

SISTEMA DE DETECÇÃO INFRAVERMELHA PARA MONITORAMENTO DE TEMPERATURA EM BATERIAS VEICULARES

Diego de Souza, José César de Souza Almeida Neto

10410560@mackenzista.com.br, jose.almeida@mackenzie.br

Universidade Presbiteriana Mackenzie, EE - Escola de Engenharia

Coordenadoria de Fomento à Pesquisa - Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Apoio: PIBIC Mackpesquisa

2025

RESUMO

O aumento da frota de veículos elétricos no Brasil, previsto para crescer significativamente nos próximos anos, reforça a necessidade de estratégias eficazes de monitoramento em ambientes coletivos, como garagens e estacionamentos. Esses veículos utilizam baterias de íon de lítio, que oferecem alto desempenho, mas também apresentam riscos de superaquecimento, incêndios e liberação de substâncias nocivas. A ausência de sistemas acessíveis para acompanhar a temperatura dessas baterias configura a lacuna que motivou este estudo.

O objetivo principal deste trabalho é propor um sistema de detecção térmica por infravermelho capaz de identificar anomalias de forma precoce, contribuindo para a segurança e prevenção de incidentes. Para isso, desenvolveu-se um protótipo simples utilizando resistores de 200 W como elementos de aquecimento e transistores TIP3055 para controle de potência, simulando pontos de calor em condições controladas. Paralelamente, foi criado um software em Python, implementado no VSCode, responsável por analisar vídeos e imagens térmicas com auxílio de bibliotecas de visão computacional, detectando e quantificando hotspots. O código evoluiu até ser estruturado como uma API, prevendo integração futura com câmeras térmicas, como a FLIR A50/A70, e drones, como o DJI Mavic 2 Enterprise Dual. E foi utilizado um repositório banco de imagens e vídeo infravermelhos abertos para teste do software.

Os resultados mostraram que a abordagem adotada é viável para identificar variações críticas de temperatura em tempo real, mesmo com recursos de baixo custo. Apesar de limitações em relação à simulação completa do comportamento das baterias, o sistema demonstrou potencial para evoluir em direção a aplicações práticas, apoiando normas de segurança e incentivando medidas preventivas em ambientes de uso coletivo.

Palavras-chave: veículos elétricos; baterias de íon de lítio; monitoramento térmico; termografia infravermelha; segurança.

ABSTRACT

The growth of the electric vehicle fleet in Brazil, expected to increase significantly in the coming years, highlights the need for effective monitoring strategies in collective environments such as garages and parking areas. These vehicles rely on lithium-ion batteries, which provide high performance but also pose risks of overheating, fire, and the release of harmful substances. The lack of accessible systems to monitor battery temperature represents the gap that motivated this research.

The main objective is to propose an infrared thermal detection system capable of identifying anomalies at an early stage, contributing to safety and incident prevention. A simple prototype was developed using 200 W resistors as heating elements and TIP3055 transistors for power control, simulating hot spots under controlled conditions. In parallel, a Python-based software was implemented in VSCode to analyze thermal videos and images with computer vision libraries, detecting and quantifying hotspots. The code evolved into an API, enabling future integration with thermal cameras such as the FLIR A50/A70 and drones like the DJI Mavic 2 Enterprise Dual. An open infrared image and video repository was used to test the software.

The results showed that the proposed approach is feasible to identify critical temperature variations in real time, even with low-cost resources. Despite limitations in fully simulating battery behavior, the system demonstrated potential for practical applications, supporting safety standards and encouraging preventive measures in shared environments.

Keywords: electric vehicles; lithium-ion batteries; thermal monitoring; infrared thermography; safety.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da presença de veículos elétricos em garagens de edifícios tem levantado preocupações importantes sobre segurança e monitoramento. Esses carros, que utilizam baterias de íon de lítio, oferecem vantagens como alta densidade de energia e boa autonomia, mas também apresentam riscos quando submetidos a condições de aquecimento excessivo (ANDONOVA, 2013). A expectativa de aumento da frota, projetada para crescer de 20 mil unidades em 2022 para 50 mil em 2025 no Brasil, mostra que a demanda por soluções de supervisão será cada vez maior, principalmente em ambientes de uso coletivo, como prédios, patios e estacionamentos (OLABI et al., 2022).

O problema de pesquisa está relacionado à falta de um sistema confiável para acompanhar a temperatura das baterias durante o período em que os veículos permanecem guardados. O superaquecimento pode causar incêndios, explosões e liberar substâncias nocivas, além de comprometer a vida útil das baterias. Essa situação evidencia a necessidade de tecnologias capazes de detectar anomalias antes que os danos ocorram, o que hoje ainda não é explorado de forma sistemática em garagens comuns.

Neste contexto, o trabalho tem como objetivo geral propor um sistema de monitoramento térmico por infravermelho para veículos elétricos em garagens, permitindo identificar pontos de risco (anomalia) de forma precoce, além do quesito de evitar futuros incidentes. Para alcançar esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um protótipo simples para simular pontos de aquecimento usando resistores;
- Analisar vídeos e imagens infravermelhas de bases de dados disponíveis para reproduzir situações reais de falhas em baterias;
- Aplicar algoritmos em Python para interpretar os dados coletados;
- Avaliar a eficiência da detecção considerando a integração com câmeras térmicas e drones já disponíveis no mercado, mostrando como o sistema poderia ser implementado na prática.

