

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
DE COMPUTAÇÃO E SISTEMAS  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E SISTEMAS

**JORGE DE JESUS PASSINHO SEGUNDO**

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS FIXOS DE COMBATE A INCÊNDIOS UTILIZANDO  
A INTERNET DAS COISAS (IoT): monitoramento remoto e controle  
bidimensional**

**São Luís  
2025**

**JORGE DE JESUS PASSINHO SEGUNDO**

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS FIXOS DE COMBATE A INCÊNDIOS UTILIZANDO  
A INTERNET DAS COISAS (IoT): monitoramento remoto e controle  
bidimensional**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Computação e Sistemas, da Universidade Estadual do Maranhão, como pré-requisito para a obtenção de título de Mestre em Engenharia de Computação e Sistemas.

Orientador: Professor Dr. Ewaldo Eder Carvalho Santana

Co-Orientador: Professor Dr. Mauro Sérgio Silva Pinto

**São Luís**

**2025**

Passinho Segundo, Jorge de Jesus

Otimização de sistemas fixos de combate a incêndios utilizando a internet das coisas (IoT): monitoramento remoto e controle bidimensional/ Jorge de Jesus Passinho Segundo. – São Luís, MA, 2025.

79 f

Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia da Computação e Sistemas) - Universidade Estadual do Maranhão, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Ewaldo Eder Carvalho Santana.

Coorientador: Mauro Sérgio Silva Pinto

**Elaborado por Cássia Diniz - CRB 13/910**

**JORGE DE JESUS PASSINHO SEGUNDO**

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS FIXOS DE COMBATE A INCÊNDIOS UTILIZANDO  
A INTERNET DAS COISAS (IoT): monitoramento remoto e controle  
bidimensional**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Computação e Sistemas, da Universidade Estadual do Maranhão, como pré-requisito para a obtenção de título de Mestre em Engenharia de Computação e Sistemas.

**Data de aprovação: 31/10/2025**

---

Professor Dr. Ewaldo Eder Carvalho Santana - Orientador  
Universidade Estadual do Maranhão-UEMA

---

Prof. Dr. Mauro Sérgio Silva Pinto – Coorientador  
Universidade Estadual do Maranhão-UEMA

---

Prof. Dr. José Pinheiro de Moura – Examinador Interno  
Universidade Estadual do Maranhão-UEMA

---

Prof. Dr. Wellinton Assunção– Examinador Externo  
Universidade Estadual do Maranhão-UEMA

Dedico este estudo a Deus e a todos meus familiares.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força, saúde e sabedoria durante toda a caminhada acadêmica. Sem Ele, nada disso seria possível.

Aos meus familiares, pelo apoio incondicional, carinho e paciência nos momentos em que precisei me ausentar para estudar e me dedicar a este trabalho. Em especial, agradeço aos meus pais, que sempre acreditaram em mim e me incentivaram a nunca desistir dos meus objetivos.

Ao professor Dr. Ewaldo Eder Carvalho Santana, meu orientador, e ao professor Dr. Mauro Sérgio Silva Pinto, meu co-orientador pelas valiosas orientações, dedicação, responsabilidade, compromisso e disponibilidade em me orientar neste trabalho e pelas sugestões que me ajudaram a manter o foco, a organizar as ideias. O apoio e a confiança em mim desde o início foram essenciais para a construção desta dissertação.

Aos meus professores, que foram fundamentais ao longo do curso e neste trabalho, compartilhando seus conhecimentos e orientações com dedicação e profissionalismo. Suas contribuições foram essenciais para minha formação.

Aos colegas e amigos de sala, que tornaram essa jornada mais leve e colaborativa. Os momentos de troca, apoio e parceria foram importantes tanto no aprendizado quanto na convivência.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste estudo. Meu muito obrigado!

## RESUMO

A evolução tecnológica tem possibilitado a integração de sensores, redes e dispositivos móveis em sistemas fixos de combate a incêndio, promovendo maior eficiência e rapidez na resposta a emergências. A computação ubíqua se destaca por permitir o monitoramento contínuo e remoto bem como a tomada de decisões, com potencial de aplicação tanto em ambientes industriais quanto residenciais. A presente dissertação, por meio de um estudo de caso prático e exploratório, buscou analisar essa aplicação, desenvolvendo um protótipo funcional. A pesquisa utilizou um microcontrolador ESP32 para coletar dados, uma comunicação bidirecional baseada em MQTT e uma interface de controle com dashboard, demonstrou a viabilidade de um sistema de segurança autônomo, onde dependendo dos eventos ocorridos toma uma decisão junto ao sistema de incêndio. Uma das principais contribuições foi o desenvolvimento de um método de validação empírica para a calibração do sensor de pressão, garantindo a precisão dos dados, e a implementação de um controle bidirecional, que transforma o monitoramento em um centro de comando interativo. O estudo conclui que a aplicação da computação ubíqua em sistemas de combate a incêndio é uma alternativa promissora e necessária, capaz de elevar a segurança, a eficiência e a agilidade em situações de risco. Por fim, o estudo conclui que a aplicação da computação ubíqua em sistemas fixos de combate a incêndio é uma alternativa promissora e necessária, capaz de elevar a segurança, a eficiência e a agilidade em situações de risco. Nesse contexto, o avanço das tecnologias digitais deve ser acompanhado por práticas de manutenção, monitoramento e atualização constante em busca da melhoria contínua a fim de assegurar a eficácia das soluções. Investir em automação, conectividade e inteligência distribuída é, portanto, investir na preservação da vida, no cuidado com o patrimônio e na construção de uma cultura preventiva mais eficiente e responsável.

**Palavras-chave:** Automação; Computação ubíqua; Monitoramento remoto; Sistema de combate a incêndio.

## ABSTRACT

Technological evolution has enabled the integration of sensors, networks, and mobile devices into fixed fire-fighting systems, promoting greater efficiency and speed in emergency response. Ubiquitous computing stands out for allowing continuous and remote monitoring, as well as decision-making, with potential applications in both industrial and residential environments. The present dissertation, through a practical and exploratory case study, sought to analyze this application by developing a functional prototype. The research used an ESP32 microcontroller to collect data, a bidirectional communication based on MQTT, and a control interface with a dashboard, demonstrating the viability of an autonomous security system that, depending on the events that occur, makes a decision in conjunction with the fire system. One of the main contributions was the development of an empirical validation method for the pressure sensor's calibration, ensuring data precision, and the implementation of a bidirectional control that transforms monitoring into an interactive command center. The study concludes that the application of ubiquitous computing in fixed fire-fighting systems is a promising and necessary alternative, capable of increasing safety, efficiency, and agility in risk situations. In this context, the advancement of digital technologies must be accompanied by maintenance practices, monitoring, and constant updates in search of continuous improvement to ensure the effectiveness of the solutions. Investing in automation, connectivity, and distributed intelligence is, therefore, investing in the preservation of life, the care of property, and the construction of a more efficient and responsible preventive culture.

**Keywords:** Automation; Ubiquitous computing; Remote monitoring; Fire-fighting system.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                         |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Figura 1- Incendio VemKitem .....                                                                       | 27    |
| Figura 2- Sistema fixo de combate a incêndio.....                                                       | 33    |
| Figura 3 - Quadro de incêndio.....                                                                      | 35    |
| Figura 4 - Desenho de ilustração para envio de dados .....                                              | 54    |
| Figura 5 - Desenho de ilustração de uma edificação para identificação dos sistemas<br>de incêndio ..... | 55    |
| Figura 6 - Bomba de incêndio .....                                                                      | 56    |
| Figura 7 - Conexões do projeto .....                                                                    | 56    |
| Figura 8 – Cavalete de bomba .....                                                                      | 57    |
| Figura 9 – Sistema de bombas .....                                                                      | 57    |
| Figura 10 - Componentes eletrônicos .....                                                               | 58    |
| Figura 11 e 12 - Quadro de comando .....                                                                | 58    |
| Figura 13 - Diagrama unifilar do quadro de comando.....                                                 | 59    |
| Figura 14 - Esquema de comunicação dos dispositivos .....                                               | 60    |
| Figura 15 – Calibração de sensor de pressão .....                                                       | 62    |
| Figura 16 – Fluxo dos nós e diagrama de comunicação do projeto de pesquisa.....                         | 64    |
| Figura 17 - Dashboard elaborado do projeto de pesquisa.....                                             | 66    |
| Figura 18 – Status de conexão.....                                                                      | 65    |
| Figura 19 – Monitoramento de tensão, corrente e potência.....                                           | 67    |
| Figura 20 – Monitoramento de pressão e nível de água.....                                               | 68    |
| Figura 21 – Monitoramento de botões e relés.....                                                        | 69    |
| Figura 22 – Monitoramento de botões e relés com informações registradas.....                            | 69    |
| Figura 23 – Sistema pressurizado.....                                                                   | 71    |
| Figura 24 – Sistema em funcionamento.....                                                               | 71    |
| Figura 25 e 26 – Monitoramento remoto.....                                                              | 72    |
| Figura 27, 28 e 29 – Gráficos do sistema.....                                                           | 73,74 |

## LISTA DE SIGLAS

|                 |                                                                          |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ABNT            | – Associação Brasileira de Normas Técnicas                               |
| AIoT            | – Artificial Intelligence of Things                                      |
| BIM             | – Building Information Modeling                                          |
| CLA             | – Centro de Lançamento de Alcântara                                      |
| CLP             | – Controlador Lógico Programável                                         |
| CO              | – Monóxido de Carbono                                                    |
| CO <sub>2</sub> | – Dióxido de Carbono                                                     |
| ESP32           | – Microcontrolador da Espressif Systems com Wi-Fi e Bluetooth integrados |
| FDS             | – Fire Dynamics Simulator                                                |
| GLP             | – Gás Liquefeito de Petróleo                                             |
| iFIX            | – Software de supervisão SCADA                                           |
| IoT             | – Internet das Coisas                                                    |
| LoRa            | – Long Range (Tecnologia de comunicação de longa distância)              |
| MQTT            | – Message Queuing Telemetry Transport                                    |
| NR              | – Norma Regulamentadora                                                  |
| OPC             | – OLE for Process Control                                                |
| OPC-UA          | – OPC Unified Architecture                                               |
| PPCI            | – Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndio                          |
| SCADA           | – Supervisory Control and Data Acquisition                               |
| SACI            | – Sistema Automático de Combate a Incêndio                               |
| Wi-Fi           | – Wireless Fidelity                                                      |

