: aviso, despacho, deslocamento, chegada ao local, apoio a ocorrência, regresso do socorro, chegada à OBM e encerramento da ocorrência no sistema; e a atuação inclui o uso do sistema SisGeO, que gerenciam o posicionamento e o status das viaturas via Global Positioning System (GPS), crucial para o acompanhamento e otimização do deslocamento e resposta das equipes no campo.

Vale destacar que, embora as etapas que ocorrem entre a criação do evento e o deslocamento sejam importantes, este trabalho tem o enfoque no tempo de deslocamento aferido no SisGeO como o principal fator limitante para a eficácia da atuação, sendo um indicador importante para medir o desempenho dos atendimentos, conforme Norma Operacional do Corpo de Bombeiros Militar de Goiás (2023), define-se como tempo de deslocamento o intervalo entre empenho de viatura e horário de chegada ao local. Uma vez gerados os dados referentes ao tipo de

evento, endereço, tempo de resposta da ocorrência e quartel responsável pelo atendimento, é possível integrá-los ao contexto geoespacial utilizando coordenadas (X, Y) obtidas em campo por meio de equipamentos de GPS ou a partir de informações topográficas previamente cadastradas no SisGeO. A partir disso, é possível analisar a distância entre o evento e a UBM (Unidade de Bombeiro Militar) utilizando o software QGIS (Quantum Geographic System Information), uma ferramenta computacional que permite calcular o tempo estimado de deslocamento.

Com a integração do plugin ORS Tools (Open Route Service Tools), os cálculos de rota são realizados com base na API do Open Route Service (ORS), que utiliza dados do Open Street Map (OSM). O deslocamento/rota é calculado considerando as principais vias, rodovias e ruas mapeadas, assumindo o uso de um carro de passeio. As rotas são determinadas de acordo com as melhores vias disponíveis, sem a interferência de dados de tráfego em tempo real, e utilizam a velocidade média esperada para cada tipo de via com base nos dados do OSM. O objetivo é fornecer parâmetros que auxiliem na otimização das operações da corporação, contribuindo para a melhoria contínua dos serviços prestados à população (QGIS, 2024).

Neste contexto, de acordo com Henriques (2011), a metodologia de regressão linear simples surge como uma ferramenta estatística valiosa para analisar o “grau” de relacionamento entre duas variáveis e fazer previsões, desde que haja uma correlação significativa entre as variáveis envolvidas e que condições essenciais sejam atendidas para que os resultados válidos e confiáveis. Através desta abordagem, é possível identificar padrões e determinar um tempo-resposta de referência, adaptado à realidade operacional do CBMERJ na capital do Estado.

Entende-se que medidas de tendência central, em que pese sejam referências comuns para análises de dados operacionais, não são claras suficientemente para o estudo do tempo-resposta dos atendimentos de emergência prestados pelo CBMERJ, já que os eventos possuem basicamente a variação do local de ocorrência, dentre outros fatores. Desta forma, estima-se que uma base de referência para estabelecer um tempo de deslocamento a ser almejado pode ser obtida através do tempo indicado por softwares como o QGIS. Os lapsos temporais além desta perspectiva tendem a ser resultado da influência de outras variáveis, que podem ser estudadas caso a caso.

Diante da necessidade de estabelecer uma referência direta para o tempo-resposta, este estudo analisou os tempos de deslocamento em operações de combate a incêndio urbano nos quartéis do CBA I – Capital, de janeiro a dezembro de 2023. O tema é relevante no complexo contexto urbano da capital fluminense, onde fatores geográficos, demográficos, econômicos e sociais influenciam a gestão dos serviços públicos, tornando essencial uma análise operacional que identifique padrões e tempos de resposta ideais para cada área.

## 2. MÉTODOS

Foi realizada uma pesquisa exploratória, de natureza aplicada e abordagem quantitativa, buscando analisar o tempo desde o início do deslocamento da viatura até a chegada no local de socorro, entendido como “tempo de deslocamento” obtido por meio do SisGeO e sua relação com o tempo estimado encontrado ao lançar a coordenada do local do evento no Software QGIS, que realiza o cálculo da melhor rota de chegada, verificando a correlação entre esses dois dados e a possibilidade de prever um padrão de tempo resposta.

Através do SisGeO, foram extraídos e compilados os seguintes dados: número do evento, data do evento, o GBM que prestou atendimento, o tempo de deslocamento real (T-SisGeO) e as coordenadas do local. Através das coordenadas, foram estimados os tempos de deslocamento ideal (T-QGIS), utilizado o software QGIS (Geographic System Information), Versão 3.38.3, sendo agrupados por ordem crescente de tempo em relação ao T-SisGeO, para facilitar a análise posterior.

Pelo caráter metodológico da pesquisa, foram trabalhados dados que não contêm informações pessoais de vítimas ou de outros envolvidos, o que elimina a necessidade de obtenção de consentimento dos participantes ou assinatura de termo de consentimento livre e esclarecido. Após a finalização do estudo, os resultados serão avaliados por instâncias superiores, por questões éticas, antes de serem divulgados.

A amostra escolhida foi a área do CBA I, que corresponde à capital e conta com uma área operacional que abrange a região de maior fluxo de eventos do Estado. Neste estudo utilizaremos os dados dos Grupamentos de Bombeiro Militar, sendo eles: Grupamento Operacional do Comando Geral (Centro), 1º GBM (Humaitá), 2º GBM (Méier), 8º GBM (Campinho), 11º GBM (Vila Isabel), 12º GBM (Jacarepaguá), 13º GBM (Campo Grande), 17º GBM (Copacabana), 19º GBM (Ilha do Governador), 24º GBM (Irajá), 25º GBM (Realengo) e 28º GBM (Penha).

O estudo analisou um total de 2.065 eventos de incêndio registrados no período de 1º de janeiro até 31 de dezembro de 2023. As ocorrências foram separadas por unidades para facilitar a análise subsequente, sendo os quartéis de Campinho (8º GBM), Jacarepaguá (12º GBM), Campo Grande (13º GBM) e Realengo (25º GBM), os GBMs que mais realizaram socorros relacionados a incêndios. Assim, foram selecionados os 4 quartéis com maior frequência dos eventos de incêndio entre as doze unidades que compõem a amostra inicial. Os quatro quartéis mencionados são responsáveis por um percentual significativo (48,38%) do total de ocorrências de incêndios atendidas. Isso sugere que essas unidades são algumas das mais ativas ou que lidam com uma maior quantidade de incidentes em comparação com os outros quartéis da região, sendo relevante para entender a distribuição das ocorrências, conforme a Tabela 1:

**TABELA 1 – DISTRIBUIÇÃO DE EVENTOS POR GBM**

<b>Unidades</b>	<b>Ocorrências</b>	<b>Percentual unidade (%)</b>
<b>GOCG Central</b>	155	7,51
<b>1º GBM Humaitá</b>	94	4,55
<b>2º GBM Méier</b>	203	9,83
<b>8º GBM Campinho</b>	218	10,56
<b>11º GBM Vila Isabel</b>	94	4,55
<b>12º GBM Jacarepaguá</b>	209	10,12
<b>13º GBM Campo Grande</b>	258	12,49
<b>17º GBM Copacabana</b>	145	7,02
<b>19º GBM Ilha do Governador</b>	101	4,89
<b>24º GBM Irajá</b>	151	7,31
<b>25º GBM Realengo</b>	314	15,21
<b>28º GBM Penha</b>	123	5,96
<b>Total</b>	<b>2065</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Os autores;

Legenda: Análise percentual dos dados extraídos do SisGeO relativas ao ano de 2023.

Os critérios de inclusão foram as ocorrências registradas no SisGeO, sendo considerados apenas eventos com dados completos no sistema e o tipo de evento definido como “incêndio” englobando todos os subtipos de incêndio. Durante a fase de filtragem dos dados, foram retirados os eventos que não possuíam data de chegada ou data de deslocamento, bem como os eventos classificados como falso aviso, trote, eventos duplos, solicitante que desistiu do atendimento ou evento cancelado, eventos de apoio operacional foram mantidos. Além disso, foram removidos os outliers que possuíam deslocamento igual a zero devido a possível erro de registro, bem como os tempos de deslocamento abaixo de 60 segundos. Conforme a Tabela 2, os dados após a filtragem são:

**TABELA 2 – FILTRAGEM DOS DADOS**

<b>Unidades</b>	<b>Dados não tratados</b>	<b>Dados após filtragem</b>
<b>8º GBM Campinho</b>	218	137
<b>12º GBM Jacarepaguá</b>	209	129
<b>13º GBM Campo Grande</b>	258	169
<b>25º GBM Realengo</b>	314	208
<b>Total</b>	<b>999</b>	<b>643</b>

Fonte: Os autores.

Legenda: Quantitativo de eventos após a limpeza dos dados do SisGeO.