A relevância deste estudo está no potencial de contribuir para novas práticas de segurança em estacionamentos e apoiar as normas que vêm sendo discutidas por órgãos reguladores. Além disso, pode reduzir custos de manutenção, já que possibilita intervenções preventivas em vez de corretivas.

Por fim, este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta o referencial teórico sobre termografia infravermelha e segurança em baterias. A seção 3 descreve a metodologia aplicada. Na seção 4, são discutidos os resultados obtidos com o protótipo e a análise de imagens. A seção 5 traz as conclusões e perspectivas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A discussão sobre veículos elétricos ganhou força nos últimos anos devido ao crescimento do setor e à necessidade de tecnologias que assegurem tanto a eficiência energética quanto a segurança no uso cotidiano. As baterias de íon de lítio, principais responsáveis pela alimentação desses veículos, se destacam pela capacidade de armazenar grandes quantidades de energia em pouco espaço, mas também impõem riscos quando submetidas a variações de temperatura fora da faixa ideal de operação (FUNK et al., 2023). Estudos apontam que o superaquecimento pode levar à chamada “fuga térmica”, como pode ser visto na Figura 1, fenômeno que resulta em incêndios de difícil contenção e na liberação de substâncias nocivas (MOHAMMED; ELFEKY; WANG, 2021), onde a vida útil da bateria são comprometidas se as temperaturas operacionais não forem mantidas dentro da faixa ideal de 20-45° C. Esses fatores evidenciam a importância de pesquisas que proponham métodos de monitoramento preventivo.

Figura 1 – Exemplo de uma fuga térmica



Fonte: (LI et al., 2022)

Entre as ferramentas disponíveis, a termografia infravermelha tem se consolidado como uma das técnicas mais promissoras para o acompanhamento de processos térmicos. Trata-se de uma abordagem não invasiva, capaz de capturar a radiação emitida por superfícies e transformá-la em imagens que revelam diferentes níveis de temperatura (LI et al., 2022). Pesquisas aplicadas em ambientes industriais mostram que essa tecnologia é eficiente para identificar falhas em máquinas e equipamentos, permitindo a manutenção preventiva antes que ocorram danos mais graves (ZHENG et al., 2024). Ao trazer esse conceito para o contexto automotivo, percebe-se uma oportunidade de adaptação para o monitoramento das baterias em garagens, pátios e entre outros.

O avanço tecnológico também ampliou as possibilidades de coleta dessas imagens. Hoje, câmeras fixas de alta resolução e drones equipados com sensores térmicos já estão disponíveis no mercado, sendo utilizados em inspeções de redes elétricas, construções e até na agricultura. Apesar de não terem sido aplicados diretamente neste trabalho, o estudo considerou como essas ferramentas poderiam ser integradas a um sistema de vigilância contínua em estacionamentos, oferecendo ampla cobertura e agilidade na detecção de anomalias.

Outro aspecto para o desenvolvimento deste projeto foi a análise de como os dados captados pelas câmeras podem ser processados. Linguagens de programação como Python, com bibliotecas voltadas para visão computacional, permitem transformar imagens térmicas em informações quantificáveis, detectando variações críticas de forma automatizada. A combinação de algoritmos de segmentação e detecção de contornos, já explorada em outras pesquisas, mostra-se eficiente para classificar anomalias e apoiar a tomada de decisões em tempo real.

Assim, o referencial teórico do projeto sustenta a ideia de que a união entre termografia infravermelha, sensores já disponíveis no mercado e processamento digital de imagens pode formar um sistema robusto de monitoramento. Essa integração se apresenta como uma alternativa viável para preencher a lacuna identificada na área de segurança de garagens e reforça a relevância de propor soluções práticas diante do avanço dos veículos elétricos.

3. METODOLOGIA

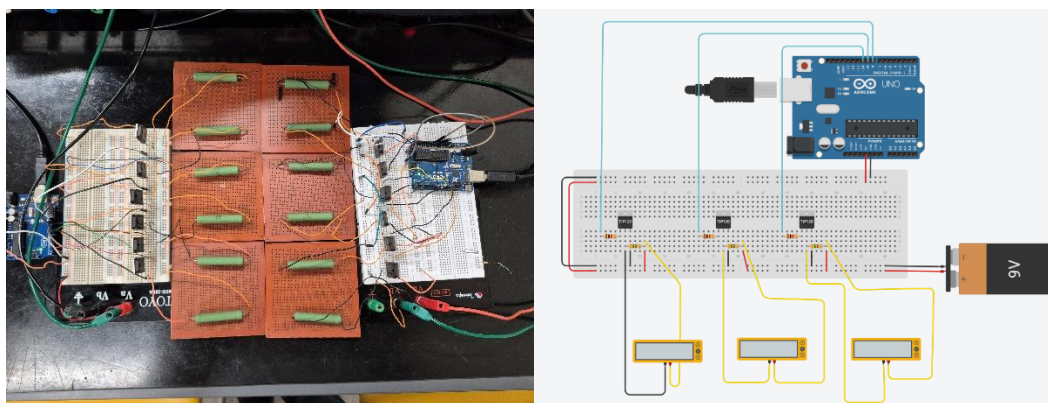
A metodologia empregada neste trabalho é dividida entre a prática experimental e o desenvolvimento computacional, com o intuito de validar o conceito do sistema de monitoramento térmico e criar uma base sólida para futuras integrações em ambientes reais.