## SUMÁRIO

|                |                                                               |                  |
|----------------|---------------------------------------------------------------|------------------|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                       | <b>11</b>        |
| <b>2</b>       | <b>COMPUTAÇÃO UBÍQUA .....</b>                                | <b>16</b>        |
| <b>2.1</b>     | <b>Definição e princípios .....</b>                           | <b>16</b>        |
| <b>2.2</b>     | <b>Aplicações em sistemas inteligentes.....</b>               | <b>20</b>        |
| <b>2.3</b>     | <b>Tecnologias Associadas (IOT, ESP32).....</b>               | <b>23</b>        |
| <b>3</b>       | <b>SISTEMAS DE COMBATE A INCÊNDIO .....</b>                   | <b>27</b>        |
| <b>3.1</b>     | <b>Dinâmica e propagação do fogo .....</b>                    | <b>28</b>        |
| <b>3.2</b>     | <b>Sistemas fixos e móveis de combate.....</b>                | <b>32</b>        |
| <b>3.3</b>     | <b>Legislação e normas aplicáveis .....</b>                   | <b>35</b>        |
| <b>4</b>       | <b>AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO EM SISTEMAS FIXOS ...</b> | <b>38</b>        |
| <b>4.1</b>     | <b>Arquitetura de um sistema automatizado.....</b>            | <b>38</b>        |
| <b>4.2</b>     | <b>Sensores, atuadores e comunicação .....</b>                | <b>42</b>        |
| <b>4.3</b>     | <b>Aplicativo para monitoramento remoto .....</b>             | <b>46</b>        |
| <b>4.4</b>     | <b>Segurança e integridade do sistema.....</b>                | <b>49</b>        |
| <b>5</b>       | <b>METODOLOGIA .....</b>                                      | <b>52</b>        |
| <b>6</b>       | <b>RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>                            | <b>54</b>        |
| <b>6.1</b>     | <b>Detalhamento do projeto .....</b>                          | <b>54</b>        |
| <b>6.2</b>     | <b>Materiais utilizados .....</b>                             | <b>55</b>        |
| <b>6.3</b>     | <b>Comunicação do sistema .....</b>                           | <b>59</b>        |
| <b>6.3.1</b>   | <b>ESP32 .....</b>                                            | <b>60</b>        |
| <b>6.3.1.1</b> | <b><i>Validação do sensor de pressão.....</i></b>             | <b><i>61</i></b> |
| <b>6.3.2</b>   | <b>Protocolo de comunicação .....</b>                         | <b>62</b>        |
| <b>6.3.3</b>   | <b>Transmissão de Dados via Wi-Fi .....</b>                   | <b>63</b>        |
| <b>6.3.4</b>   | <b>Node-RED .....</b>                                         | <b>63</b>        |
| <b>6.3.5</b>   | <b>Dashboard.....</b>                                         | <b>64</b>        |
| <b>6.3.5.1</b> | <b><i>Detalhamento do Dashboard.....</i></b>                  | <b><i>67</i></b> |
| <b>6.4</b>     | <b>Análise dos Resultados .....</b>                           | <b>71</b>        |
| <b>6.5</b>     | <b>Discussão dos Resultados .....</b>                         | <b>74</b>        |
| <b>7</b>       | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                             | <b>76</b>        |
|                | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                       | <b>77</b>        |

## 1 INTRODUÇÃO

A presença da tecnologia em praticamente todas as áreas da vida moderna tem impulsionado mudanças significativas na forma como nos relacionamos com os espaços, com os objetos e com os próprios sistemas de segurança. Entre essas tecnologias, a computação ubíqua vem ganhando destaque por promover uma integração constante entre dispositivos, pessoas e ambientes, de maneira quase invisível, mas extremamente eficiente. Essa lógica de conectividade contínua encontra aplicações relevantes em setores estratégicos, como o da prevenção e combate a incêndios. Com o avanço da Internet das Coisas (IoT) e o desenvolvimento de microcontroladores mais potentes e acessíveis, tornou-se viável estudar sistemas que unem sensores inteligentes, redes sem fio e plataformas móveis para ampliar a segurança em edificações e reduzir os riscos de sinistros.

A discussão sobre incêndios estruturais é antiga, mas continua atual, especialmente em países como o Brasil, que ainda enfrentam sérias limitações no cumprimento das normas técnicas e na manutenção de sistemas de combate a incêndios. O caso da Boate Kiss, ocorrido em 2013, é um marco trágico que motivou uma série de debates sobre a eficácia das tecnologias de detecção e alarme. Desde então, observa-se um esforço em atualizar legislações e estimular pesquisas na área de automação voltada à segurança.

Nesse contexto, Jean Muenchen (2018) propôs um estudo prático baseado no uso do protocolo MQTT, uma ferramenta de comunicação leve e eficiente para a detecção de incêndios por meio de sensores conectados ao microcontrolador ESP32. Sua proposta é um exemplo claro de como os avanços em IoT podem contribuir para sistemas mais rápidos, inteligentes e acessíveis.

Ao mesmo tempo, a integração entre sensores e sistemas de automação exige uma base sólida de conhecimento sobre segurança digital, privacidade de dados e funcionamento das redes de comunicação. Leew Mertens (2017) destaca que, embora as tecnologias móveis ofereçam inúmeros benefícios, também trazem desafios, principalmente no que diz respeito à privacidade e à segurança da informação. O estudo dele foca em como os dispositivos móveis interagem com sistemas de rastreamento e coleta de dados, alertando para a necessidade de desenvolver soluções tecnológicas que sejam ao mesmo tempo eficazes e seguras. Essa preocupação é essencial quando se trata de sistemas que monitoram, em

tempo real, ambientes sensíveis como indústrias, escolas ou hospitais, onde qualquer falha pode colocar vidas em risco.

Por outro lado, a automação residencial e institucional também tem ganhado força na arquitetura e no urbanismo, principalmente com a incorporação de sistemas domóticos nas construções. Mariana Senna (2021) explora essa dimensão ao discutir como a domótica representa uma resposta às novas demandas da geração midiática, que valoriza a conectividade e a capacidade de controlar remotamente diversos aspectos do ambiente. Essa lógica se aplica também aos sistemas de segurança, que, ao serem integrados a interfaces simples e intuitivas como aplicativos de celular, tornam-se ferramentas eficazes para usuários comuns, não apenas para técnicos especializados. Dessa forma, entender a automação como um recurso funcional e cotidiano amplia suas possibilidades de aplicação e democratiza o acesso a soluções inteligentes.

A escolha do tema deste trabalho surge da percepção de que ainda há um grande espaço para o aprofundamento sobre a aplicação da computação ubíqua em sistemas fixos de combate a incêndio. Embora existam experiências práticas em andamento, como a apresentada por Muenchen (2018), o embasamento conceitual sobre a integração entre IoT, domótica e segurança contra incêndio ainda carece de sistematização. Além disso, muitos dos estudos técnicos ainda se concentram em aspectos específicos da engenharia, sem necessariamente abordar as implicações sociais, legais e operacionais do uso dessas tecnologias em contextos urbanos e residenciais. Assim, a proposta deste estudo é reunir conhecimentos de diferentes áreas — engenharia elétrica, telecomunicações, arquitetura, computação — para aplicar e refletir sobre os benefícios, limitações e desafios envolvidos na automação de sistemas de combate a incêndio.

A computação ubíqua não se limita a um conceito técnico; ela envolve uma mudança na forma como se pensa a relação entre o humano e o ambiente. Ao permitir que os sistemas operem de forma autônoma, aprendendo e se adaptando ao contexto, ela abre caminho para um novo patamar de eficiência e segurança. No entanto, como enfatiza Mertens (2017), é imprescindível que essas tecnologias sejam acompanhadas de políticas de proteção de dados e de mecanismos que garantam a privacidade dos usuários. Em situações de emergência, como incêndios, a coleta e o envio de dados em tempo real podem salvar vidas, mas também podem ser alvo de invasões caso não haja um controle adequado sobre os fluxos de

informação. Por isso, a discussão sobre os protocolos utilizados, como o MQTT citado por Muenchen (2018), deve incluir também uma análise crítica sobre as suas vulnerabilidades e sobre as formas de mitigá-las.

A automação aplicada ao combate a incêndios deve, portanto, ser vista como parte de um ecossistema mais amplo, onde sensores, redes de comunicação, aplicativos móveis e usuários interagem continuamente. Mariana Senna (2021) ressalta que a interatividade é um dos principais pilares da domótica, e esse princípio pode ser perfeitamente aproveitado em sistemas fixos de segurança. Quando um sensor detecta fumaça ou calor, o ideal é que essa informação seja automaticamente processada, validada e encaminhada às autoridades competentes, ao mesmo tempo em que os responsáveis pelo imóvel recebem alertas imediatos no celular e tomem uma decisão de imediato. Esse tipo de resposta em cadeia só é possível quando há uma base tecnológica estruturada, capaz de garantir conectividade estável, precisão nas medições e agilidade na tomada de decisões.

O objetivo geral do trabalho é automatizar o sistema fixo de combate a incêndio, além de monitorar o funcionamento do sistema, ser capaz de tomar uma decisão com base nos eventos ocorridos trazendo ganhos na inspeção, teste e manutenção com um acompanhamento remoto do sistema. As metas para esse projeto são, de uma forma geral;

- ✓ Autonomatizar o sistema fixo de combate a incêndio;
- ✓ Facilitar a inspeção, teste e manutenção;
- ✓ Acompanhar o possível uso indevido do sistema;
- ✓ Monitorar o funcionamento do sistema
- ✓ Tomar decisões com base no evento ocorrido
- ✓ Integralizar todo o sistema;

Diante do exposto o estudo tem como objetivo específico: Monitorar o funcionamento do sistema fixo de combate a incêndio e tomar decisões com base nos eventos ocorridos.

Este estudo justifica-se pela crescente necessidade de modernização e eficiência nos sistemas de combate a incêndio, especialmente diante dos avanços tecnológicos e da popularização de soluções baseadas na computação ubíqua. Em um cenário onde a prevenção e o controle de incêndios exigem respostas rápidas, precisas e seguras, torna-se relevante compreender como tecnologias inteligentes podem ser integradas a sistemas fixos de segurança para potencializar sua atuação.

Atualmente a existência da Segurança contra incêndio e pânico é um tema de suma relevância, vez ou outra nos jornais da cidade vemos notícias de incêndio em casas, lojas, restaurantes e também em condomínios residenciais onde muitas vezes esses locais já possuem sistema de combate a incêndio, mas infelizmente no momento mais crítico não se encontram em pleno funcionamento.

Um sistema de segurança contra incêndio ineficaz pode causar diversos problemas tais como: falha em seu funcionamento, dificuldade no combate ao fogo, baixo desempenho durante o uso, dentre outros. Sendo assim, observa-se que a segurança contra incêndio, direcionando exatamente ao sistema fixo de combate a incêndio é uma área que carece de sistemas computadorizados. Com a implantação de melhorias dos sistemas fixo de combate a incêndio através da computação ubíqua, aplicando a autonomia aos sistemas supracitados as edificações se tornarão mais seguras.