Os outliers e os registros com maiores discrepâncias (no último quartil das diferenças entre os tempos dos sistemas T-SisGeO e T-QGIS) foram removidos para corrigir possíveis erros e obter uma distribuição de dados mais suave e representativa.

Os dados foram então submetidos a uma análise de regressão linear simples considerando T-SisGeO (tempo de deslocamento registrado no SisGeO) como variável dependente e T-QGIS (tempo mínimo de deslocamento entre o quartel e o local do evento) como variável independente.

A fórmula da regressão linear simples, conforme exposta no parágrafo, é representada da seguinte forma:

$$y = ax + b$$

Onde:  $y$  denota o T-SisGeO (tempo de deslocamento registrado no SisGeO);  $x$  designa o T-QGIS (tempo mínimo de deslocamento entre o quartel e o local do evento);  $a$  é o coeficiente angular da regressão; e  $b$  representa o intercepto da regressão.

O nível de significância de referência adotado foi de 95% ( $p < 0,05$ ). Desta forma, este estudo analisou a relação entre o tempo de deslocamento padrão, obtido pelo QGIS, dada a localização dos eventos de incêndio urbano dos quartéis que estão distribuídos na área operacional do CBA I - Capital e o tempo de deslocamento real obtido pelos dados do SisGeO. Tal comparação possibilita entender a correlação entre os dois tempos, produzindo diagramas de dispersão visando estabelecer um tempo-resposta ideal para ocorrências de incêndio dentro da área estabelecida.

### 3. RESULTADOS

Os dados fornecidos representam os subsídios para uma análise de regressão linear, onde a variável T-QGIS é usada para prever uma variável dependente, o tempo de deslocamento real.

O  $R^2$  ajustado representa o quão bem o modelo de regressão linear explica a variabilidade dos dados, ajustado pelo número de variáveis independentes usadas no modelo. Valores próximos de 1 indicam um bom ajuste, ou seja, o tempo de deslocamento real é explicada pelas variáveis independentes, ajustando para o número de variáveis no modelo, que neste caso é a variável tempo de deslocamento mínimo estimado obtida pelo QGIS.

O valor da estatística F, que mede a relação entre a variabilidade explicada pelo modelo e a variabilidade não explicada. Se o valor de F for alto, significa que o modelo explica significativamente a variação nos dados. O p-valor associado ao F testa a hipótese de que o modelo não tem valor explicativo; um p-valor baixo ( $p < 0,05$ ) indica que o modelo é estatisticamente significativo, ou seja, a variável associada a ele tem um impacto relevante na explicação da variável dependente. O desvio padrão (DP) indica o quão dispersos esses dados estão em torno da média, um desvio padrão maior significa maior variabilidade. Para uma análise inicial, temos a Tabela 3 a seguir:

**TABELA 3 – PARÂMETROS DOS GBMs**

<b>Unidades</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Média (s)</b>	<b>DP(s)</b>	<b>Resíduo (s)</b>
<b>1º GBM Humaitá</b>	0,889	0,786	202,72	< 0,001	426,554	154,53	79,756
<b>2º GBM Méier</b>	0,807	0,648	236,72	< 0,001	567,225	176,44	129,238
<b>8º GBM Campinho</b>	0,626	0,387	86,977	< 0,001	587,095	134,47	167,540
<b>11º GBM Vila Isabel</b>	0,709	0,493	53,591	< 0,001	503,727	123,06	122,385
<b>12º GBM Jacarepaguá</b>	0,833	0,692	288,23	< 0,001	815,698	241,79	160,502
<b>13º GBM Campo Grande</b>	0,0872	0,384	105,59	< 0,001	1.010,219	224,01	281,717
<b>17º GBM Copacabana</b>	0,599	0,353	54,939	< 0,001	394,920	76,302	101,907
<b>19º GBM Ilha do Governador</b>	0,603	0,353	35,335	< 0,001	536,125	95,040	125,893
<b>24º GBM Irajá</b>	0,631	0,393	68,315	< 0,001	788,105	169,9	208,682
<b>25º GBM Realengo</b>	0,671	0,448	168,7	< 0,001	918,452	221,5	244,801
<b>28º GBM Penha</b>	0,708	0,494	79,182	< 0,001	741,519	205,631	205,395
<b>QOCG Central</b>	0,629	0,390	66,903	< 0,001	536,942	149,404	184,476

Fonte: Os autores.

Legenda: R: Correlação entre tempo estimado e real;  $R^2$  ajustado: Percentual de variação explicada.

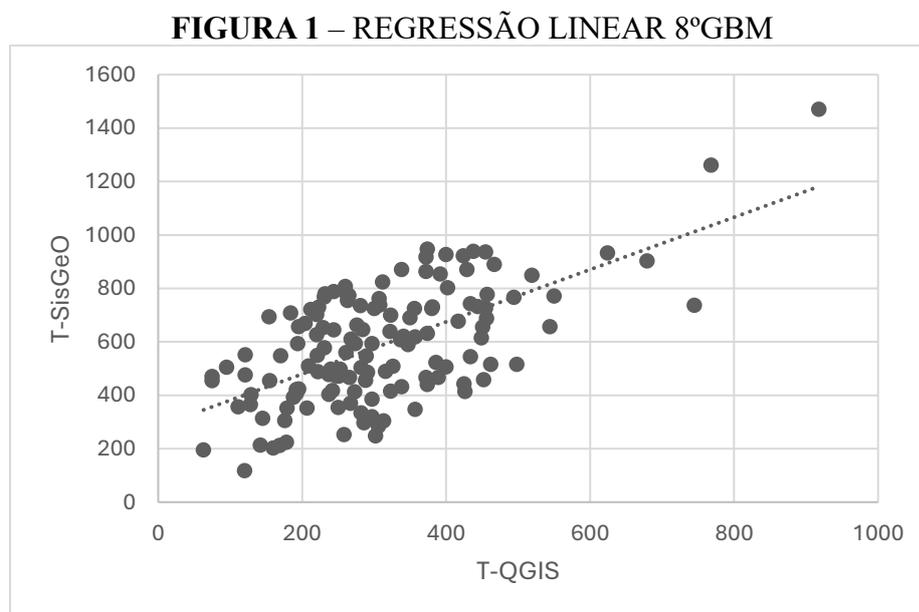
F: Significância do modelo; p-valor: Significância estatística; Média (s): Média dos tempos reais em segundos; DP (s): Desvio padrão dos tempos reais em segundos; Resíduo (s): Diferença média entre tempos estimado e real em segundos.

Com base nas análises realizadas, os quartéis que apresentaram o melhor ajuste ao modelo foram o 1º GBM Humaitá, com 78,6%, seguido pelo 12º GBM Jacarepaguá, com 69,2%, e o 2º GBM Méier, com 64,8%. Em contrapartida, os ajustes mais fracos foram observados no 17º GBM Copacabana e no 19º GBM Ilha do Governador, ambos com 35,3%, e no 13º GBM Campo Grande, que alcançou 34,8%.

No entanto, a análise estatística aprofundada focará nos quatro quartéis inicialmente escolhidos para este estudo, devido ao seu maior espaço amostral: 8º GBM Campinho, 13º GBM Campo Grande, 12º GBM Jacarepaguá e 25º GBM Realengo.

### 3.1 Campinho - 8º GBM

A análise dos dados do 8º GBM com base no modelo de regressão linear revela uma relação significativa entre o tempo estimado de deslocamento pelo T-QGIS e o tempo real de deslocamento registrado no T-SisGeO. O modelo, que inclui a variável T-QGIS, apresenta um valor de  $R^2$  ajustado de 0,387, indicando que aproximadamente 38,7% da variação no tempo de deslocamento real pode ser explicada pelo tempo estimado fornecido pelo T-QGIS. Esse valor sugere uma correlação moderada entre as duas variáveis, o que implica que, embora exista uma relação significativa, há uma parte considerável da variabilidade que ainda não é explicada pelo modelo, apontando para a necessidade de investigar outros fatores que possam influenciar os tempos de resposta.



Fonte: Os autores.