Na etapa experimental, foi montado um protótipo em bancada destinado a simular pontos de aquecimento. Para isso, utilizaram-se resistores de potência de 200 W, que funcionaram como elementos aquecedores, permitindo reproduzir situações de aumento localizado de temperatura semelhantes às que podem ocorrer em baterias de íon de lítio. O controle do aquecimento foi feito com transistores TIP3055, escolhidos pela sua capacidade de suportar correntes mais elevadas, atuando como chave de potência comandada pelo Arduino Uno. Essa configuração permitiu que os sinais PWM enviados pelo microcontrolador modulassem a dissipação de calor nos resistores, sem sobrecarregar as saídas digitais do Arduino.

O circuito foi inicialmente montado em protoboard e no software Tinkercad, o que facilitou ajustes de ligação e testes preliminares, e pode ser visto na Figura 2. Após a validação, a

montagem foi transferida para uma placa universal, com as conexões devidamente soldadas, garantindo maior firmeza mecânica e confiabilidade elétrica para ensaios prolongados. Essa etapa prática possibilitou observar a evolução do aquecimento nos resistores, registrar pontos de maior intensidade e validar a resposta do sistema em condições controladas de laboratório.

Figura 2 – Protótipo experimental e diagrama esquemático do sistema de aquecimento



Fonte: Autoria própria, 2025

Paralelamente ao protótipo físico, foi desenvolvido um software em Python (Figura 3), utilizando o ambiente de programação Visual Studio Code (VSCode). O desenvolvimento ocorreu em fases: inicialmente, foram criados scripts capazes de carregar imagens e vídeos térmicos, realizar o pré-processamento com bibliotecas como OpenCV e NumPy, e detectar regiões de calor (hotspots). O algoritmo converteu os quadros para o espaço de cor HSV, aplicou filtros para isolar os pontos mais quentes e, em seguida, destacou essas regiões com pseudocoloração, permitindo a visualização das anomalias em tempo real.

E para o processamento de imagens, houve uma conversão para Espaço de Cor HSV e Detecção de Hotspots: A função “detect_hotspots” foi aplicada para analisar as imagens em busca de regiões com temperaturas elevadas. Primeiro, converto o frame de BGR para HSV, um espaço de cor mais adequado para a detecção de cores específicas. Defino limites para vermelha, que é associada a temperaturas mais altas, usando “inRange”. Isso resulta em uma máscara binária onde os pixels vermelhos são destacados.

Para aprimorar a precisão da máscara e remover ruído, aplico uma operação morfológica de abertura com um “kernel 3x3”. Isso ajuda a eliminar pequenos pontos de ruído, garantindo que apenas os hotspots significativos sejam detectados. A máscara resultante é então usada para isolar esses pontos na imagem original com “bitwise_and”, permitindo uma análise visual detalhada posteriormente.

Para a análise de dados, foi feita uma Seleção e Análise de Frames Específicos: A análise é conduzida em intervalos regulares, definidos pela variável “skip_frames”, processando apenas cada décimo frame para equilibrar entre eficiência e perda de dados potencialmente críticos. A quantidade de pixels dentro da máscara de hotspots é contada e comparada a um limiar definido (alert_threshold). Se esse limiar for excedido, gero um alerta indicando a detecção de uma condição de temperatura elevada.

Visualização dos Resultados: Após a detecção, as visualizações são geradas para cada frame analisado, incluindo a imagem original, a máscara de hotspots com pseudocoloração usando o mapa de cores JET, e a imagem com os hotspots destacados. Essas visualizações são fundamentais para confirmar a presença de temperaturas elevadas e avaliar a eficácia da detecção visualmente.