Segundo Brentano (2015), para se ter uma edificação segura, além de um sistema de proteção bem projetado e executado, é necessário que este passe por inspeções, testes e manutenções constantes. Este autor destaca a importância da manutenção do sistema de combate a incêndio para garantir o bom funcionamento dele.

A problemática gira em torno dos seguintes questionamentos, como realizar a inspeção em sistemas de forma eficiente? Como realizar o monitoramento contínuo do sistema de forma remota? Com o conhecimento da engenharia da computação é possível agregar a estes sistemas a computação ubíqua, garantindo uma efetiva inspeção, teste e manutenções de modo a evitar que num momento crítico esse sistema falhe ou esteja desativado. Pois atualmente, de uma forma geral existem sistemas bem robustos que não possuem um sistema de gestão eficiente com aplicação da engenharia computacional aos sistemas. Com a integração desses sistemas facilitará o controle dos dispositivos que compõe o sistema e a tomada de decisão.

Como metodologia, inicialmente realizamos a pesquisa bibliográfica para que pudéssemos levantar o estado da arte, buscando conhecimento sobre linguagem JavaScript, linguagem C, programação, conhecimento de servidor, broket MQTT, nodemcu, ESP32, SQLite e diversos dispositivos de integração. Nesse contexto temos Loureiro (2019), Stephen R. Davis (2016) e Scott Meyers (2014) para embasamento literário, dentre outros. Em seguida, adquirimos os materiais

para elaboração do experimento, com recursos próprios e em parceria com o LAPS-Laboratório de aquisição e processamento de sinais para desenvolvermos um trabalho de campo, constituindo um estudo de caso. Trata-se de um estudo de caso com uma abordagem qualitativa e exploratória, conforme Yin (2001) reafirma que este tipo de pesquisa é uma investigação empírica de um fenômeno dentro do contexto explorando suas condições.

A presente dissertação encontra-se assim organizada: primeiro seção intitulado de computação ubíqua, onde discorre sobre a definição e os princípios fundamentais da computação ubíqua, bem como os pilares conceituais que sustentam a computação ubíqua e uma análise sobre os impactos sociais e éticos decorrentes da disseminação da computação ubíqua; o segundo capítulo é sobre os sistemas de combate a incêndio, retratando a dinâmica e propagação do fogo, os sistemas fixos e móveis de combate bem como sobre a legislação e normas aplicáveis; o terceiro capítulo discorre sobre a automação e monitoramento remoto em sistemas fixos, relata-se também sobre arquitetura de um sistema automatizado sensores, atuadores e comunicação e a segurança e integridade do sistema; no quarto capítulo abordamos automação e controle remoto de sistemas, no quinto capítulos detalhamos a metodologia aplicada no trabalho. No sexto capítulos descrevemos sobre a pesquisa, o experimento dissertando sobre sua construção, estrutura, material e método com análise dos resultados e discussões, e finalizamos no sétimo capítulo com as considerações finais.

## **2 COMPUTAÇÃO UBÍQUA**

Este capítulo abordará a definição e os princípios fundamentais da computação ubíqua, destacando sua proposta de integrar os recursos computacionais ao cotidiano de maneira invisível, constante e autônoma. Serão explorados os conceitos que sustentam essa abordagem tecnológica, como a presença discreta da tecnologia nos ambientes físicos e a capacidade de operar sem exigir a atenção direta do usuário, proporcionando uma experiência fluida e natural de interação com sistemas computacionais. O objetivo é apresentar como essa integração redefine o papel da tecnologia na vida cotidiana, tornando-a um elemento onipresente, porém imperceptível.

Serão discutidos os pilares conceituais que sustentam a computação ubíqua, como onipresença, transparência, interconectividade e contextualização. Esses princípios serão descritos em termos de suas funções operacionais, enfatizando como os sistemas inteligentes se adaptam ao ambiente, coletam dados em tempo real e oferecem respostas automatizadas e pertinentes ao contexto. A partir disso, será possível compreender de que forma a computação ubíqua se diferencia de outros paradigmas tecnológicos e como ela contribui para a criação de ambientes responsivos e personalizados.

O capítulo também incluirá uma análise sobre os impactos sociais e éticos decorrentes da disseminação da computação ubíqua, refletindo sobre questões como a privacidade dos dados, a segurança da informação e a acessibilidade das tecnologias. Serão discutidas as transformações nas formas de uso da tecnologia, bem como as exigências estruturais e culturais que surgem com a adoção de sistemas cada vez mais integrados e automatizados.

### **2.1 Definição e princípios**

A computação ubíqua é um conceito que vem se consolidando cada vez mais no campo da tecnologia da informação e tem como objetivo central integrar os recursos computacionais ao ambiente físico de forma invisível e constante. Criado por Mark Weiser nos anos 1990, esse conceito propõe uma nova forma de usar a tecnologia, em que os dispositivos se tornam parte do cotidiano das pessoas, funcionando de maneira contínua e discreta. De acordo com Rodovalho e Moraes

(2017), a ideia principal é que a interação com os computadores ocorra de forma tão natural e transparente que os usuários sequer percebam que estão lidando com sistemas computacionais.

Segundo Eduardo Couto Piscoto e Jacimar Fernandes Tavares (2022), a computação ubíqua é um paradigma tecnológico que busca integrar os sistemas computacionais ao ambiente físico de forma invisível e contínua, permitindo que os dispositivos atuem de maneira autônoma e distribuída, sem a necessidade de intervenção constante do usuário. Essa integração promove uma relação natural entre pessoas e tecnologia, viabilizando o acesso a informações e serviços em qualquer lugar, a qualquer momento e por meio de múltiplos dispositivos conectados.

A base da computação ubíqua está na noção de que os computadores devem desaparecer da percepção do usuário, mas ainda assim continuar funcionando em segundo plano, auxiliando em diversas tarefas do dia a dia. Isso só se torna possível com o avanço de tecnologias como redes sem fio, sensores, dispositivos móveis e sistemas embarcados. Lopes (2017) destaca que dispositivos como relógios inteligentes, eletrodomésticos conectados à internet, carros com assistência autônoma e até roupas com sensores integrados já são exemplos de como a ubiquidade tecnológica está se tornando realidade.

Os princípios fundamentais da computação ubíqua envolvem, principalmente, quatro pilares: onipresença, transparência, interconectividade e contextualização. A onipresença refere-se à capacidade de os sistemas estarem presentes em todo lugar, sendo acessados a qualquer hora. Já a transparência diz respeito ao fato de que esses sistemas devem operar sem que o usuário perceba sua presença direta, ou seja, as ações ocorrem de forma automática e sem a necessidade de comandos explícitos. A interconectividade, por sua vez, diz respeito à comunicação constante entre dispositivos, que trocam dados em tempo real. Por fim, a contextualização envolve a capacidade dos sistemas de entenderem o ambiente em que estão inseridos e se adaptarem a ele.

Conforme Eduardo Couto Piscoto e Jacimar Fernandes Tavares (2022), um dos princípios fundamentais da computação ubíqua é a invisibilidade da tecnologia, ou seja, a capacidade dos sistemas computacionais de operar em segundo plano, sem que o usuário perceba diretamente sua presença. Essa característica está relacionada à ideia de “tecnologia calma”, que atua de forma sutil,

forneendo suporte eficiente às atividades humanas sem interrompê-las ou exigir atenção contínua. A computação ubíqua, portanto, não deve ser invasiva, mas integrada de forma harmoniosa ao cotidiano.

De acordo com Eduardo Couto Ciscoto e Jacimar Fernandes Tavares (2022), outro princípio essencial da computação ubíqua é a disponibilidade permanente dos serviços e informações, o que implica em acessibilidade contínua, independentemente da localização geográfica do usuário. Essa ubiquidade do acesso é viabilizada por tecnologias móveis e pervasivas que garantem a conexão constante entre dispositivos, sensores, servidores e usuários. A proposta é que o ambiente se torne inteligente e responsivo, antecipando necessidades e respondendo automaticamente a eventos e contextos.

Segundo Eduardo Couto Ciscoto e Jacimar Fernandes Tavares (2022), a computação ubíqua também pressupõe a integração de diversas tecnologias como sensores, microcontroladores, redes sem fio e softwares de análise e visualização de dados. Essa composição tecnológica permite que os ambientes monitorados sejam adaptáveis, escaláveis e orientados por dados, favorecendo decisões em tempo real. A definição da computação ubíqua, portanto, está associada à ideia de tornar a computação invisível, mas sempre presente, moldada pelas demandas dos usuários e pelas condições do ambiente.

A computação ubíqua também está diretamente relacionada com a Internet das Coisas (IoT), conceito que expande ainda mais a ideia de conectividade entre dispositivos físicos e digitais. Segundo Patrício et al. (2018), com a IoT, objetos comuns do cotidiano passam a ter a capacidade de se comunicar entre si e com os usuários, criando ambientes inteligentes e interativos. A conexão de dispositivos como geladeiras, televisores, veículos, sensores de presença e de fumaça é um exemplo claro da aplicação da ubiquidade na prática. Essa comunicação acontece de forma contínua e em tempo real, possibilitando decisões automáticas sem a interferência humana direta.

Mertens (2017) também chama atenção para as implicações que a computação ubíqua pode trazer em termos de segurança e privacidade. Com a constante troca de dados entre dispositivos e a captação de informações pessoais, surgem desafios importantes quanto à proteção dessas informações. Dispositivos móveis, por exemplo, podem armazenar e compartilhar dados de localização, hábitos de consumo e comportamento do usuário, o que exige mecanismos robustos

de segurança digital. A privacidade, portanto, passa a ser um tema central nos debates sobre o desenvolvimento e aplicação dessa tecnologia.

Além dos princípios técnicos, a computação ubíqua também transforma as relações sociais e os modos de vida. Conforme Patrício et al. (2018), a ubiquidade da tecnologia cria um novo tipo de usuário, mais conectado, mais interativo e mais exposto às redes digitais. A sociedade passa a viver em um ambiente digital estendido, onde tudo está registrado, monitorado e interligado. Esse novo cenário exige adaptações não apenas tecnológicas, mas também culturais, educacionais e éticas, pois a linha entre o mundo físico e o digital torna-se cada vez mais tênue.

Outro ponto importante é o papel da Interação Humano-Computador (IHC) na construção de sistemas ubíquos. Rodovalho e Moraes (2017) destacam que, para que a computação ubíqua seja realmente eficaz, é necessário pensar em interfaces simples, intuitivas e integradas ao cotidiano das pessoas. Isso significa que os dispositivos devem ser fáceis de usar, mesmo por quem não tem conhecimento técnico avançado. A acessibilidade, nesse caso, é um fator decisivo para o sucesso da aplicação dessas tecnologias em larga escala.

Apesar das inúmeras vantagens, a computação ubíqua ainda enfrenta desafios importantes. Lopes (2017) aponta que as limitações de infraestrutura, como a qualidade das redes de internet e o alto custo de implementação, dificultam a expansão dessa tecnologia em países em desenvolvimento, como o Brasil. Além disso, questões como padronização de protocolos, interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes e desenvolvimento de soluções de baixo consumo energético ainda são obstáculos a serem superados.