A equação da regressão linear resultante do modelo é dada por:

$$T\text{-SisGeo} = 283,508 + 0,978 \cdot T\text{-QGIS}$$

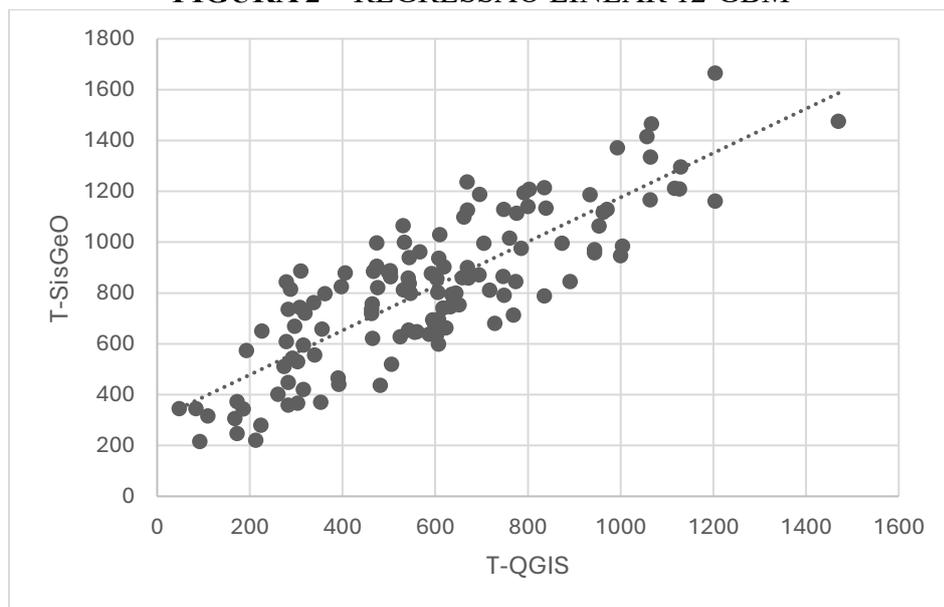
Essa equação indica que, para cada unidade adicional de aumento no T-QGIS, espera-se que o T-SisGeo aumente em 0,978 unidades. O coeficiente de 0,978 demonstra uma forte associação positiva entre o tempo estimado de deslocamento e o tempo real, o que confirma a relevância do tempo estimado no cálculo do tempo real.

Além disso, a análise de variância para o modelo apresentou um valor F de 86,977, com um valor  $p < 0,001$ , confirmando que o modelo é estatisticamente significativo. Isso sugere que a inclusão de T-QGIS no modelo melhora significativamente a capacidade preditiva. Em termos de resíduos, o modelo apresentou uma amplitude de resíduos de -330,975 a 297,582, com um desvio padrão de 167,540, sugerindo que, embora o modelo seja útil na previsão, ainda há uma variação significativa não explicada.

### 3.2 Jacarepaguá - 12º GBM

A análise dos dados do 12ºGBM com base no modelo de regressão linear aponta uma relação significativa entre o tempo estimado de deslocamento pelo T-QGIS e o tempo real registrado no sistema T-SisGeo. O modelo, que inclui a variável T-QGIS, apresentou um  $R^2$  ajustado de 0,692, o que indica que cerca de 69,2% da variação no tempo real de deslocamento pode ser explicada pelo tempo estimado T-QGIS. Esse alto valor de  $R^2$  ajustado demonstra uma forte correlação entre as variáveis, sugerindo que o modelo captura bem a relação entre o tempo previsto e o tempo efetivo de deslocamento.

**FIGURA 2 – REGRESSÃO LINEAR 12ºGBM**



Fonte: Os autores.

A equação da regressão linear gerada a partir do modelo é:

$$T\text{-SisGeo} = 303,746 + 0,872 \cdot T\text{-QGIS}$$

Isso significa que, para cada aumento de uma unidade no T-QGIS, espera-se que o T-SisGeo aumente em 0,872 unidades. O coeficiente de 0,872, associado ao T-QGIS, indica uma forte relação positiva entre o tempo estimado e o tempo real, reforçando que, quanto maior o valor estimado pelo T-QGIS, maior o tempo de deslocamento efetivo registrado.

O valor de F do modelo é de 288,233, com um  $p < 0,001$ , o que demonstra que o modelo é altamente significativo. Isso indica que o uso do T-QGIS como preditor tem um impacto estatisticamente relevante no tempo de deslocamento real, superando significativamente o modelo nulo, que não explicou nenhuma variação  $R^2$  igual a zero.

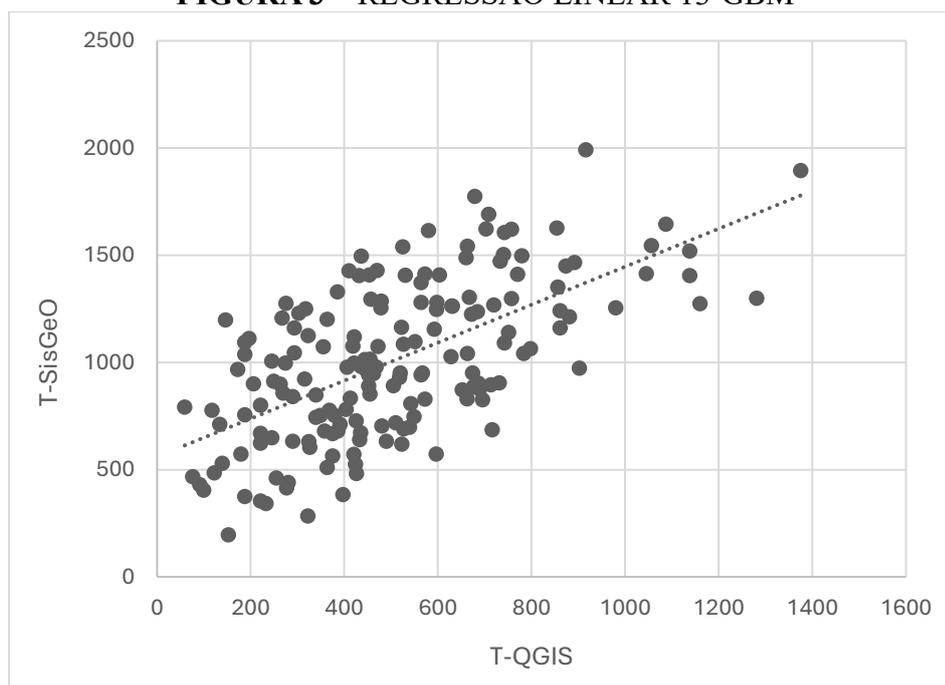
Os resíduos variam de -287,200 a 348,678, com um desvio padrão de 160,502, o que indica que, embora o modelo explique grande parte da variação no tempo de deslocamento, ainda há uma variação considerável que não é capturada. Isso pode ser explicado por fatores externos, como condições de trânsito ou situações operacionais específicas, que influenciam o tempo de deslocamento e não estão refletidos no T-QGIS.

Em suma, a equação  $T\text{-SisGeo} = 303,746 + 0,872 \cdot T\text{-QGIS}$  demonstra que o tempo estimado T-QGIS é um preditor altamente significativo do tempo de deslocamento real no 12º GBM, explicando uma grande parte da variação observada, embora ainda haja fatores não modelados que influenciam os tempos de resposta 12ºGBM.

### **3.3 Campo Grande - 13º GBM**

A análise dos dados do 13º GBM com base no modelo de regressão linear indica uma relação significativa entre o tempo estimado pelo T-QGIS e o tempo real de deslocamento registrado no T-SisGeo. O modelo  $M_1$ , que inclui a variável T-QGIS, apresentou um  $R^2$  ajustado de 0,384, o que significa que 38,4% da variação no tempo de deslocamento real pode ser explicada pelo tempo estimado. Esse valor de  $R^2$  ajustado sugere uma correlação moderada entre as variáveis, indicando que o modelo captura parte significativa da relação entre o tempo estimado e o tempo real de deslocamento, mas ainda deixa espaço para variações não explicadas por essa única variável.

**FIGURA 3 – REGRESSÃO LINEAR 13°GBM**



Fonte: Os autores.

A equação da regressão linear obtida é:

$$T\text{-SisGeO} = 560,661 + 0,886 \cdot T\text{-QGIS}$$

Essa equação implica que, para cada aumento de uma unidade no T-QGIS, espera-se um aumento de 0,886 unidades no T-SisGeO. O coeficiente de 0,886 reflete uma forte correlação positiva entre o tempo estimado e o tempo real de deslocamento, confirmando que, quanto maior o tempo estimado pelo T-QGIS, maior o tempo registrado no T-SisGeO.

O valor de F do modelo é 105,594, com um  $p < 0,001$ , o que indica que o modelo é estatisticamente significativo. Isso sugere que a inclusão de T-QGIS melhora a capacidade preditiva do modelo em relação ao modelo nulo, que não explica nenhuma variação com um  $R^2$  de zero. Além disso, o intercepto do modelo é significativo ( $p < 0,001$ ), com um valor de 560,661, o que representa o tempo de deslocamento base quando o valor de T-QGIS é zero.

Os resíduos variam de -562,923 a 618,849, com um desvio padrão de 281,717, o que indica que ainda há uma variação considerável não explicada pelo modelo, sugerindo a influência de outros fatores não modelados. Os resíduos padronizados variam de -2,001 a 2,214, o que sugere a presença de alguns outliers, mas de forma geral, o modelo está bem ajustado para a maioria dos dados.