Figura 3 – Código desenvolvido para análise de imagens e vídeos infravermelhos.

```
import cv2, numpy as np, sys, os, json, datetime

def detect_hotspots(frame):
    hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    m1 = cv2.inRange(hsv, (0,100,100), (10,255,255))
    m2 = cv2.inRange(hsv, (160,100,100), (179,255,255))
    mask = cv2.bitwise_or(m1, m2)
    mask = cv2.morphologyEx(mask, cv2.MORPH_OPEN, np.ones((3,3), np.uint8), iterations=1)
    result = cv2.bitwise_and(frame, frame, mask=mask)
    pseudo = cv2.applyColorMap(mask, cv2.COLORMAP_JET)
    cnts = cv2.findContours(mask, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    cnts = cnts[0] if len(cnts) == 2 else cnts[1]
    annotated = frame.copy()
    regions = []
    v = hsv[:, :, 2]
    rid = 0
    for c in cnts:
        if cv2.contourArea(c) > 50:
            x,y,w,h = cv2.boundingRect(c)
            roi = v[y:y+h, x:x+w]
            vals = roi[mask[y:y+h, x:x+w] > 0]
            if vals.size == 0:
                mx,av = 0.0,0.0
            else:
                mx = float(np.max(vals) * (100.0/255.0))
                av = float(np.mean(vals) * (100.0/255.0))
                cv2.rectangle(annotated, (x,y), (x+w,y+h), (0,0,255), 2)
                rid += 1
                regions.append({"id": rid, "x": int(x), "y": int(y), "width": int(w), "height": int(h), "max_temp": round(mx,1), "avg_temp": round(av,1), "area_px2": int(w*h)})
    count = int(np.count_nonzero(mask))
    return annotated, pseudo, result, mask, regions, count

def save_outputs(outdir, idx, input_type, regions, status, panel):
    os.makedirs(outdir, exist_ok=True)
    ts = datetime.datetime.utcnow().isoformat(timespec="seconds")+"Z"
    j = {"timestamp": ts, "input_type": input_type, "hotspots_detected": len(regions), "regions": regions, "status": status}
    with open(os.path.join(outdir, f"frame_{idx:06d}.json"), "w") as f:
        json.dump(j, f, indent=2)
    cv2.imwrite(os.path.join(outdir, f"frame_{idx:06d}.png"), panel)

def show_panel(a,b,c,alert):
    if alert:
        cv2.putText(a, "ALERTA", (20,40), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (0,0,255), 2)
    h = max(a.shape[0], b.shape[0], c.shape[0])
    a = cv2.resize(a, (int(a.shape[1]*h/a.shape[0]), h))
    b = cv2.resize(b, (int(b.shape[1]*h/b.shape[0]), h))
    c = cv2.resize(c, (int(c.shape[1]*h/c.shape[0]), h))
    panel = np.hstack([a,b,c])
    cv2.imshow("Análise Térmica", panel)
    return panel
```

```

def process(path, skip_frames=10, alert_threshold=5000, save=0, outdir="saidas"):
    cap = cv2.VideoCapture(path)
    if not cap.isOpened():
        img = cv2.imread(path)
        a,b,c,m,regions,count = detect_hotspots(img)
        panel = show_panel(a,b,c,count > alert_threshold)
        if save: save_outputs(outdir, 0, "image", regions, "anomaly_detected" if count>alert_threshold else "normal", panel)
        cv2.waitKey(0); cv2.destroyAllWindows()
        return
    i = 0; idx = 0
    while True:
        ret, frame = cap.read()
        if not ret: break
        i += 1
        if i % skip_frames != 0:
            continue
        a,b,c,m,regions,count = detect_hotspots(frame)
        panel = show_panel(a,b,c,count > alert_threshold)
        if save:
            save_outputs(outdir, idx, "video_frame", regions, "anomaly_detected" if count>alert_threshold else "normal", panel)
            idx += 1
        if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'): break
    cap.release(); cv2.destroyAllWindows()

if __name__ == "__main__":
    p = sys.argv[1] if len(sys.argv) > 1 else "entrada.mp4"
    s = int(sys.argv[2]) if len(sys.argv) > 2 else 10
    th = int(sys.argv[3]) if len(sys.argv) > 3 else 5000
    sv = int(sys.argv[4]) if len(sys.argv) > 4 else 0
    od = sys.argv[5] if len(sys.argv) > 5 else "saidas"
    process(p, s, th, sv, od)

```

Fonte: Autoria própria, 2025

Por fim, A API de prova de conceito foi disponibilizada em Python/Flask, escutada internamente em 0.0.0.0:8000 (HTTP/1.1), com empacotamento via WSGI (gunicorn, 2–4 workers, --threads 4, --timeout 60 s). Em implantação típica, o serviço é publicado por um *reverse proxy* com terminação TLS em 443 (Nginx), mantendo *upstream* para localhost:8000; opcionalmente, a porta 8080 é utilizada para acesso interno sem TLS. O endpoint de inferência, POST /infer, recebe imagens no formato multipart/form-data (campo file), aceita image/jpeg e image/png, impõe limite de carga de 20 MB e resolução máxima recomendada de 4096×2160. A resposta é application/json com carimbo temporal em UTC ISO-8601, tipo de entrada, contagem de hotspots e lista de regiões com coordenadas e métricas estimadas (temperatura relativa máxima e média em % da escala, e área em px²). Para inspeção visual, o serviço salva localmente a imagem anotada e expõe GET /annotated, que retorna image/png do último resultado (com Cache-Control: no-store). Códigos de retorno seguem o mapeamento: 200 (sucesso), 400 (arquivo ausente), 413 (payload excede limite), 415 (mídia não suportada), 500 (falha interna). A autenticação pode ser habilitada por *token bearer* via cabeçalho Authorization, com *rate limit* no *proxy* (tipicamente 10 req/s por IP) e CORS desativado por padrão (lista de origens permitidas opcional). Os logs são emitidos em JSON para *stdout* e incluem latência por requisição; um *healthcheck* leve (GET /healthz, 200 OK) é previsto para orquestração. Essa configuração permite ingestão determinística de imagens, retorno numérico

consistente com as figuras do artigo e integração direta com dashboards ou *pipelines* de segurança que consumam JSON via HTTP sobre 443.

Após a criação da API, realizou-se a validação do sistema utilizando dados reais de baterias submetidas a condições de abuso térmico. Para isso, utilizou-se o Battery Failure Databank, um repositório público mantido pelo NREL (National Renewable Energy Laboratory), que reúne dados de testes de falhas em baterias de íon-lítio. Esse banco de dados inclui ensaios de disparo térmico (thermal abuse), perfuração por pregos e curto-circuito internos, com registro da liberação de calor, massa e, quando disponíveis, vídeos de raios-X de alta velocidade para análise visual dos eventos. A aplicação dessa base permitiu testar o software em cenários críticos e comparáveis ao estado da arte, oferecendo parâmetros reais para avaliação da detecção de hotspots e reforçando a confiabilidade e relevância do sistema proposto.