A computação ubíqua representa uma mudança profunda na forma como a tecnologia se insere no cotidiano, promovendo uma integração discreta, contínua e autônoma entre dispositivos, ambientes e usuários. Ao tornar os sistemas computacionais invisíveis à percepção direta, mas altamente funcionais em segundo plano, essa abordagem possibilita o surgimento de ambientes inteligentes e conectados, moldados pelas necessidades humanas e contextos ambientais. Contudo, para que essa integração seja efetiva e segura, é necessário enfrentar desafios relacionados à infraestrutura, interoperabilidade, privacidade e acessibilidade, o que exige não apenas avanços técnicos, mas também uma reflexão ética e social sobre o uso e os limites dessa tecnologia emergente.

## 2.2 Aplicações em sistemas inteligentes

A computação ubíqua vem transformando o modo como interagimos com os espaços, os objetos e até com outros indivíduos. Seu avanço está diretamente relacionado à popularização de dispositivos conectados e à integração desses dispositivos com tecnologias inteligentes. A partir desse cenário, surgem os chamados sistemas inteligentes, que são ambientes onde objetos, sensores e softwares trabalham juntos de maneira automatizada e autônoma, oferecendo respostas e serviços sem que seja necessária a interferência direta do usuário. Segundo Vieira et al. (2016), esses sistemas representam uma evolução natural da computação moderna, que caminha cada vez mais para o invisível e o integrado.

Uma das principais aplicações da computação ubíqua é nos chamados espaços inteligentes. Esses espaços podem ser físicos — como casas, escritórios e hospitais — ou móveis — como veículos e dispositivos vestíveis — e são compostos por uma rede de objetos inteligentes que coletam dados do ambiente, processam essas informações e reagem conforme programado. Vieira e Carvalho (2016) apontam que os espaços inteligentes podem ser divididos em duas categorias: espaços fixos, como uma residência ou sala de aula equipada com sensores, e espaços pessoais, que acompanham o usuário em sua mobilidade, como um smartwatch ou smartphone conectado. Ambos interagem entre si e se adaptam às necessidades e rotinas do usuário.

Os benefícios desses sistemas se estendem a diversas áreas. Na área da saúde, por exemplo, é possível utilizar sensores para monitorar sinais vitais de pacientes em tempo real, possibilitando diagnósticos mais rápidos e tratamentos preventivos. Já em ambientes industriais, a computação ubíqua auxilia no controle de processos produtivos por meio de sensores que detectam falhas em máquinas e alertam equipes técnicas automaticamente. Patrício et al. (2018) destacam que o grande diferencial dessa tecnologia é justamente a possibilidade de criar ambientes responsivos, onde os sistemas operam de maneira contínua e com mínima intervenção humana.

No contexto residencial, as chamadas casas inteligentes são exemplos práticos do uso da computação ubíqua. Luzes que se apagam sozinhas, cortinas que se abrem com a luz do dia, termostatos que ajustam a temperatura de acordo com a presença de pessoas no ambiente, tudo isso já é realidade em muitos lares

modernos. Gomes et al. (2018) explicam que esses sistemas utilizam sensores de presença, sensores de luminosidade e atuadores conectados por redes sem fio que se comunicam por meio de protocolos como o MQTT, possibilitando a automação total de um ambiente doméstico com foco em conforto, economia e segurança.

A aplicação dessa tecnologia em ambientes corporativos também tem sido cada vez mais explorada. Escritórios inteligentes podem monitorar o uso de energia elétrica, otimizar o uso de espaços compartilhados e até ajustar a climatização de acordo com a presença e o perfil dos funcionários. Além disso, sistemas de segurança integrados a sensores de movimento e câmeras inteligentes garantem maior proteção patrimonial. Nesse sentido, Vieira (2016) argumenta que a computação ubíqua permite criar não apenas espaços mais funcionais, mas também mais sustentáveis, já que possibilita um melhor uso dos recursos.

No setor educacional, os sistemas inteligentes baseados em computação ubíqua também têm se mostrado promissores. É possível, por exemplo, utilizar sensores em salas de aula para registrar a presença dos alunos automaticamente, monitorar a iluminação e ventilação adequadas para o conforto térmico e até acionar recursos audiovisuais conforme o conteúdo da aula. Patrício et al. (2018) defendem que essa integração entre espaço, tecnologia e usuários contribui para a criação de ambientes mais dinâmicos, acessíveis e adaptativos, especialmente importantes para instituições de ensino que desejam inovar em suas práticas pedagógicas.

Ainda de acordo com Gomes et al. (2018), um dos pontos mais interessantes na aplicação da computação ubíqua é que os sistemas não precisam ser complexos ou caros. Muitas das soluções desenvolvidas utilizam sensores simples, módulos de comunicação de baixo custo e plataformas de desenvolvimento acessíveis, como o ESP32, por exemplo. Isso possibilita que escolas, empresas de pequeno porte e até mesmo usuários comuns possam adotar essas tecnologias e adaptar os espaços de acordo com suas necessidades e possibilidades financeiras.

Contudo, a implementação de sistemas inteligentes baseados em computação ubíqua também apresenta desafios. Vieira (2016) ressalta que a modelagem desses espaços exige conhecimento técnico especializado, além de ferramentas adequadas para projetar a interação entre os diversos dispositivos. Outro problema é a sobreposição entre espaços inteligentes pessoais e fixos, que pode causar conflitos no controle de dispositivos, como no caso de um celular pessoal tentando se conectar a uma rede corporativa. Para lidar com isso, é

necessário desenvolver metamodelos e linguagens específicas que organizem a forma como esses espaços se comunicam e se sobrepõem.

De acordo com Eduardo Couto Ciscoto e Jacimar Fernandes Tavares, a computação ubíqua permite a integração de sistemas computacionais ao ambiente físico de forma discreta, possibilitando que objetos e dispositivos realizem tarefas de monitoramento, comunicação e processamento sem a percepção direta dos usuários. Essa característica é evidenciada na proposta do sistema EnergyQualy, que monitora a tensão elétrica em tempo real utilizando sensores embarcados, promovendo respostas automáticas diante de oscilações no fornecimento de energia.

Segundo Eduardo Couto Ciscoto e Jacimar Fernandes Tavares, a estrutura do EnergyQualy é composta por uma unidade de monitoramento baseada em dispositivos IoT, um broker MQTT responsável pela publicação dos dados e uma aplicação integrada a um bot no Telegram, o que garante acesso remoto e instantâneo às informações. O sistema permite que qualquer variação significativa na tensão seja identificada e comunicada ao usuário em tempo real, promovendo uma manutenção preditiva eficiente e fundamentada em dados.

Conforme Eduardo Couto Ciscoto e Jacimar Fernandes Tavares, a proposta do EnergyQualy combina três pilares fundamentais: a computação móvel, que garante acesso à informação a partir de qualquer lugar; a computação pervasiva, que se manifesta na infraestrutura de sensores embarcados e conectados; e a computação ubíqua, que surge da união das duas abordagens anteriores para oferecer uma experiência fluida e contínua. Essa junção permite o monitoramento e diagnóstico de sistemas com alto grau de mobilidade e imersão tecnológica.

Segundo Eduardo Couto Ciscoto e Jacimar Fernandes Tavares, o sistema desenvolvido representa um avanço na aplicação prática de conceitos da computação ubíqua, especialmente pela utilização de tecnologias de código aberto, como a linguagem JavaScript e os microcontroladores ESP32. A possibilidade de integração com o Telegram amplia a usabilidade da solução, tornando-a acessível e replicável em diferentes contextos, desde edifícios residenciais até sistemas industriais, contribuindo com dados relevantes para a gestão de energia e a prevenção de falhas.

Deve-se considerar os aspectos éticos e de privacidade. Sistemas inteligentes, por coletarem e processarem dados constantemente, precisam ser desenvolvidos com camadas robustas de segurança da informação. Patrício et al. (2018) reforçam que, ao mesmo tempo em que a ubiquidade da tecnologia traz benefícios, também exige responsabilidade no tratamento dos dados. A confiança dos usuários nesses sistemas depende da garantia de que seus dados pessoais não serão utilizados de forma indevida.

A computação ubíqua transforma a interação entre pessoas, objetos e espaços ao integrar sensores, dispositivos móveis e softwares de forma contínua e automatizada, permitindo que os sistemas inteligentes atuem de maneira autônoma e adaptável em diversos ambientes. Suas aplicações já são observadas em residências, escritórios, escolas, hospitais e indústrias, promovendo economia de recursos, conforto e segurança. Mesmo com soluções acessíveis e de baixo custo, como o uso de microcontroladores e plataformas abertas, a implementação requer planejamento técnico e atenção à segurança da informação. Dessa forma, a computação ubíqua se consolida como um caminho promissor para a construção de ambientes inteligentes e conectados, alinhando tecnologia e funcionalidade à realidade cotidiana.

### **2.3 Tecnologias Associadas (IOT, ESP32)**

A computação ubíqua tem como característica principal a integração invisível da tecnologia ao ambiente, e isso só é possível graças ao suporte de diversas tecnologias complementares. Entre essas tecnologias, duas se destacam: a Internet das Coisas (IoT) e o microcontrolador ESP. Ambas são essenciais para o funcionamento de sistemas inteligentes e autônomos, permitindo que objetos cotidianos se tornem interativos, conectados e capazes de coletar, processar e enviar dados. Essa união entre conceito e prática tecnológica tem viabilizado avanços concretos em áreas como automação residencial, monitoramento ambiental, saúde, energia e segurança.

Segundo Eduardo Couto Ciscoto e Jacimar Fernandes Tavares (2022), a computação ubíqua é caracterizada pela presença discreta e constante da tecnologia no cotidiano das pessoas, promovendo uma interação fluida entre sistemas computacionais e o ambiente físico. Essa integração permite a coleta e o

tratamento de dados de forma automatizada, sem que o usuário precise interagir diretamente com os dispositivos. Essa lógica foi aplicada na criação do sistema EnergyQualy, que realiza o monitoramento remoto da tensão elétrica em equipamentos, fornecendo informações úteis para a prevenção de falhas e a manutenção preditiva.

A Internet das Coisas, ou IoT, é uma tecnologia que permite que objetos físicos estejam conectados à internet, trocando informações entre si e com usuários em tempo real. Como aponta Ferrasi (2023), a IoT transforma objetos comuns — como sensores de temperatura, umidade ou movimento — em elementos ativos de uma rede de comunicação. Isso significa que esses dispositivos deixam de ser apenas passivos e passam a atuar de forma dinâmica, respondendo a estímulos do ambiente e se comunicando com outros elementos do sistema. Essa abordagem é fundamental para a construção de ambientes inteligentes, pois permite a automação baseada em dados reais e contextuais.