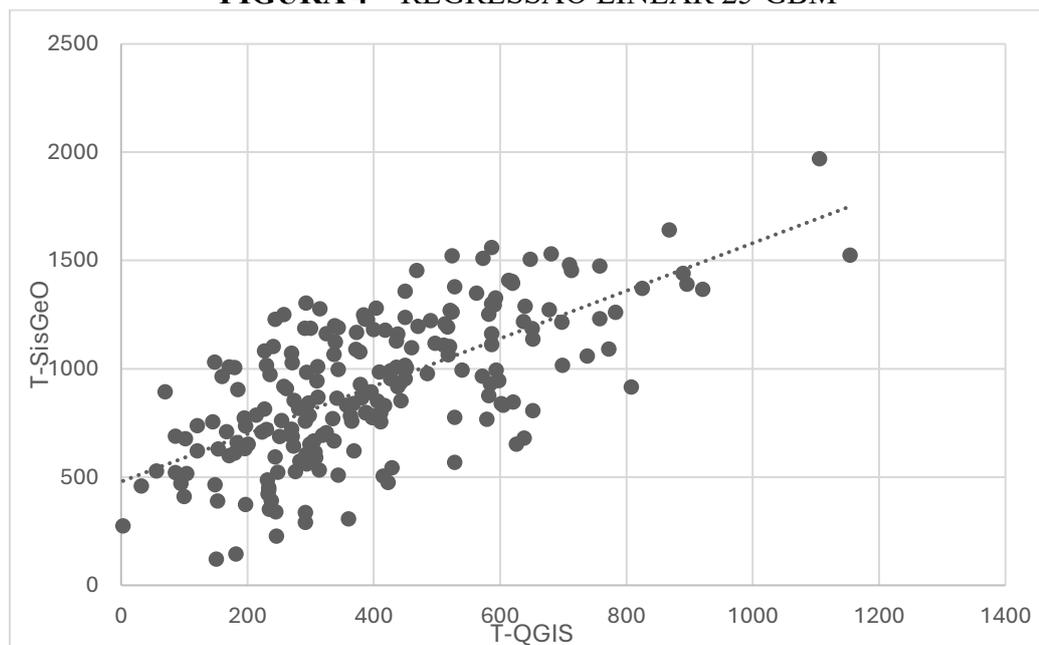
Em resumo, a equação  $T\text{-SisGeO} = 560,661 + 0,886 \cdot T\text{-QGIS}$  demonstra que o tempo estimado pelo T-QGIS é um preditor relevante e significativo do tempo real de deslocamento no

13º GBM, explicando uma parte considerável da variabilidade observada nos tempos de resposta. Contudo, a variação residual sugere que outros fatores podem estar influenciando os tempos de deslocamento que não foram contemplados no modelo 13ºGBM.

### 3.4 Realengo – 25º GBM

A análise dos dados do 25º GBM revela uma relação significativa entre o tempo estimado de deslocamento pelo T-QGIS e o tempo real de deslocamento registrado no T-SisGeo. O modelo de regressão linear que inclui a variável T-QGIS, identificado apresenta um  $R^2$  ajustado de 0,448, indicando que aproximadamente 44,8% da variação no tempo de deslocamento real pode ser explicada pelo tempo estimado pelo T-QGIS. Esse valor de  $R^2$  ajustado sugere uma correlação moderada entre as duas variáveis, indicando que o modelo é eficaz em capturar a relação entre o tempo estimado e o tempo real de deslocamento, embora ainda haja uma porção significativa da variação que não é explicada pelo modelo.

**FIGURA 4 – REGRESSÃO LINEAR 25ºGBM**



Fonte: Os autores.

A equação da regressão linear resultante é:

$$T-SisGeo = 478,781 + 1,101 \cdot T-QGIS$$

Isso significa que, para cada unidade adicional de aumento em T-QGIS, espera-se que o T-SisGeo aumente em 1,101 unidades. O coeficiente de 1,101 reflete uma relação positiva significativa entre o tempo estimado e o tempo real de deslocamento, confirmando que, quanto maior o tempo estimado pelo T-QGIS, maior será o tempo efetivo de deslocamento.

O modelo apresentou um valor de F de 168,741 e um valor  $p < 0,001$ , o que indica que a inclusão da variável T-QGIS no modelo tem um impacto estatisticamente significativo sobre o tempo real de deslocamento. Isso mostra que o modelo é adequado para prever o tempo real com base no tempo estimado. O valor do intercepto é de 478,781, que representa o tempo de deslocamento estimado quando o valor de T-QGIS é zero.

Os resíduos variam de -569,223 a 501,559, com um desvio padrão de 244,801, o que indica que, embora o modelo capture uma parte significativa da variação nos tempos de deslocamento, ainda há variabilidade não explicada. Essa variabilidade pode ser atribuída a outros fatores não considerados no modelo, como condições de trânsito, características operacionais ou outras variáveis contextuais que afetam os tempos de resposta.

Em resumo, a equação  $T\text{-SisGeo}=478,781+1,101\cdot T\text{-QGIS}$  demonstra que o tempo estimado pelo T-QGIS é um preditor significativo e relevante do tempo real de deslocamento no 25º GBM, explicando uma proporção considerável da variação observada. No entanto, a variabilidade residual sugere que fatores adicionais não modelados também afetam os tempos de resposta.

#### 4. DISCUSSÃO

A correlação entre os quartéis, com base no  $R^2$  ajustado e outros parâmetros fornecidos, sugere que há variações significativas no desempenho das estimativas de tempo de resposta entre diferentes quartéis, conforme a Tabela 4 a seguir:

**TABELA 4 – ESTATÍSTICA 8º, 12º, 13º E 25º GBMs**

Unidades	Eventos	T-S	T-Q	T-S≤T-Q	Regressão Linear
<b>8º GBM</b>	138	587,09	309,04	5,80%	$T-SisGeo=75,173+0,400 \cdot T-QGIS$
<b>12º GBM</b>	130	815,70	583,37	6,92%	$T-SisGeo = 560,661 + 0,886 \cdot T-QGIS$
<b>13º GBM</b>	170	1010,22	505,46	2,35%	$T-SisGeo = 65,731 + 0,437 \cdot T-QGIS$
<b>25º GBM</b>	209	918,45	398,34	2,39%	$T-SisGeo = 478,781 + 1,101 \cdot T-QGIS$

Fonte: Os autores.

Legenda: T-S=Tempo médio T-SisGeo; T-Q= Tempo médio T-QGIS; T-S≤T-Q significa o percentual de eventos em que o tempo real foi menor ou igual ao tempo estimado.

O  $R^2$  ajustado indica a proporção da variação explicada pelo modelo de regressão que inclui o T-QGIS, ou seja, o quanto o tempo estimado pelo sistema (T-QGIS) explica a variação no tempo real de deslocamento (T-SisGeo).

Em análise semelhante, considerando que o tempo-resposta compreende a soma dos tempos entre o despacho e saída da unidade e dos deslocamentos, os dados analisados do CBA I no mesmo período apontam que apenas 2,7% da variabilidade ( $R^2$  Ajustado = 0,027) é explicada pelo período entre o despacho e saída, cabendo os outros 97,3% ao deslocamento. Esse dado reforça a relevância das intervenções voltadas para otimizar o deslocamento, como destacado por Ferrari et al. (2019), onde a previsão da demanda de atendimentos é fortemente influenciada por variáveis relacionadas à velocidade das vias e características viárias; podendo auxiliar no planejamento estratégico, melhorando a alocação de recursos e a eficiência operacional dos serviços de emergência.

Os quartéis com maiores  $R^2$  ajustados, como o 25º GBM, que apresentou um  $R^2$  ajustado de 0,448, e o 12º GBM, com  $R^2$  ajustado de 0,692, demonstram que os modelos nesses quartéis explicam uma boa parte da variabilidade nos tempos de deslocamento. Isso significa que, para esses quartéis, o tempo estimado pelo T-QGIS é um preditor significativo do tempo real de deslocamento. Nesses casos, os coeficientes de regressão são próximos de 1, sugerindo uma forte correlação positiva entre o tempo estimado e o tempo real. Além disso, a análise revela que, nos casos em que a proporção de eventos com  $T-S \leq T-Q$  é alta (como no 12º GBM, com 6,92%), a precisão das estimativas é melhor, refletindo uma correlação mais forte entre o tempo estimado e o tempo real.