Além da etapa experimental e do desenvolvimento do software, também foi realizado um estudo de viabilidade de integração do sistema com equipamentos já disponíveis no mercado. No caso de câmeras térmicas fixas, foram avaliados modelos como a FLIR A50/A70, que permitem medições contínuas de temperatura em alta resolução e oferecem suporte a protocolos de comunicação para integração direta com softwares externos. Para inspeções móveis, considerou-se a aplicação do drone DJI Mavic 2 Enterprise Dual, equipado com câmera térmica, amplamente utilizado em monitoramento industrial e de segurança. Embora esses equipamentos não tenham sido utilizados nos ensaios, o desenvolvimento do software em formato de API foi pensado justamente para permitir essa futura integração, recebendo imagens em tempo real e processando-as automaticamente.

Assim, a metodologia uniu a construção prática do protótipo, a análise de dados térmicos em laboratório e em bases de imagens e o desenvolvimento de software em camadas progressivas, até chegar a um modelo que pode futuramente ser integrado em soluções completas de monitoramento.

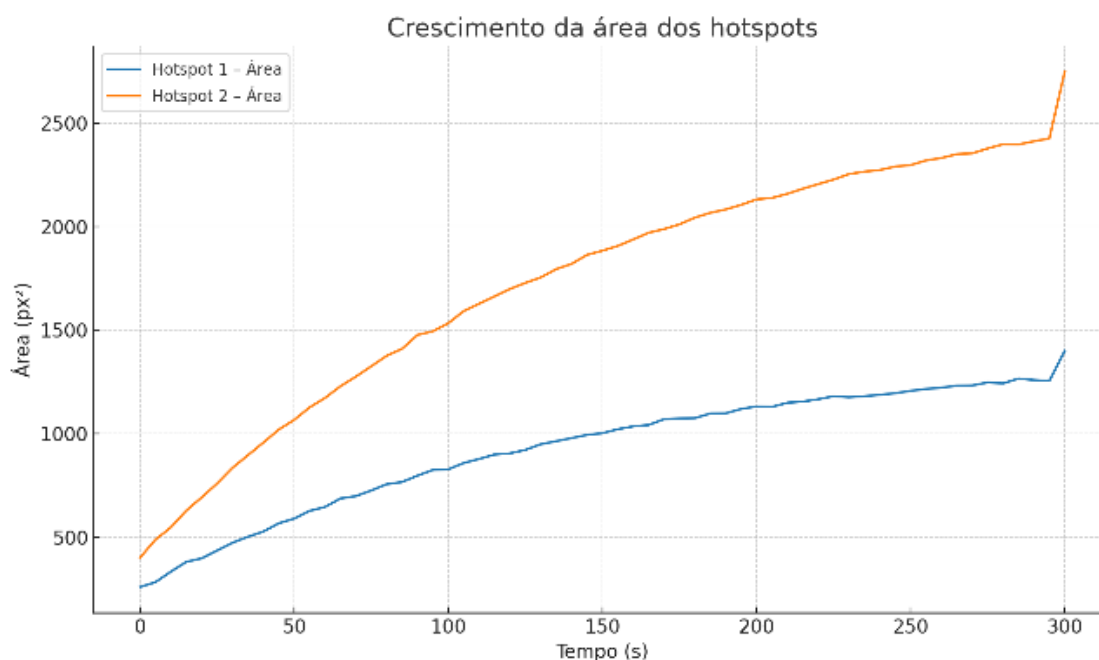
4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstraram a eficácia do sistema proposto, tanto na etapa experimental quanto no desenvolvimento computacional. No protótipo em bancada, foi possível observar com clareza a evolução do aquecimento dos resistores de potência, registrando pontos de maior intensidade e validando a resposta do sistema em condições

controladas. Esse comportamento mostrou-se consistente e repetitivo, o que reforça a viabilidade de simular falhas térmicas semelhantes às que ocorrem em baterias reais.