No campo da computação ubíqua, a IoT funciona como a espinha dorsal que possibilita o funcionamento contínuo e distribuído dos sistemas. Segundo Ciscoto e Tavares (2022), essa integração é vista em aplicações como o EnergyQualy, um sistema desenvolvido para monitorar o fornecimento de energia elétrica em tempo real por meio de sensores e atuadores conectados a uma infraestrutura baseada em IoT. O sistema utiliza o protocolo MQTT para o envio de dados e uma API no Telegram para notificar os usuários sobre falhas no fornecimento. Esse tipo de solução mostra como os conceitos de computação ubíqua e IoT caminham juntos: enquanto a IoT fornece os meios técnicos para a coleta de dados, a computação ubíqua assegura que essa coleta aconteça de forma contínua e transparente para o usuário.

De acordo com Eduardo Couto Ciscoto e Jacimar Fernandes Tavares (2022), o microcontrolador ESP32 foi a tecnologia escolhida para compor a unidade de monitoramento da solução por oferecer conectividade Wi-Fi integrada, baixo consumo de energia e facilidade de programação. Esse componente é responsável por captar os sinais da fonte energética, realizar a conversão dos dados e publicá-los periodicamente na internet. Sua utilização evidencia como tecnologias compactas e acessíveis podem ser fundamentais para implementar sistemas inteligentes com capacidade de operação autônoma e contínua.

Segundo Eduardo Couto Ciscoto e Jacimar Fernandes Tavares (2022), a

computação ubíqua, associada à IoT e ao ESP32, permite a criação de soluções que vão além do simples monitoramento. No caso do EnergyQualy, a informação processada é disponibilizada ao usuário por meio de um bot no aplicativo Telegram, o que exemplifica como sistemas inteligentes podem oferecer respostas imediatas e contextualizadas. A geração de alertas automáticos em situações de anomalia reforça o potencial dessas tecnologias para melhorar a gestão de recursos, reduzir riscos operacionais e promover maior eficiência em ambientes conectados.

Um dos dispositivos mais utilizados em projetos de computação ubíqua baseados em IoT é o microcontrolador ESP32. Desenvolvido pela Espressif Systems, o ESP32 é um chip de baixo custo que integra Wi-Fi, Bluetooth e diversos pinos de entrada e saída, tornando-se ideal para aplicações que exigem conectividade e controle de sensores. Amorim Jr. et al. (2019) demonstraram a eficácia do ESP32 em sistemas de medição remota de grandezas elétricas, em que o microcontrolador é responsável por coletar dados de tensão, corrente e potência em tempo real, processando essas informações localmente e transmitindo para servidores ou aplicativos de monitoramento.

O ESP32 se destaca não apenas pela sua capacidade de processamento, mas também pela sua eficiência energética, tamanho compacto e flexibilidade de programação. Isso permite que ele seja integrado a diversos tipos de sensores e utilizados em locais com infraestrutura limitada. Ferrasi (2023), por exemplo, utilizou o ESP32 em um protótipo para transporte de amostras biológicas sensíveis a variações ambientais. O dispositivo foi programado para captar dados de temperatura, umidade e luminosidade durante o transporte, garantindo que essas amostras fossem mantidas dentro das condições ideais. Esse exemplo ilustra perfeitamente como a combinação entre IoT e computação ubíqua pode ser aplicada para resolver problemas reais com soluções práticas e acessíveis.

Outro ponto relevante é a comunicação entre dispositivos em tempo real. O protocolo MQTT, citado por Ciscoto e Tavares (2022), é uma tecnologia de mensageria leve muito utilizada com o as placas ESP. Ele possibilita que dados sejam publicados e assinados em canais específicos, permitindo um fluxo contínuo de informações com baixo consumo de rede e energia. Isso é essencial em sistemas ubíquos, que devem operar constantemente sem depender de grandes estruturas ou alta largura de banda.

É importante observar que essas tecnologias associadas à computação

ubíqua não atuam isoladamente. Elas formam um ecossistema integrado que inclui sensores, redes sem fio, plataformas de armazenamento em nuvem e interfaces de visualização. O ESP32, por exemplo, pode ser conectado a sensores de gás, temperatura, presença, fumaça ou até câmeras, dependendo da aplicação. A IoT atua como o elo entre esses dispositivos, transmitindo as informações para sistemas que as processam e transformam em decisões automatizadas. Como destacam Gomes et al. (2018), esse tipo de integração é o que possibilita a existência das chamadas casas e cidades inteligentes, onde a tecnologia se adapta ao comportamento humano de forma quase imperceptível.

No entanto, para que essas tecnologias funcionem adequadamente em ambientes reais, é necessário considerar alguns desafios técnicos, como a estabilidade da rede Wi-Fi, o consumo de energia, a latência na comunicação e a segurança dos dados transmitidos. Ferrasi (2023) chama a atenção para a importância de se implementar criptografia e autenticação nos dispositivos conectados, visto que sistemas ubíquos estão constantemente trocando informações sensíveis, muitas vezes sem o conhecimento direto do usuário. Dessa forma, o desenvolvimento de soluções ubíquas com base em IoT e ESP32 deve sempre estar alinhado a práticas de cibersegurança.

Portanto, a integração entre computação ubíqua, Internet das Coisas e microcontroladores como o ESP tem proporcionado avanços significativos na criação de sistemas inteligentes, responsivos e acessíveis, capazes de operar de forma contínua e autônoma em diferentes contextos. Essa união tecnológica tem viabilizado soluções práticas nas áreas de energia, saúde, transporte e automação, demonstrando que a ubiquidade da tecnologia não se restringe ao conceito, mas se realiza por meio de dispositivos compactos, conectividade eficiente e protocolos de comunicação otimizados. No entanto, para garantir o funcionamento confiável desses sistemas, é indispensável enfrentar desafios técnicos como a estabilidade da rede, o consumo energético e a proteção de dados, assegurando que a tecnologia atue de forma invisível, mas segura e eficaz no cotidiano das pessoas.

### 3 SISTEMAS DE COMBATE A INCÊNDIO

O presente capítulo tem como objetivo apresentar uma visão abrangente sobre os sistemas de combate a incêndio, explorando seus fundamentos teóricos, aplicações práticas e o arcabouço normativo que regula sua implementação. O ponto de partida será a análise da dinâmica e propagação do fogo, tema essencial para compreender os princípios que orientam a escolha e o dimensionamento de sistemas de prevenção e combate em diferentes contextos. Serão discutidos os elementos que compõem o triângulo do fogo, as fases de desenvolvimento de um incêndio e os fatores que influenciam a velocidade e a direção da propagação das chamas, com apoio em estudos científicos e simulações computacionais.

Em seguida, o capítulo tratará dos sistemas fixos e móveis de combate a incêndio, destacando suas principais características, modos de operação, vantagens e limitações. A abordagem contempla tanto os equipamentos automatizados instalados em edificações e ambientes industriais quanto os dispositivos portáteis utilizados por brigadas ou profissionais treinados. Estudos de caso, como o uso de sistemas em hospitais e plantas industriais, serão utilizados para ilustrar as soluções adotadas em diferentes cenários, inclusive com a introdução de tecnologias como robôs autônomos de combate e sensores distribuídos conectados via IoT. Trazendo para as situações regionais, tivemos o incêndio na loja vemkitem, no dia 1 de setembro de 2024, em uma tarde de domingo originou-se o incêndio e no momento do início do fogo, não havia ninguém para fazer o primeiro combate, trazendo nesse contexto um prejuízo que ultrapassam 30 milhões de reais.

Figura 1-Incendio VemKitem



Fonte: Gilberto Leda 2024

Por fim, será discutida a legislação aplicável ao combate a incêndios no Brasil, incluindo normas técnicas da ABNT, Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e legislações estaduais e federais que regem os projetos e a operação dos sistemas de segurança contra incêndios. O capítulo destacará o papel da NBR 12.693, NBR 13714, NR-23 e da Lei nº 13.425/2017, Lei estadual 11.390/2020 além de evidenciar a importância da conformidade legal para garantir a eficácia, a confiabilidade e a manutenção periódica dos equipamentos de proteção. A apresentação normativa será complementada por análises técnicas que reforçam a necessidade de planejamento detalhado e de constante atualização frente às exigências legais.

### **3.1 Dinâmica e propagação do fogo**

Compreender como o fogo se comporta e como ele se propaga é essencial para a eficácia de qualquer sistema de combate a incêndio. Isso porque as ações de prevenção, detecção e combate são diretamente influenciadas pela maneira como o fogo se desenvolve, pelas características do ambiente onde ocorre o sinistro e pelas condições climáticas do momento. Nesse sentido, estudar a dinâmica do fogo é o primeiro passo para projetar estratégias realmente eficientes de segurança contra incêndios.

O fogo é uma reação química de combustão que, para ocorrer, precisa da presença simultânea de três elementos: combustível, comburente (geralmente o oxigênio do ar) e calor. Esse conjunto é conhecido como triângulo do fogo. Quando um desses elementos é removido, a reação se interrompe. No entanto, a complexidade aumenta quando se considera que esses elementos podem estar distribuídos de forma diferente em cada ambiente, alterando significativamente a forma como o fogo se comporta.

Segundo Ramalho et al. (2024), a dinâmica do fogo é fortemente influenciada pelo chamado regime de fogo, que corresponde a um conjunto de padrões de ocorrência de incêndios, como a frequência, a duração, a intensidade e a extensão das chamas. Esses regimes variam de acordo com o ecossistema, tipo de vegetação, relevo, umidade, velocidade do vento e temperatura ambiente. Ambientes como o Cerrado, por exemplo, são adaptados a regimes de fogo

frequentes e até dependem dele para manter seu equilíbrio ecológico. Já regiões como a Mata Atlântica são mais sensíveis e sofrem maiores danos.

Segundo Seito et al. (2008), o incêndio é definido como o fogo fora de controle, com propagação rápida no tempo e no espaço. Essa propagação depende de três fatores fundamentais: o calor, o combustível e o comburente. Quando esses três elementos estão presentes, a combustão pode se manter e evoluir. A dinâmica do fogo envolve a liberação de energia na forma de calor, emissão de fumaça e gases tóxicos, o que compromete rapidamente a segurança estrutural de edificações e a integridade das pessoas. A ausência de ações nos estágios iniciais pode resultar em colapso estrutural e dificuldades de extinção.

De acordo com Trindade (2009), o fator tempo é determinante na evolução de um incêndio. Nos primeiros minutos, um pequeno foco pode ser controlado com medidas simples, mas, com o passar dos minutos, a quantidade de calor gerada aumenta exponencialmente, exigindo estratégias mais complexas e eficazes para o combate. É nesse contexto que se destaca a importância de sistemas de alarme e detecção antecipada, que possibilitam o acionamento imediato das equipes de combate, permitindo a contenção do fogo ainda em sua fase incipiente.