Em contraste, o 13º GBM, que apresentou um  $R^2$  ajustado mais baixo (0,384), indica que há mais variabilidade nos tempos de deslocamento que não pode ser explicada apenas pelo T-QGIS. Neste quartel, a porcentagem de eventos em que o tempo real foi menor ou igual ao tempo estimado é de apenas 2,35%, sugerindo que outros fatores, como condições de trânsito, trajeto ou operacionais, desempenham um papel mais importante na determinação do tempo de resposta. Estudos como o de Silva Junior e Silva (2023) corroboram esses achados, sugerindo que o uso de georreferenciamento permite identificar pontos críticos e propor ajustes para melhorar o desempenho dos tempos de resposta, principalmente nas unidades operacionais mais distantes dos eventos que tendem a apresentar uma menor eficiência em termos de tempo-resposta ideal, o que reforça a necessidade de considerar ajustes nas variáveis que afetam o deslocamento.

Em termos de implicações, essa análise indica que, apesar de o QGIS ser uma ferramenta valiosa para estimar os tempos de resposta, são necessários ajustes específicos para aumentar a precisão em alguns quartéis. Isso pode envolver a incorporação de variáveis contextuais adicionais, como o tipo de viatura, áreas operacionais que atendem locais de incêndio, características das rotas, variações sazonais no tráfego e até mesmo erros humanos, uma vez que as informações de GPS das viaturas ainda não estão completamente consolidadas. Essas nuances podem não ser adequadamente capturadas pelo modelo atual.

A variável tempo médio dos deslocamentos registrados no SisGeO, embora ofereça uma referência sobre os deslocamentos, não é o melhor parâmetro para avaliar a eficiência dos tempos de resposta. Essa métrica é influenciada diretamente pela distância de cada evento, havendo distinções significativas entre unidades, além de eventos atípicos que não refletem a realidade da maioria das ocorrências. Portanto, os resultados também ressaltam a importância de um aprimoramento contínuo das estimativas para otimizar os tempos de resposta em diferentes regiões. Segundo Dias (2020), destaca o uso de mapas isócronos como uma ferramenta eficaz para planejar o atendimento emergencial, permitindo identificar áreas críticas e ajustar o planejamento estratégico, o que reforça o uso de ferramentas combinadas para obtenção de uma predição mais precisa, que envolva um maior número de variáveis.

O tempo obtido através da regressão linear pode ser utilizado para calcular um tempo de resposta de referência para cada evento, uma vez que fornece uma estimativa baseada em dados históricos e nas tendências observadas nas variáveis envolvidas, como o tempo estimado por local. Essa abordagem oferece um parâmetro para determinação de metas para o aumento da eficiência, bem como de referência para identificar possíveis atrasos e intercorrências operacionais. tendo uma mais clara definição de indicador de desempenho. De acordo com Oliveira e Bosco (2022), alocar as viaturas de forma mais eficiente, é possível melhorar significativamente o tempo-resposta

para resgate, especialmente com o apoio do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU), visto a importância do deslocamento para eficiência do serviço.

Além disso, de acordo com o interesse de determinada unidade, os tempos de resposta gerados pela regressão linear podem fornecer insumos valiosos para a tomada de decisões estratégicas. Por exemplo, esses dados podem auxiliar na alocação eficiente de viaturas destacadas em horários e locais específicos, conforme revelado pela análise. De acordo com Oliveira e Bosco (2022), a redistribuição estratégica de viaturas, aliada ao apoio logístico, influencia significativamente a melhoria do tempo-resposta, contribuindo para a qualidade do serviço prestado. Além disso, a regressão pode indicar a viabilidade do uso de viaturas do tipo moto para atender a determinados tipos de eventos, otimizando assim a capacidade de resposta e a eficácia dos serviços prestados. Essa abordagem permite que as decisões sejam embasadas em análises quantitativas, melhorando a gestão operacional das equipes de socorro.

## 5. CONCLUSÃO

Por meio das análises realizadas, foi possível observar que QGIS o tempo estimado é um preditor relevante do tempo real de deslocamento em diferentes quartéis, o que reforça a relevância da utilização do T-QGIS na previsão dos tempos de resposta. Esse modelo permitiu uma compreensão mais clara das variáveis que afetam o tempo de resposta e, conseqüentemente, a eficiência operacional do Corpo de Bombeiros.

De forma geral, os resultados indicam que, embora o modelo de regressão linear explique uma parte significativa da variação no tempo de deslocamento, existem outros fatores contextuais, como condições de trânsito e operacionais, que não foram modelados e que podem influenciar o tempo de resposta. Isso foi especialmente evidente em quartéis onde o  $R^2$  ajustado foi menor, apontando a necessidade de ajustes e melhorias nas estimativas, dependendo das particularidades de cada área de atuação.

Dada a relevância destes achados, o desfecho obtido contribui de forma significativa para a melhoria dos processos operacionais do Corpo de Bombeiros, fornecendo um parâmetro para a otimização dos tempos de deslocamento e, conseqüentemente, da eficiência dos atendimentos. A integração do T-QGIS com outros indicadores podem ser uma estratégia valiosa para aperfeiçoar o gerenciamento das operações e para a criação de políticas de resposta mais eficazes.

Sugerimos que estudos futuros incluam uma análise mais aprofundada de variáveis contextuais, como o tipo de viatura, as condições das rotas e fatores sazonais que possam impactar os tempos de deslocamento. Além disso, recomenda-se a realização de uma abordagem longitudinal, que considere os tempos de resposta ao longo de diferentes períodos, para identificar padrões e tendências que possam melhorar ainda mais a previsão dos tempos de resposta e a eficácia das operações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15219: Plano de emergência contra incêndio. Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, Distrito Federal, 1988.

Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ). Manual Básico de Bombeiro Militar, Vol. 3, Tecnologia e Maneabilidade de Incêndios. Rio de Janeiro, 2017. p.379.

Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ). Plano Estratégico do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2021.

Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ). Anuário do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2023.

Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ). Centro de Operações do Corpo de Bombeiros. Disponível em: <https://www.cbmerj.rj.gov.br/sobre-o-cbmerj/unidade/unidades-operacionais/centro-de-operacoes-do-corpo-de-bombeiros-cocb/>. Acesso em: 14 set. 2024.

Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás (CBMGO). Norma Operacional nº 17. Goiânia, 2023.

Dias MVP. Relação entre mapas isócronos e indicadores de tempo resposta: um estudo da viabilidade técnica de atendimentos emergenciais do Comando de Área I alinhado ao indicador tempo resposta corporativo e à NFPA 1710. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2020.

Ferrari T, Pereira TF, Camara MVO, Ribeiro GM. Previsão de demanda para atendimentos de emergência relacionados a acidentes de trânsito em grandes cidades: um estudo de caso no Rio de Janeiro. In: XXXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes-ANPET. 2019. p. 2112-2123.

Henriques C. Análise de regressão linear simples e múltipla. Departamento de Matemática. Escola Superior de Tecnologia de Viseu. Portugal, 2011.

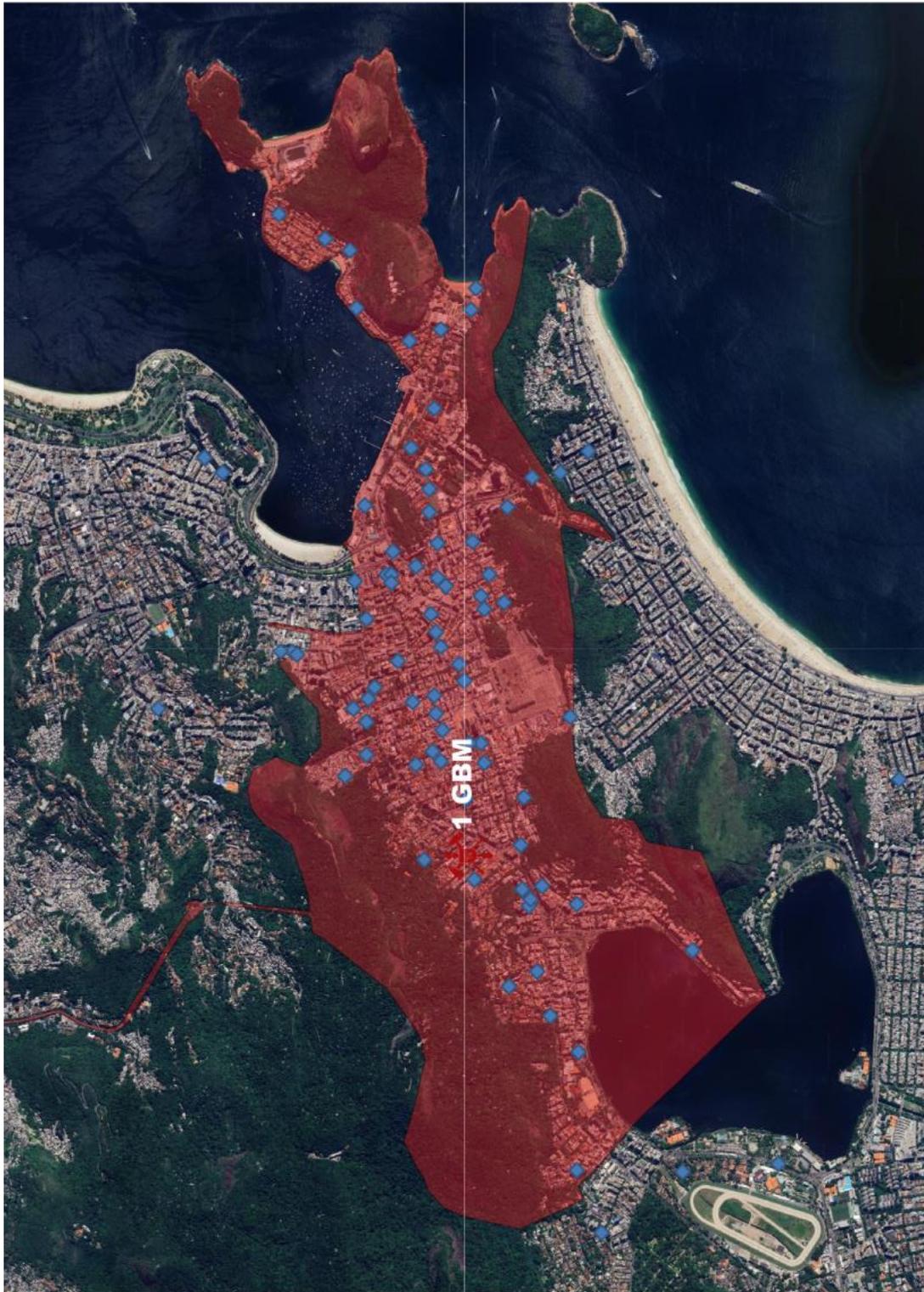
Oliveira NCF, Bosco MV. Estudo da necessidade da redistribuição geográfica das viaturas para melhoria no tempo resposta das ocorrências no município de Uberaba-MG. *Revista Vigiles*, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 182-198, 2022. Disponível em: <https://vigiles.bombeiros.mg.gov.br/index.php/cbmmg/issue/view/8/52>. Acesso em: 30 set. 2024.