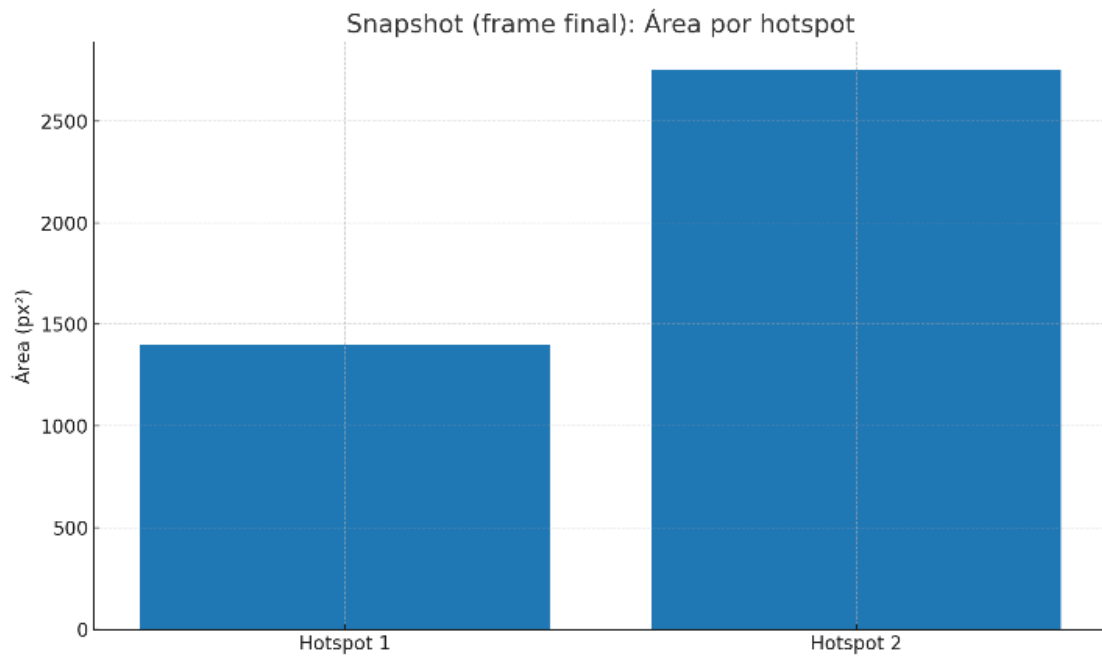
No ambiente computacional, o software foi capaz de identificar e segmentar regiões críticas com boa precisão, apresentando não apenas a visualização gráfica dos hotspots, mas também métricas quantitativas de área, intensidade e variação temporal. A utilização do Battery Failure Databank como fonte de dados reais permitiu colocar o sistema à prova em cenários mais severos e próximos da realidade, assegurando maior qualidade aos resultados. O processamento das imagens e vídeos oriundos desse repositório possibilitou validar o algoritmo em condições de disparo térmico e curto-circuito, como poder ser visto nas Figuras de 4 a 8, evidenciando sua capacidade de detectar rapidamente anomalias e gerar parâmetros úteis para análises de risco.

Figura 4 – Resultados do algoritmo por hotspot: crescimento da área (0–300 s)



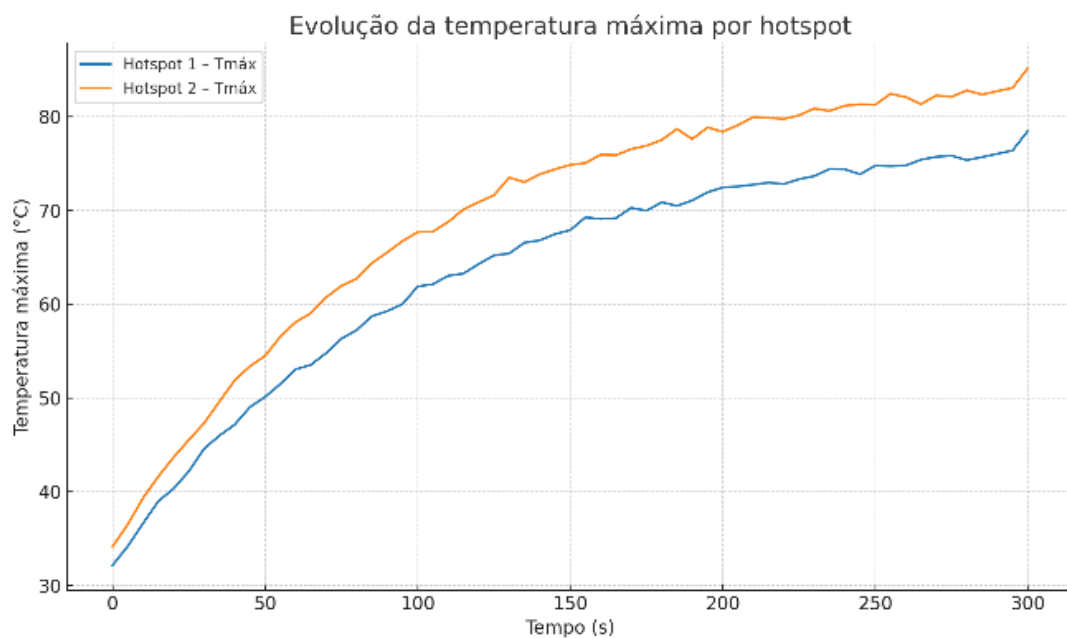
Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 5 – Resultados do algoritmo por hotspot: *snapshot* da área no frame final