Conforme o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2009), em testes realizados em ambiente fechado, observou-se que a temperatura pode atingir mais de 800°C em menos de uma hora, especialmente nas camadas superiores dos espaços. A variação térmica em função da altura mostra que os gases quentes sobem rapidamente, tornando o ambiente extremamente perigoso para ocupantes e profissionais de resgate. Esse comportamento térmico é essencial para o dimensionamento de sensores e aspersores, que devem ser posicionados estrategicamente em locais com maior risco de propagação.

Segundo Luís Gustavo Oliveira de Freitas (2021), a resposta rápida ao incêndio é fundamental, e o uso de sensores termoelétricos nanoestruturados integrados à IoT representa um avanço na detecção e monitoramento em tempo real. Esses sensores, baseados em nanotubos de carbono, são capazes de detectar variações bruscas de temperatura com grande sensibilidade, emitindo alertas por meio de redes sem fio. Essa inovação permite que brigadas e sistemas automáticos de combate sejam acionados em segundos, reduzindo significativamente o tempo de resposta ao sinistro.

De acordo com Seito et al. (2008), a evolução de um incêndio pode ser dividida em três fases: incipiente, crescimento e decaimento. A fase incipiente é caracterizada por baixa liberação de calor, sendo o momento ideal para ações preventivas. Já a fase de crescimento envolve o acúmulo de calor, liberação intensa de fumaça e risco de flashover, quando todo o ambiente entra em combustão simultânea. Por fim, na fase de decaimento, os materiais combustíveis são consumidos, mas o ambiente ainda apresenta riscos térmicos e estruturais. A compreensão dessas fases é fundamental para o planejamento dos sistemas de supressão.

Conforme Canzian (2020), os incêndios florestais possuem dinâmica distinta, mas igualmente preocupante. Caracterizam-se pela rápida disseminação em áreas extensas, dificultando o combate convencional. Nesses casos, a utilização de sistemas distribuídos de sensores conectados por IoT tem se mostrado promissora, permitindo a localização precisa dos focos de incêndio e o envio automático de informações às centrais de monitoramento. Essa abordagem tecnológica amplia a capacidade de resposta e reduz significativamente os impactos ambientais, sociais e econômicos dessas ocorrências.

Nos contextos urbanos e industriais, onde os sistemas de combate a incêndios são aplicados com mais intensidade, a propagação do fogo costuma ser acelerada pela presença de materiais inflamáveis, grande circulação de pessoas e equipamentos eletrônicos. Para estudar essas situações com mais precisão, ferramentas como o software Fire Dynamics Simulator (FDS) têm sido amplamente utilizadas. De acordo com Tabaczenski et al. (2017), o FDS permite simular cenários realistas de incêndio, possibilitando que engenheiros e bombeiros avaliem o comportamento das chamas, a formação de fumaça e a dispersão do calor em diferentes condições estruturais. Essa análise é fundamental para o planejamento de rotas de fuga, posicionamento de extintores e sistemas de alarme.

A simulação ajuda a compreender que a propagação do fogo pode seguir padrões complexos. Alves (2024) desenvolveu um modelo baseado em autômatos celulares, que representa o espaço como uma grade de células, cada uma com regras específicas de transição. Por meio de algoritmos evolutivos, ele conseguiu ajustar automaticamente os parâmetros do modelo para que as simulações fossem mais realistas. Isso mostra como a computação pode contribuir diretamente com os

estudos de incêndio, oferecendo uma alternativa para a experimentação prática, que costuma ser arriscada e dispendiosa.

Ainda conforme Ramalho et al. (2024), o comportamento do fogo está associado a variáveis como tipo de combustível, inclinação do terreno, presença de obstáculos, umidade relativa do ar e direção do vento. Por isso, a propagação do fogo nem sempre segue uma linha reta. Em locais com materiais sintéticos, por exemplo, as chamas tendem a se expandir com mais rapidez, liberando gases tóxicos que dificultam a evacuação e aumentam os riscos à vida humana. Em contraste, áreas com barreiras físicas ou com sistemas de ventilação adequados podem retardar esse processo.

Um aspecto frequentemente negligenciado é a importância da detecção precoce. O tempo que leva entre o início de um incêndio e a sua detecção é determinante para o sucesso da contenção. É nesse ponto que a automação e os sensores inteligentes, baseados em conceitos da computação ubíqua, ganham relevância. Dispositivos de detecção de calor, fumaça ou gás, conectados em rede e integrados a centrais de monitoramento, podem identificar rapidamente alterações no ambiente e acionar protocolos de emergência antes que o fogo se alastre.

O comportamento dos incêndios também é influenciado pelas características arquitetônicas do ambiente. Prédios altos, por exemplo, têm maior risco de propagação vertical do fogo, exigindo medidas específicas, como pressurização de escadas e sistemas de sprinkler em todos os andares. Já galpões industriais exigem sistemas de combate com maior alcance e intensidade. O uso de materiais de construção com resistência ao fogo, a compartimentação dos ambientes e o isolamento de áreas críticas são estratégias comuns para limitar a expansão do incêndio.

O sistema de prevenção e combate a incêndio é fundamental para que as edificações atendam ao requisito de desempenho quanto à segurança, independentemente da idade de construção. Se há uso, deve haver manutenção e segurança com funcionalidade do sistema na sua operação [...] salienta-se que não basta existir instalado ou previsto o sistema de prevenção e combate a incêndio nas edificações. Ele deve estar em condições para sua operação, quando há o incêndio. A manutenção periódica de seus elementos e a inspeção são atividades imprescindíveis à confiabilidade e ao sucesso da operação. (IBAPE, 2013, p. 7 e 8).

Compreender a dinâmica e a propagação do fogo é mais do que um exercício técnico: é uma exigência prática para a formulação de estratégias eficazes de combate e prevenção. Estudos como os de Tabaczenski et al. (2017) e Alves

(2024) mostram como a ciência e a tecnologia podem colaborar com soluções concretas para problemas reais, especialmente quando o objetivo é proteger vidas humanas e preservar o patrimônio. A tendência, nos próximos anos, é que essas ferramentas de simulação e modelagem estejam cada vez mais presentes no planejamento urbano e na elaboração de normas técnicas, colaborando para um sistema de segurança mais inteligente e adaptado à realidade brasileira.

Dessa forma, compreender a dinâmica e os mecanismos de propagação do fogo é essencial para a construção de sistemas de prevenção e combate a incêndios mais eficazes, seguros e adaptáveis aos diferentes contextos em que ocorrem. A integração entre conhecimento técnico, sensores inteligentes, modelagens computacionais e estratégias arquitetônicas permite não apenas uma resposta mais rápida, mas também um planejamento mais preciso, capaz de reduzir danos estruturais e preservar vidas. À medida que a tecnologia evolui e se torna mais acessível, espera-se que soluções como simulações realistas, monitoramento em tempo real e detecção precoce estejam cada vez mais presentes em projetos urbanos, industriais e ambientais, garantindo um sistema de segurança mais eficiente e alinhado às necessidades contemporâneas.

### **3.2 Sistemas fixos e móveis de combate**

Os sistemas fixos são aqueles que já estão instalados permanentemente em edificações e ambientes industriais. Eles são projetados para atuar automaticamente ou com pouca interferência humana no momento do acionamento. Segundo Costa, Mota e Matos (2017), esses sistemas são fundamentais em locais de alto risco, como plantas de distribuição de gás liquefeito de petróleo (GLP), onde o tempo de resposta precisa ser mínimo. Entre os tipos mais comuns estão os sprinklers, sistemas de dilúvio, hidrantes internos, detectores de fumaça e alarme de incêndio. Além disso, em instalações industriais específicas, há o uso de sistemas com agentes extintores especiais, como CO<sub>2</sub> ou espuma.

Um bom exemplo de sistema fixo é o que foi desenvolvido no projeto citado por Costa, Mota e Matos (2017), em que a planta industrial foi equipada com uma malha de tubulações dimensionada para cobrir toda a área de risco. O sistema contava com bombas, canhões monitores, válvulas de controle, sensores e dispositivos de alarme, todos integrados a uma central de comando. O objetivo era

garantir uma atuação rápida em caso de vazamento ou explosão, minimizando os danos e o risco às pessoas. O estudo mostrou que, com o dimensionamento correto e o uso de normas técnicas, é possível obter uma instalação eficiente e segura.

Figura 2- Sistema fixo de combate a incêndio



Fonte: Autor 2024.

Já os sistemas móveis são equipamentos de combate que podem ser deslocados até o local do foco de incêndio. Os exemplos mais conhecidos são os extintores portáteis, mangueiras, carretéis de incêndio e unidades móveis como caminhões de bombeiros. Esses dispositivos exigem a atuação de uma pessoa ou equipe treinada e são muito utilizados em situações emergenciais quando os sistemas fixos não são suficientes. Como aponta Souza (2024), o uso de sistemas móveis em ambientes hospitalares é comum devido às particularidades dos espaços, como a circulação de pacientes com mobilidade reduzida e a presença de materiais sensíveis ao calor.

No caso dos hospitais analisados por Souza (2024), o plano de combate a incêndios incluía extintores estrategicamente posicionados, além de brigadas internas treinadas para utilizar esses recursos. No entanto, o estudo também apontou limitações, como a dependência da ação humana e a dificuldade de acesso em corredores estreitos e salas fechadas. Por isso, a autora reforça a importância da combinação entre sistemas fixos e móveis, garantindo que, em qualquer situação, haja pelo menos uma resposta possível ao início das chamadas.

Outra inovação interessante no campo dos sistemas móveis é o uso de

robôs de combate a incêndio, como descrito por Conceição (2019). Nessa dissertação, foi testado um robô equipado com sensores capazes de detectar partículas típicas de incêndio (como CO e CO<sub>2</sub>), temperatura e fumaça. O equipamento se deslocava autonomamente por corredores de prédios e era capaz de identificar com precisão os focos de incêndio. A detecção era feita com base em um algoritmo de fusão sensorial, e os dados eram visualizados por meio de um software específico. O uso desse tipo de robô representa uma alternativa viável para ambientes de difícil acesso ou com alto risco para humanos.

A integração entre sistemas fixos e móveis é considerada uma das melhores práticas em segurança contra incêndios. Enquanto os sistemas fixos oferecem uma resposta automática e imediata, os móveis garantem uma resposta localizada e personalizada. Costa, Mota e Matos (2017) destacam que o ideal é que os projetos contemplem ambos os tipos, respeitando a legislação vigente e as particularidades do ambiente. Essa abordagem é recomendada em indústrias, hospitais, escolas, shopping centers e outros locais com grande circulação de pessoas.