Silva Junior HP, Silva AM. Estudo sobre a aplicação dos dados produzidos pelo SISGEO na análise georreferenciada do tempo-resposta dos eventos de incêndio urbano e nas áreas operacionais dos quartéis localizados no CBA I - Capital no ano de 2022. Rio de Janeiro: Academia de Bombeiro Militar Dom Pedro II, 2023.

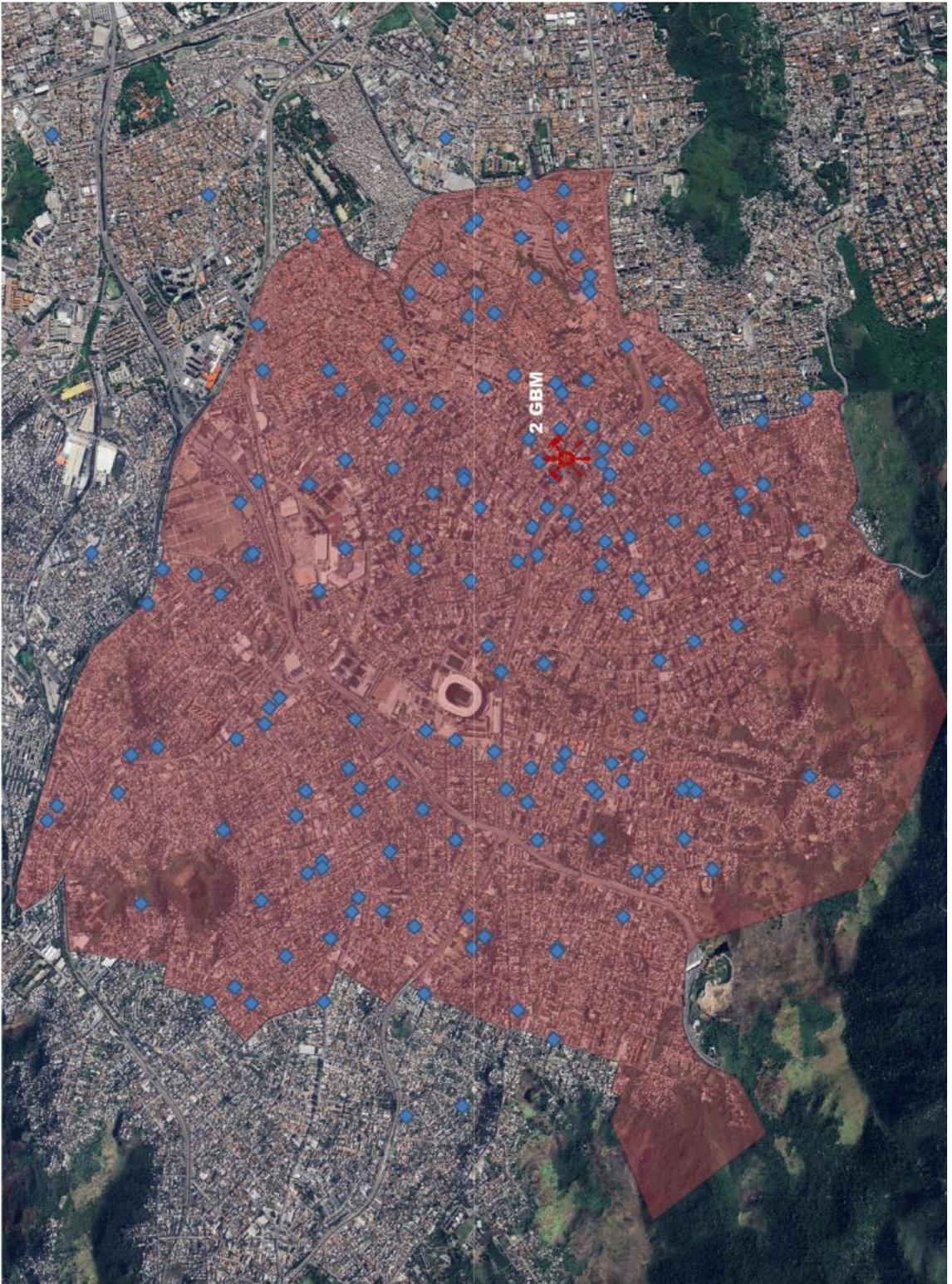
QGIS. Sobre o QGIS. Disponível em [https://www.QGIS.org/pt\\_BR/site/about/index.html#](https://www.QGIS.org/pt_BR/site/about/index.html#). Acesso em: 14 set. 2024.

## APÊNDICE

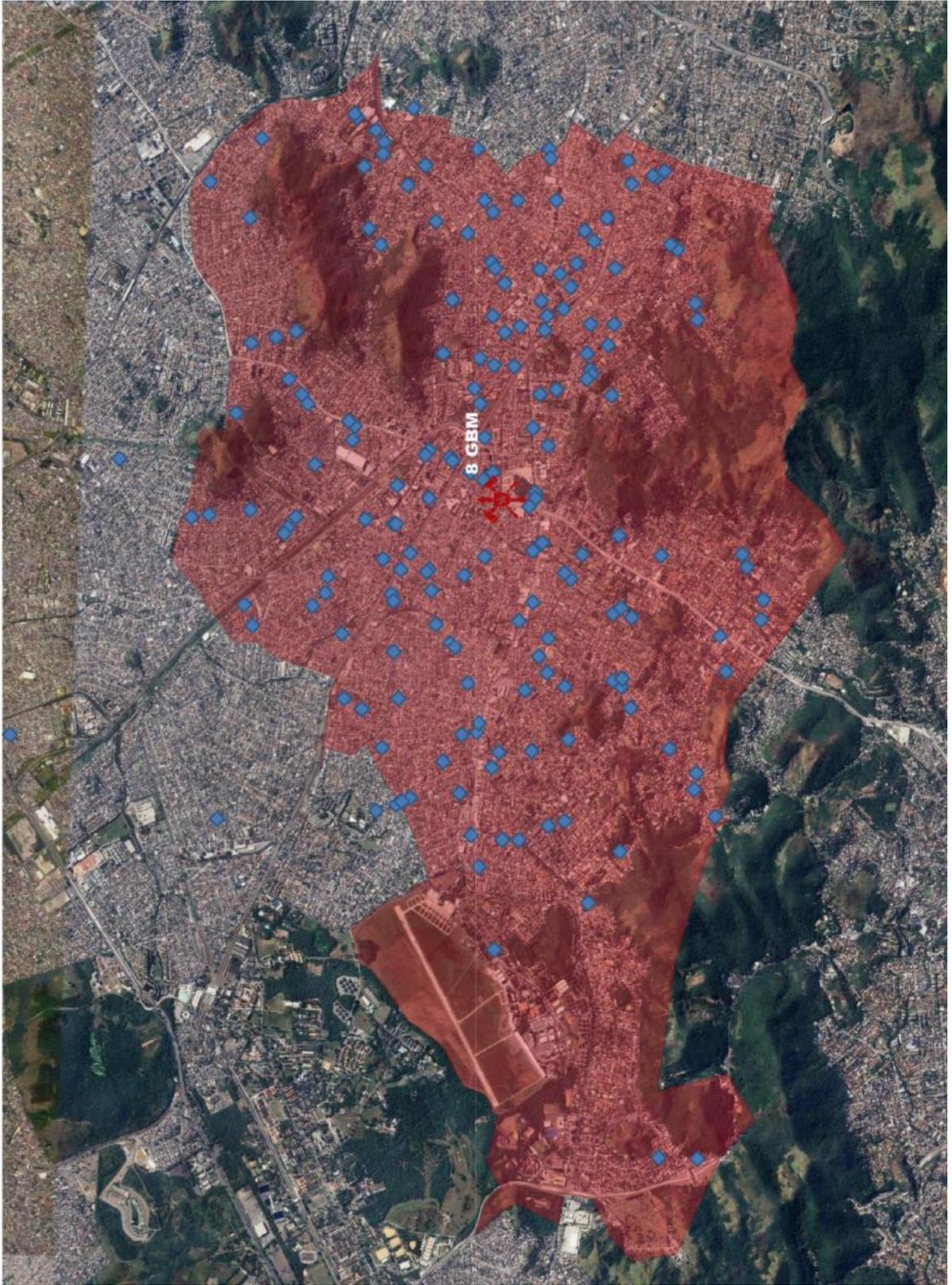
Nesta seção, apresentaremos os mapas confeccionados durante esse estudo, com suas respectivas áreas operacionais e eventos registrados do SisGeO, após filtragem.