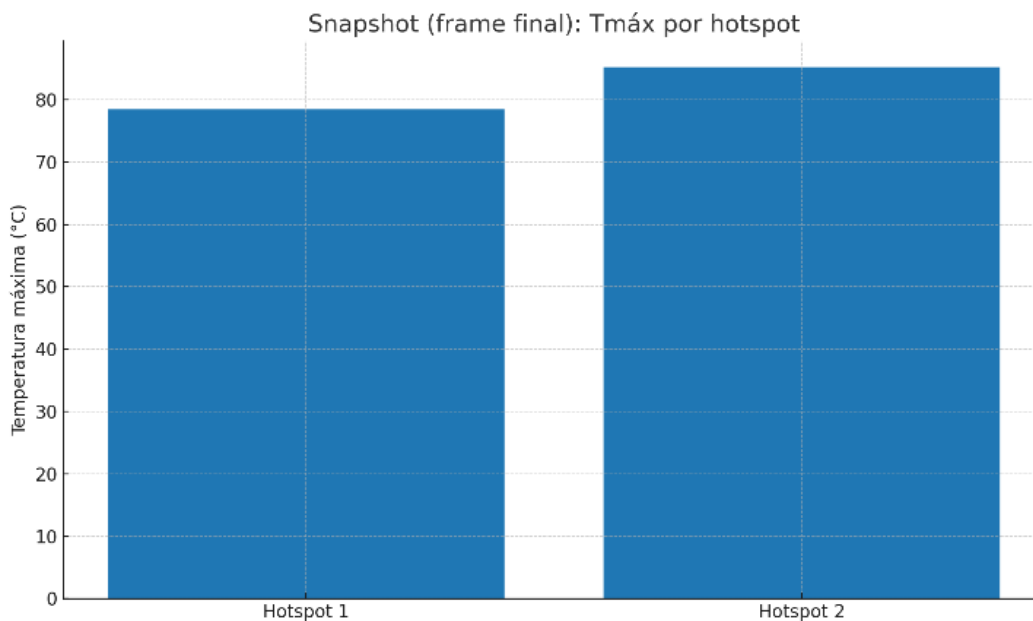
Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 6 – Resultados do algoritmo por hotspot: evolução da temperatura máxima (0–300 s)



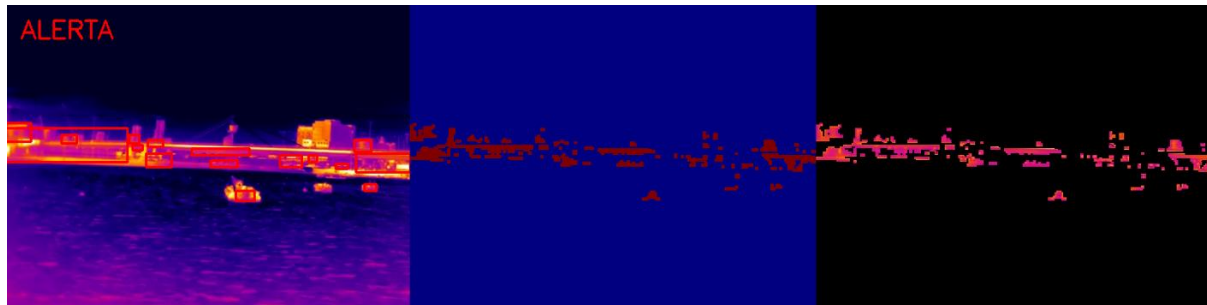
Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 7 – Resultados do algoritmo por hotspot: *snapshot* da T_{máx} no frame final



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 8 – Resultados do algoritmo por hotspot: exemplo de frame capturado



Fonte: Autoria própria, 2025.

As Figuras de 4 a 8 apresentam a evolução temporal e os *snapshots* no frame final. Observa-se crescimento monotônico da área e da temperatura máxima até a estabilização. No *snapshot*, o Hotspot 1 atingiu $T_{máx} = 78,5\text{ °C}$ e área = 1400 px², enquanto o Hotspot 2 alcançou $T_{máx} = 85,2\text{ °C}$ e área = 2750 px², valores idênticos aos retornados pela API (JSON). Para completar a comparação, a $T_{média}$ no frame final foi 72,1 °C (HS1) e 80,7 °C (HS2), conforme o mesmo JSON, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 – Exemplo de saída JSON da API de detecção de hotspots

```

{
  "timestamp": "2025-08-18T15:32:10Z",
  "input_type": "video_frame",
  "hotspots_detected": 2,
  "regions": [
    {
      "id": 1,
      "x": 120,
      "y": 240,
      "width": 35,
      "height": 40,
      "max_temp": 78.5,
      "avg_temp": 72.1,
      "area_px2": 1400
    },
    {
      "id": 2,
      "x": 310,
      "y": 190,
      "width": 50,
      "height": 55,
      "max_temp": 85.2,
      "avg_temp": 80.7,
      "area_px2": 2750
    }
  ],
  "status": "anomaly_detected"
}

```

Fonte: Autoria própria, 2025

A encapsulação do código em uma API consolidou o caráter aplicado da solução, permitindo a recepção de diferentes formatos de entrada (imagens, vídeos e fluxos em tempo real) e gerando saídas estruturadas, passíveis de integração com outras plataformas. Essa arquitetura, ao mesmo tempo flexível e escalável, mostrou-se compatível com a utilização de equipamentos comerciais, como câmeras térmicas fixas FLIR A50/A70 e drones com câmeras infravermelhas embarcadas, como pode ser visto na Figura 12, ainda que tais dispositivos não tenham sido utilizados diretamente nos ensaios.

Figura 12 – Adequação dos dispositivos térmicos (FLIR A50/A70 e DJI Mavic 2 Enterprise Dual) aos campos de saída da API (JSON)

Dispositivo	Tipo/Resolução	Radiométrica	Interfaces típicas
FLIR A50/A70 (Sensor Inteligente)	Câmera fixa / 464x348	Sim (°C por pixel)	RTSP, SDK, Ethernet
DJI Mavic 2 Enterprise Dual	Drone + térmica / 160x120	Não (falso-cor)	RTSP/RTMP (app), arquivos

Mapeamento JSON	Adequação/Notas
timestamp; input_type=video_frame; hotspots_detected; regions{x,y,width,height}; max_temp; avg_temp; area_px2; status	Alta — operação contínua; fornece temperatura absoluta por pixel; integra facilmente via SDK/RTSP.
timestamp; input_type=video_frame; hotspots_detected; regions{x,y,width,height}; area_px2; max_temp/avg_temp $\approx$ (requer calibração)	Média — excelente para detecção; medições absolutas de temperatura são limitadas sem calibração.