Do ponto de vista técnico, os sistemas fixos exigem maior investimento inicial, projeto detalhado e manutenção periódica, mas oferecem maior confiabilidade em longo prazo. Já os sistemas móveis são mais simples de instalar e operar, mas dependem da capacitação dos usuários e da rápida identificação do foco do incêndio. O sucesso na atuação, portanto, está diretamente ligado à preparação da equipe e à clareza dos planos de evacuação e emergência.

A manutenção e inspeção dos sistemas são fundamentais para garantir seu funcionamento adequado. Souza (2024) observou, em seu estudo de caso, que falhas em extintores e mangueiras eram comuns em hospitais que não realizavam vistorias frequentes. Já Conceição (2019) ressaltou que mesmo os robôs, apesar de automáticos, precisam de atualizações no sistema operacional e testes constantes para assegurar sua eficácia em situações reais. A realidade nos mostra que os sistemas de combate a incêndio em sua maioria são negligenciados e encontram-se obsoletos, conforme figura abaixo

Figura 3-Quadro de incêndio



Fonte: Autor 2024

### 3.3 Legislação e normas aplicáveis

O combate a incêndios envolve não apenas tecnologias e equipamentos apropriados, mas também o cumprimento rigoroso de legislações e normas técnicas específicas. Essas normas garantem que os sistemas implementados nas edificações estejam em conformidade com os padrões de segurança necessários para proteger vidas, patrimônios e o meio ambiente. No Brasil, a base legal para a proteção contra incêndios é constituída por um conjunto de normas da ABNT, legislações federais, estaduais e municipais, e também pelas Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho, com destaque para a NR-23.

A Norma Regulamentadora nº 23, instituída pela Portaria nº 221/2011 e atualizada pela Portaria SIT nº 787/2018, determina que toda empresa deve possuir medidas de prevenção e combate a incêndio, equipamentos adequados e devidamente instalados, e colaboradores capacitados para o uso deles. Essa NR também orienta sobre saídas de emergência sinalizadas e desobstruídas, garantindo que em caso de sinistro, todos consigam evacuar o local com segurança.

Entre as principais normas da ABNT aplicáveis ao tema, destaca-se a NBR 12693, que trata dos sistemas de proteção por extintores de incêndio. Essa norma especifica os requisitos para seleção, instalação e manutenção dos

extintores, definindo critérios baseados na carga de incêndio, tipo de risco e ocupação do local. Ela estabelece, por exemplo, a distância máxima que uma pessoa pode percorrer até alcançar um extintor e as condições para o uso de extintores sobre rodas e portáteis.

Outra norma relevante é a NBR 13714, que trata das instalações hidráulicas de combate a incêndio por meio de hidrantes e mangotinhos. Essa norma regulamenta a escolha dos componentes do sistema, os cálculos hidráulicos, a reserva técnica de água, e os testes e manutenções periódicas que devem ser realizados. A não observância desses critérios pode comprometer severamente a eficiência dos sistemas fixos de combate a incêndio.

No campo legislativo, a Lei Federal nº 13.425/2017 estabelece diretrizes gerais para prevenção e combate a incêndios e desastres, especialmente em locais com grande circulação de pessoas. A lei define responsabilidades técnicas dos profissionais envolvidos na elaboração dos projetos de segurança e impõe que tais projetos sejam aprovados pelos órgãos municipais com base nas legislações estaduais. Isso mostra como o Brasil delega grande parte da regulamentação a cada estado, especialmente via os Corpos de Bombeiros, que são os órgãos fiscalizadores locais.

Além das normas federais, os estados brasileiros criam seus próprios Códigos de Segurança Contra Incêndio e Pânico (CSCIP), no Maranhão em vigência possuímos a lei 11.390/2020 com diretrizes detalhadas referente a segurança contra incêndio tanto na lei, quanto em normativas técnicas conforme as características regionais do nosso Estado. Esses códigos são geralmente regulamentados por meio de portarias e normas técnicas complementares emitidas pelos Corpos de Bombeiros. Em todos os casos, a base continua sendo as normas da ABNT, como a NBR 9077 (saídas de emergência), NBR 10897 (chuveiros automáticos) e NBR 17240 (sistemas de detecção e alarme de incêndio) dentre outras.

A importância de seguir essas normas vai além do cumprimento legal. Como mostram Marques e Oliveira (2024), a aderência estrita aos padrões técnicos é o que garante a funcionalidade dos equipamentos, sua confiabilidade durante uma emergência e a possibilidade de atuação rápida e eficaz por parte dos brigadistas ou da equipe de segurança. Segundo os autores, falhas em extintores mal posicionados, sinalizações ausentes ou hidrantes despressurizados são recorrentes

em edificações que negligenciam a manutenção preventiva e a atualização normativa.

Lipke (2021), em estudo aplicado a uma indústria alimentícia, demonstrou como o projeto e a implementação de um sistema de hidrantes precisam ser precedidos por análises técnicas detalhadas. Isso inclui cálculo da pressão necessária, diâmetro das tubulações, localização de bombas e pontos estratégicos de combate. Sem esse dimensionamento correto, mesmo um sistema caro pode falhar ao não atender às exigências da NBR 13714, comprometendo a eficácia do combate ao fogo e elevando riscos para a equipe e a estrutura física da empresa.

## **4 AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO EM SISTEMAS FIXOS**

Este capítulo abordará os fundamentos da automação aplicada aos sistemas fixos de combate a incêndio, com ênfase na arquitetura dos sistemas automatizados e sua integração com tecnologias de monitoramento remoto. Será apresentada a estrutura técnica desses sistemas, destacando os elementos que os compõem, como sensores, controladores, atuadores e plataformas de supervisão, além dos protocolos de comunicação utilizados para garantir o funcionamento contínuo e confiável das operações em tempo real. A proposta é evidenciar como a automação permite respostas rápidas e coordenadas diante de eventos críticos, reduzindo a necessidade de intervenção humana direta.

Será discutida a função de sensores e atuadores no contexto dos sistemas inteligentes, analisando os tipos de dispositivos mais utilizados, suas características técnicas e as formas de comunicação entre eles. A comunicação remota será tratada como eixo central da operação moderna, incluindo o uso de microcontroladores, redes sem fio e protocolos específicos como MQTT e OPC. A interligação desses componentes permite o funcionamento eficiente de soluções automatizadas, tanto em ambientes industriais quanto residenciais, promovendo maior segurança, rastreabilidade e controle das ações de prevenção e combate a incêndios.

Por fim, o capítulo explorará o papel do monitoramento remoto de sistemas, destacando suas funcionalidades, arquitetura e impacto na resposta rápida aos eventos. Também serão discutidas questões relacionadas à segurança e integridade dos sistemas automatizados, como redundância, proteção de dados e resiliência operacional. A intenção é demonstrar como a combinação entre automação, computação ubíqua e Internet das Coisas tem transformado os sistemas de segurança, tornando-os mais acessíveis, inteligentes e adaptáveis às diferentes realidades operacionais.

### **4.1 Arquitetura de um sistema automatizado**

Com os avanços da Indústria 4.0 e o aumento da demanda por sistemas mais eficientes e seguros, a automação passou a desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento de soluções de prevenção e combate a incêndios.

A utilização de sistemas automatizados e de monitoramento remoto em estruturas fixas representa uma evolução significativa nas estratégias de segurança, permitindo que ações de contenção sejam tomadas de forma rápida, precisa e, muitas vezes, sem intervenção humana direta.

Um dos principais benefícios da automação em sistemas de combate a incêndio está na possibilidade de se criar uma arquitetura inteligente, que seja capaz de integrar sensores, atuadores, sistemas de supervisão e alarmes de forma coordenada. Segundo Mognato (2022), um sistema moderno pode ser composto por sensores de temperatura, fumaça e gás, conectados a controladores lógicos programáveis (CLPs), que recebem os sinais e os enviam ao supervisório iFIX, permitindo a visualização em tempo real da situação e o acionamento imediato dos dispositivos de resposta, como bombas e sprinklers.

A estrutura básica de um sistema automatizado de incêndio envolve algumas camadas principais. Na base, estão os sensores e dispositivos físicos, responsáveis por captar dados do ambiente. Esses dispositivos se comunicam com controladores — como CLPs ou microcontroladores — que processam os sinais e enviam comandos aos atuadores. Em seguida, há a camada de supervisão, que pode ser composta por softwares como o iFIX, conforme utilizado no projeto de Mognato (2022), que criou uma tela gráfica para monitoramento remoto de uma estação de combate a incêndio em uma planta de produção de óleo e gás. Essa tela exibia status das bombas, alarmes e histórico de eventos, integrando todas as etapas do sistema.

Do ponto de vista técnico, a comunicação entre os dispositivos é feita por meio de protocolos como o OPC (Open Platform Communications), que permite a troca de dados entre diferentes equipamentos e fabricantes. Isso facilita a integração dos componentes e torna o sistema mais flexível e adaptável a diferentes cenários. Além disso, o uso de redes Ethernet industriais ou redes sem fio específicas permite a transmissão contínua de informações, essencial para o monitoramento remoto.

Além dos benefícios operacionais, a automação também contribui para a segurança patrimonial e humana. Como destaca do Amaral et al. (2024), um plano eficaz de prevenção e combate a incêndio em edifícios comerciais deve prever o uso de tecnologias que permitam resposta imediata, principalmente em locais com grande circulação de pessoas. O estudo realizado em Vitória-ES demonstrou que a integração entre alarmes, sensores e sinalizações de emergência foi capaz de

reduzir o tempo de evacuação e melhorar a comunicação entre os usuários da edificação e os serviços de emergência.

Outro ponto importante na arquitetura automatizada é a implementação de sistemas de verificação automatizada, como discutido por Kater e Ruschel (2020). Eles propõem o uso do *Building Information Modeling* (BIM) aliado a regras automatizadas de segurança contra incêndio. Isso permite não apenas a modelagem da edificação, mas também a simulação e validação das medidas de segurança com base em normas técnicas. A verificação automatizada permite identificar falhas ainda na fase de projeto, o que reduz os custos e aumenta a confiabilidade do sistema após a sua implementação.

No contexto prático, um sistema automatizado de incêndio pode ser composto por:

- Sensores de fumaça, calor e gás;
- CLPs ou microcontroladores para coleta e processamento de sinais;
- Painéis de controle conectados à rede;
- Supervisórios SCADA com telas personalizadas para visualização e controle;
- Atuadores como sirenes, válvulas solenoides, motobombas e sprinklers;
- Integração com sistemas de alarme e evacuação automática.

A arquitetura de automação deve ser planejada com foco na redundância e confiabilidade. Sistemas críticos como os de incêndio não podem falhar. Por isso, é comum que componentes como fontes de alimentação e redes de comunicação sejam duplicados. Além disso, é essencial que haja um plano de manutenção preventiva e testes periódicos do sistema para garantir sua funcionalidade em caso de emergência real.