Fonte: Os autores (2024)



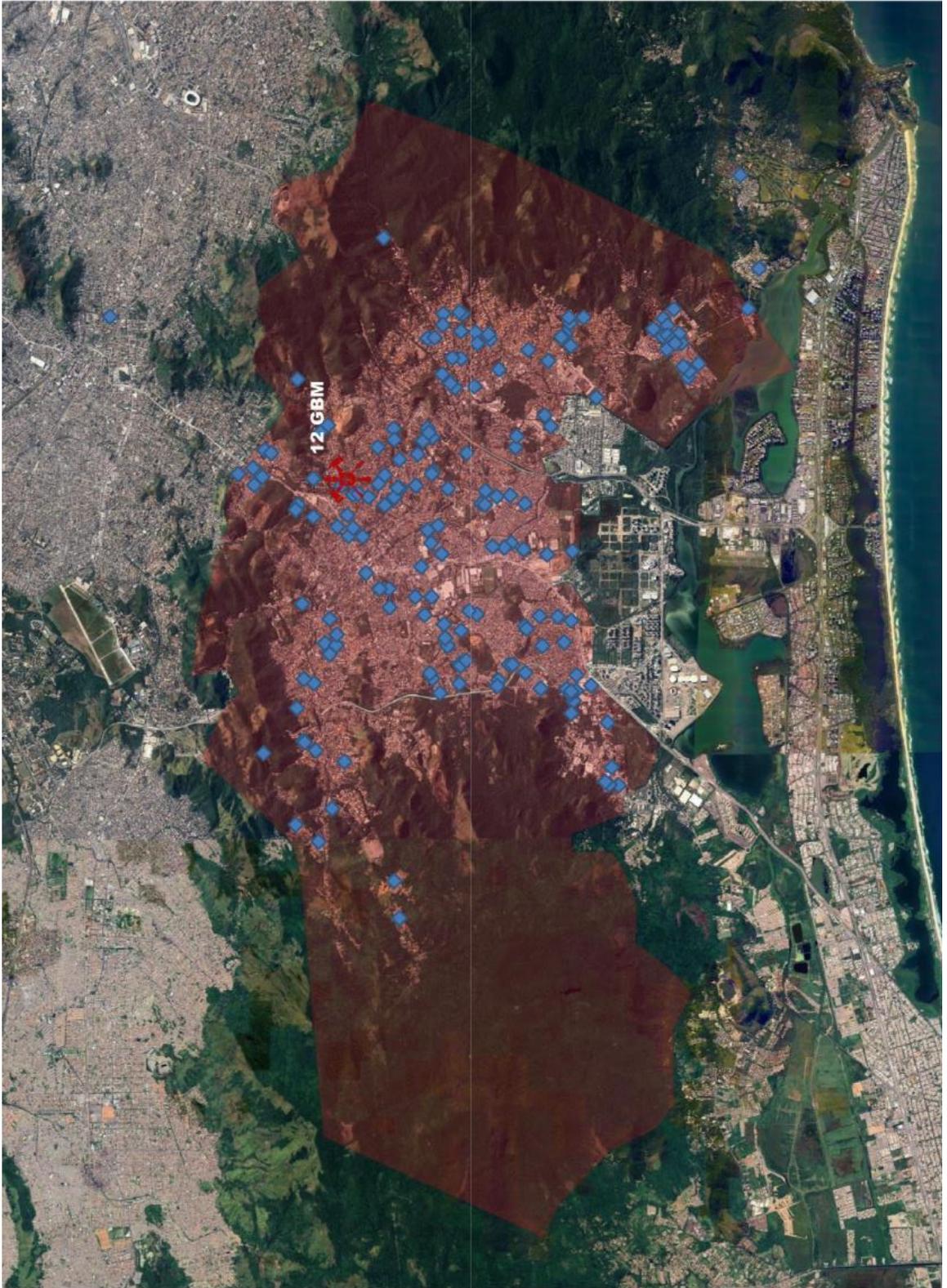
Fonte: Os autores (2024)



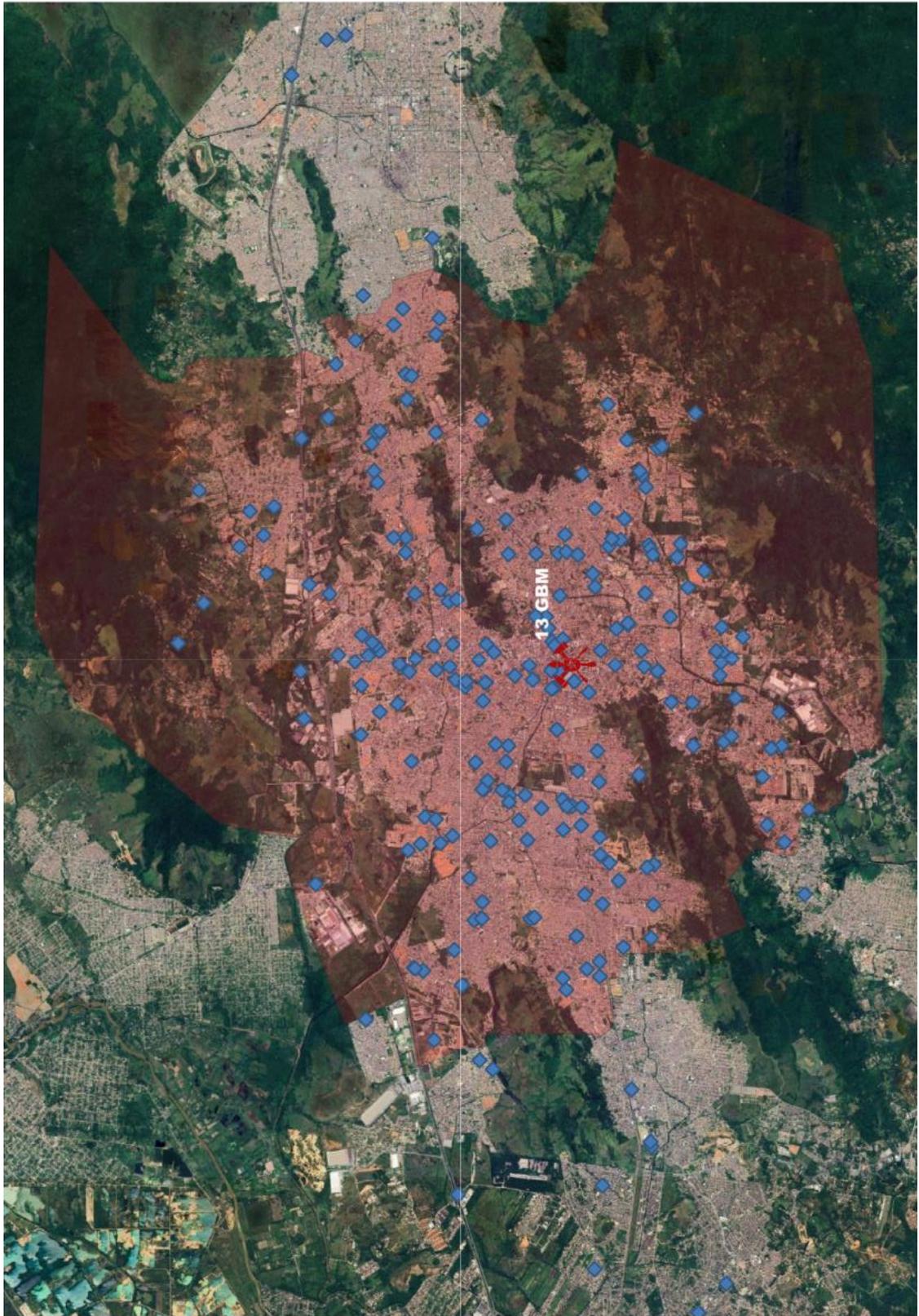
Fonte: Os autores (2024)