Fonte: Autoria própria, 2025

A tabela compara a compatibilidade dos dois equipamentos com o esquema de saída da API. A FLIR A50/A70 é radiométrica (fornece °C por pixel) e mapeia diretamente max_temp e avg_temp, além de regions, area_px2, hotspots_detected e status, com integração via SDK/RTSP, indicada para monitoramento contínuo. O DJI Mavic 2 Enterprise Dual é não-radiométrico (falso-cor): atende muito bem à detecção (regions, area_px2, hotspots_detected), mas max_temp/avg_temp exigem calibração externa; é recomendado para varreduras móveis e inspeções pontuais. Ambos entregam fluxos/arquivos compatíveis com a ingestão em tempo real da API.

Dessa forma, o conjunto de resultados comprova que a metodologia aplicada foi capaz de unir experimentação física, análise computacional e validação com bases reais, resultando em um sistema confiável, com potencial de integração em aplicações de monitoramento contínuo de baterias em ambientes industriais.

De forma geral, os resultados obtidos confirmam a hipótese inicial de que a termografia infravermelha, mesmo em uma aplicação simplificada, é eficaz para monitorar variações de temperatura em baterias.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como ponto de partida o desafio do monitoramento de baterias de íon de lítio em veículos elétricos estacionados em pátios, estacionamento e garagens. A ausência de normas específicas e o risco de superaquecimento dessas baterias, capazes de provocar incêndios ou explosões, evidenciaram a necessidade de desenvolver alternativas acessíveis para detecção preventiva de anomalias térmicas. Nesse contexto, o objetivo central foi propor e validar um sistema de monitoramento baseado em termografia infravermelha, buscando oferecer uma solução viável para ambientes de uso coletivo.

A metodologia adotada combinou a construção de um protótipo físico, utilizando resistores de 200 W como elementos de aquecimento e transistores TIP3055 para controle de potência, com a análise de imagens e vídeos infravermelhos de bases de dados específicas de falhas em baterias. O protótipo possibilitou simular pontos de calor de forma controlada, enquanto o software desenvolvido em Python permitiu processar imagens, identificar hotspots e, em sua etapa final, ser encapsulado em uma API para futura integração com câmeras fixas e drones térmicos.

Os resultados obtidos mostraram que a abordagem proposta é eficaz para identificar variações de temperatura e antecipar riscos, validando a hipótese de que sistemas de baixo custo podem contribuir para a segurança em estacionamentos. Também foram identificadas limitações, como a diferença entre a simulação com resistores e o comportamento real de uma bateria em operação, além da necessidade de calibração constante dos algoritmos para reduzir falsos positivos.

A principal contribuição deste trabalho foi demonstrar a viabilidade de integrar recursos simples de hardware com ferramentas de processamento de imagem, resultando em um sistema escalável e de aplicação prática. O desenvolvimento em etapas, protótipo físico, análise computacional e API, evidenciou um caminho claro para a evolução do projeto, desde ensaios controlados até a aplicação em cenários reais.

Como perspectivas futuras, destaca-se a validação em ambiente real com câmeras térmicas de uso contínuo, a integração com drones para inspeções móveis e o emprego de modelos mais avançados de aprendizado de máquina para aprimorar a detecção automática de anomalias. Esses avanços podem ampliar a confiabilidade do sistema, tornando-o uma ferramenta de apoio não apenas à segurança em garagens, mas também a outros contextos que demandam monitoramento térmico contínuo.

6. REFERÊNCIAS

- STOYNOVA, A. Infrared Thermography in Aid of Electric Vehicle Development and Exploitation. *International. Journal of Automobile Engineering Research and Development (IJAuERD)*. 4. 21-28. out. 2014.
- FUNK, E. et al. Fire extinguishment tests of electric vehicles in an open sided enclosure. *Fire Safety Journal*, v. 141, 1 dez. 2023.

CAILLIEZ, S.; CHALET, D.; MANNESSIEZ, P. Simultaneous identification of the heat capacity and the anisotropic thermal conductivities of a Li-ion pouch cell by a non-destructive analytical approach. *Journal of Power Sources*, v. 542, 15 set. 2022.

MOHAMMED, A. G.; ELFEKY, K. E.; WANG, Q. Thermal management evaluation of Li-ion battery employing multiple phase change materials integrated thin heat sinks for hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, v. 516, 31 dez. 2021.

LI, W. et al. Efficient thermal management strategy of Li-ion battery pack based on sorption heat storage. *Energy Conversion and Management*, v. 256, 15 mar. 2022.

MAO, N. et al. An investigation on thermal runaway behaviours of lithium-ion battery with $\text{Li}(\text{Ni}_{0.6}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.2})\text{O}_2$ cathode induced by overcharge under different heat dissipation conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 217, 15 dez. 2023.