Fonte: Os autores (2024)



Fonte: Os autores (2024)



Fonte: Os autores (2024)



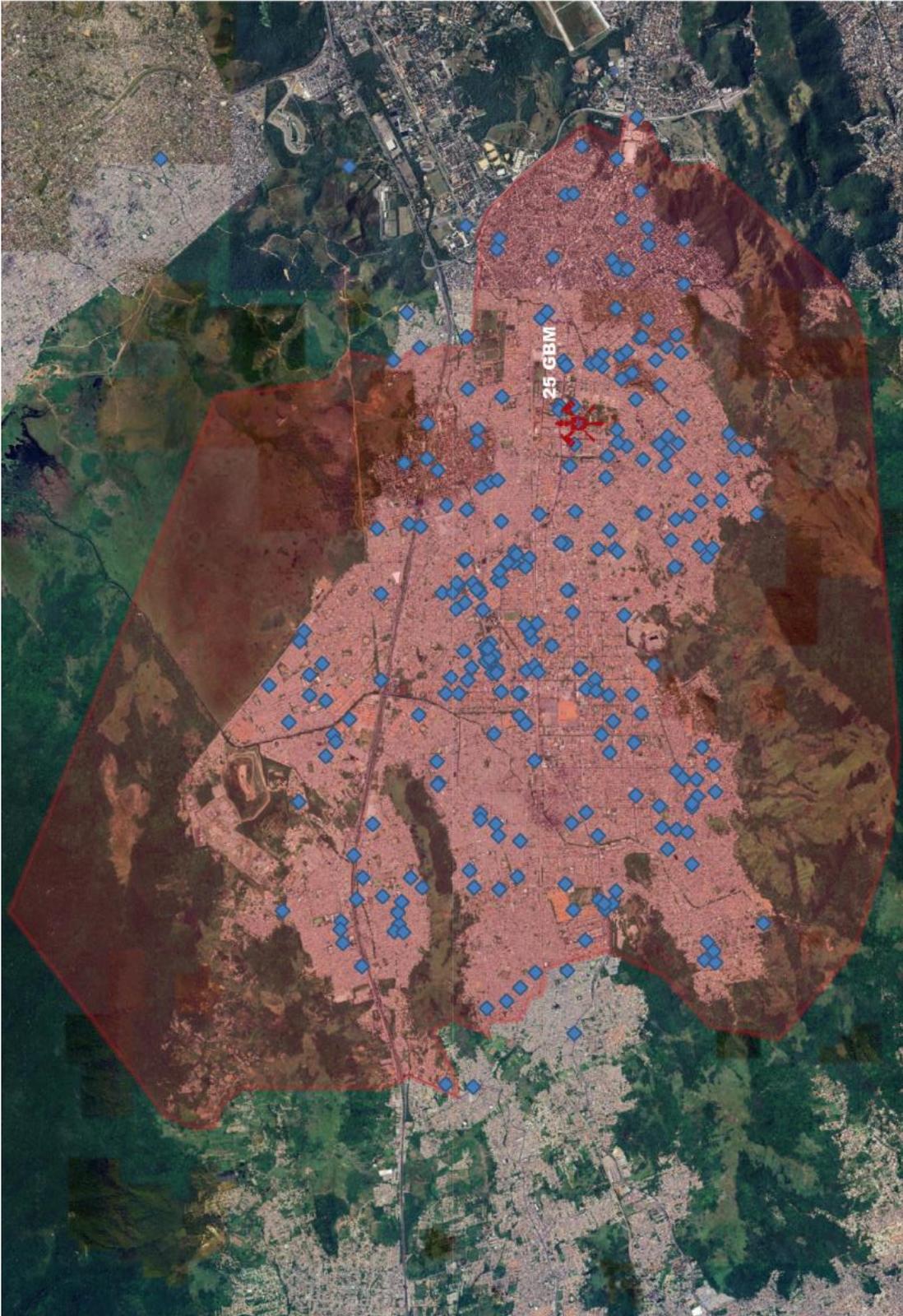
Fonte: Os autores (2024)



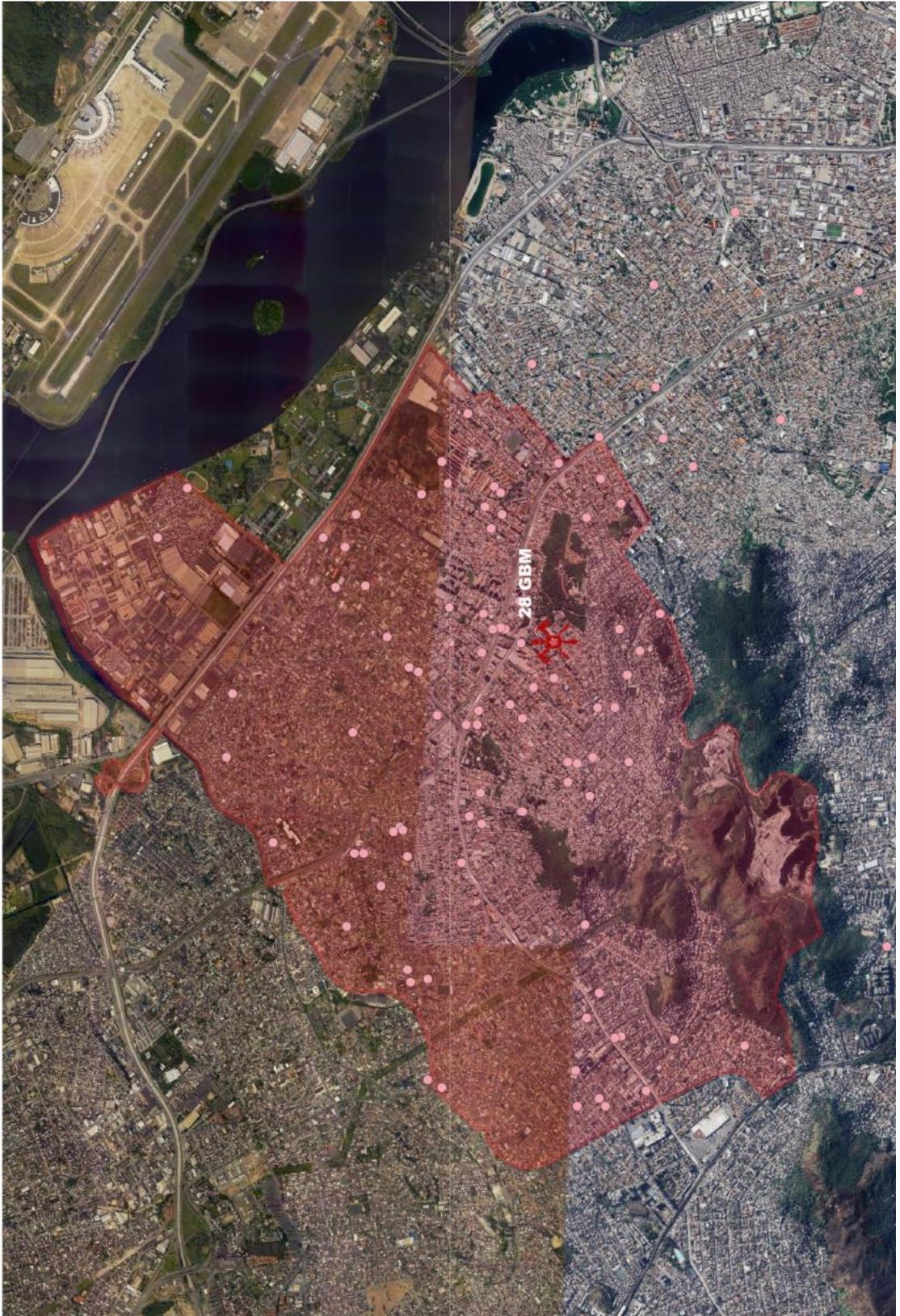
Fonte: Os autores (2024)



Fonte: Os autores (2024)



Fonte: Os autores (2024)



Fonte: Os autores (2024)



Fonte: Os autores (2024)