Segundo Albuquerque (2020), a computação ubíqua, quando integrada a sistemas de automação e monitoramento remoto, permite que objetos e ambientes sejam constantemente observados por meio de sensores conectados em rede, oferecendo respostas rápidas a eventos como incêndios. O autor propôs um sistema IoT de baixo custo voltado à detecção de incêndios florestais, utilizando sensores sem fio que detectam temperatura, umidade, presença de gás e chama, cujo monitoramento é realizado por uma aplicação web. Essa solução se mostrou eficaz tanto em ambientes internos quanto externos, evidenciando o potencial de tecnologias embarcadas para ampliar a vigilância automatizada em tempo real.

Conforme Madakam e Lake (2015, apud Albuquerque, 2020), a arquitetura de um sistema automatizado baseado em IoT pode ser estruturada em seis camadas principais: codificação, percepção, rede, middleware, aplicação e negócios. Cada uma dessas camadas possui uma função específica: a de codificação identifica os objetos, a de percepção realiza a coleta de dados por sensores, a de rede transmite as informações, a middleware processa os dados, a aplicação executa os serviços e a camada de negócios define os modelos operacionais. Essa segmentação arquitetônica permite a escalabilidade e a integração de dispositivos inteligentes em diferentes contextos.

De acordo com Ciscoto e Tavares (2022), a computação ubíqua caracteriza-se pela sua capacidade de integrar-se ao ambiente de maneira invisível, promovendo a coleta contínua de dados por dispositivos conectados. No projeto EnergyQualy, os autores implementaram um sistema que monitora a tensão elétrica em tempo real utilizando microcontroladores ESP32, comunicação via MQTT e envio de alertas por Telegram Bot. O sistema foi aplicado no contexto de transporte vertical (elevadores), demonstrando como a computação ubíqua pode ser útil para o diagnóstico remoto de falhas na fonte energética dos equipamentos.

Segundo Rodovalho e Moraes (2017, apud Ciscoto e Tavares, 2022), a computação ubíqua se diferencia da pervasiva e da móvel por apresentar simultaneamente alto grau de imersão computacional e mobilidade. Essa característica permite que sistemas automatizados operem de forma contínua, em diferentes locais e dispositivos, com mínima intervenção do usuário. A integração entre sensores, computação em nuvem e interface de acesso móvel proporciona não apenas uma arquitetura funcional e distribuída, mas também uma infraestrutura robusta para o monitoramento remoto de sistemas fixos.

Conforme Braga et al. (2017), a utilização de sensores integrados a sistemas inteligentes baseados em IoT permite o monitoramento térmico e elétrico de data centers, com alertas gerados em tempo real para os administradores. O uso de kits Arduino e computação em nuvem possibilitou a coleta e visualização de dados via dispositivos móveis, destacando a importância de uma arquitetura flexível e modular que favorece tanto a usabilidade quanto a confiabilidade dos sistemas automatizados. A abordagem adotada mostra como a automação pode ser aplicada em ambientes de missão crítica, com benefícios diretos na gestão energética.

De acordo com Lima et al. (2020), a arquitetura de sistemas

automatizados voltados ao consumo energético residencial também se beneficia da computação ubíqua, ao permitir o acompanhamento em tempo real do consumo por eletrodoméstico. A aplicação desenvolvida, denominada ResEnControl, utiliza microcontroladores ESP32 com sensores simulados de corrente e tensão, conectados a uma aplicação web. Essa estrutura evidencia como a arquitetura de sistemas automatizados pode ser adaptada tanto a contextos industriais quanto domésticos, promovendo monitoramento remoto e controle eficiente dos recursos energéticos.

Ainda conforme Mognato (2022), um dos grandes diferenciais da automação aplicada ao combate a incêndio é a capacidade de gerar históricos de eventos, que ajudam na análise posterior do comportamento do sistema. Com isso, é possível identificar padrões, antecipar falhas e melhorar continuamente o desempenho do sistema com base em dados reais.

Dessa forma, a automação integrada à computação ubíqua e à Internet das Coisas tem redefinido o modo como os sistemas de combate a incêndio são projetados, monitorados e operados, oferecendo respostas mais rápidas, precisas e inteligentes a situações emergenciais. A capacidade de integrar sensores, atuadores, softwares de supervisão e plataformas de análise em uma arquitetura robusta e escalável transforma ambientes antes passivos em sistemas ativos de proteção, capazes de agir autonomamente diante de ameaças. Essa transformação não apenas aumenta a segurança de edificações e pessoas, mas também contribui para a eficiência operacional e a redução de riscos, consolidando a automação como elemento essencial das estratégias modernas de segurança contra incêndio.

## **4.2 Sensores, atuadores e comunicação**

A evolução da tecnologia trouxe grandes avanços para os sistemas de combate a incêndios, principalmente com a integração da automação industrial e das soluções de monitoramento remoto. Neste contexto, os sensores, atuadores e protocolos de comunicação se tornaram peças-chave para que a detecção e a resposta a princípios de incêndio sejam cada vez mais rápidas, eficientes e seguras. Essa combinação tecnológica permite identificar anomalias com precisão e acionar dispositivos em tempo real, mesmo à distância (Leite et al., 2024).

Segundo Silva et al. (2024), os sensores utilizados em sistemas automáticos de incêndio são responsáveis por captar variáveis como calor, fumaça e gases tóxicos no ambiente. Esses sensores funcionam como os "olhos" do sistema, pois são eles que fornecem os primeiros sinais de alerta. Entre os tipos mais comuns estão os detectores de fumaça ópticos e iônicos, os sensores de temperatura fixa e termovelocimétricos, além de detectores de chama e de gás. A escolha do sensor ideal depende das características do ambiente protegido, da presença de ventilação, do tipo de material armazenado e da sensibilidade necessária.

Esses sensores se conectam a atuadores, que são dispositivos responsáveis por executar as ações previstas em caso de alerta. Como destacam Leite et al. (2024), os atuadores podem incluir alarmes sonoros e visuais, sirenes, luzes estroboscópicas, sistemas de exaustão de fumaça, válvulas automáticas para liberação de agentes extintores e até aspersores de água ou gás inerte. A resposta do sistema automatizado é programada conforme os sinais recebidos dos sensores, criando um ciclo eficiente de detecção e ação.

Um diferencial importante dos sistemas modernos é a comunicação entre sensores e atuadores, que hoje é feita principalmente por meio de redes industriais ou protocolos de Internet das Coisas (IoT). O trabalho de Silva et al. (2024) mostra como microcontroladores como o ESP32, aliados ao protocolo MQTT, são capazes de enviar dados instantaneamente para uma central ou para o celular de um responsável. Esse tipo de tecnologia elimina a necessidade de cabeamento extenso, reduz os custos de instalação e facilita a ampliação do sistema.

A computação ubíqua vem se consolidando como uma das bases estruturantes da automação remota em ambientes fixos, permitindo que dispositivos estejam conectados e atuem de forma inteligente mesmo sem a intervenção humana direta. Segundo Freitas (2021), sistemas baseados em Internet das Coisas (IoT) permitem o desenvolvimento de arquiteturas de sensoriamento com comunicação integrada, processamento local e capacidade de emitir alertas em tempo real, o que é particularmente importante em contextos como o monitoramento de incêndios industriais e florestais. Conforme o autor, esses sistemas são compostos por sensores termelétricos conectados a microcontroladores que utilizam protocolos como MQTT, garantindo a rápida transmissão dos dados.

De acordo com Albuquerque (2020), a eficiência de um sistema automatizado depende da integração harmônica entre sensores, atuadores e as

camadas de comunicação que interligam esses elementos. A arquitetura proposta pelo autor divide o sistema IoT em cinco camadas principais: codificação, percepção, rede, middleware e aplicação, sendo que cada uma possui funções específicas que vão desde a identificação dos sensores até a interface final com o usuário. Ainda segundo o autor, a computação ubíqua é responsável por viabilizar o acesso direto aos dados em nuvem, permitindo a atuação remota e contínua dos dispositivos de monitoramento.

Segundo Freitas (2021), os sensores utilizados nos sistemas fixos de monitoramento remoto foram desenvolvidos com base em materiais nanoestruturados, como o Buckypaper, que apresentam alta sensibilidade térmica. Essa tecnologia possibilita detectar variações de temperatura em ambientes internos ou externos com precisão, sendo essas variações utilizadas como parâmetro para acionar alarmes de incêndio. A comunicação entre o sensor e o sistema é viabilizada por placa ESP32 conectadas ao protocolo MQTT, que envia sinais diretamente a um aplicativo móvel, reduzindo o tempo de resposta e aumentando a efetividade da ação preventiva.

Conforme Albuquerque (2020), o emprego de sensores de temperatura, gases e chamas, associados a redes de transmissão como Wi-Fi ou LoRa, amplia a abrangência dos sistemas e permite o monitoramento de áreas extensas. A camada de percepção da arquitetura é responsável por captar os dados do ambiente e transformá-los em sinais digitais, os quais são repassados pela camada de rede para processamento. De acordo com o autor, esse tipo de estrutura é fundamental para aplicações em segurança ambiental e predial, onde a automação precisa garantir respostas rápidas diante de situações de risco.

Freitas (2021) também destaca a importância dos atuadores, que, ao receberem comandos dos sistemas de controle, podem executar ações como o acionamento de sirenes, sprinklers ou mensagens visuais. O controle desses atuadores é feito de forma automatizada, com base nos dados recebidos dos sensores, configurados para interpretar sinais de termovoltagem gerada por diferenças de temperatura. Conforme o autor, a possibilidade de envio bidirecional de mensagens no sistema — do sensor ao aplicativo e vice-versa — reforça a confiabilidade e a robustez da automação, permitindo inclusive reconfigurações em tempo real.

De acordo com Albuquerque (2020), a comunicação eficiente entre os componentes do sistema depende da escolha adequada dos protocolos e da estrutura de middleware. Ele defende o uso do protocolo MQTT pela sua leveza e confiabilidade em ambientes com conectividade instável, como áreas florestais. Além disso, destaca que o uso de interfaces móveis de fácil configuração e leitura garante que o usuário final possa interpretar os alertas emitidos e tomar decisões imediatas, reforçando o papel da computação ubíqua como aliada fundamental na segurança digital e ambiental.

Já Oliveira (2019), em sua dissertação, ressalta a importância de utilizar protocolos padronizados, como o OPC (OLE for Process Control), para garantir a integração entre diferentes fabricantes de equipamentos. Em seu projeto, ele utilizou sensores conectados a um CLP (Controlador Lógico Programável) programado em linguagem Ladder, que interagia com o software MATLAB por meio da toolbox OPC. Essa abordagem permitiu o desenvolvimento de um sistema completo de supervisão, controle e aquisição de dados para o combate a incêndios, instalado em um depósito de propulsores do Centro de Lançamento de Alcântara.

Além da integração de sensores e atuadores, os sistemas atuais investem em comunicação redundante e segura, com o uso de protocolos robustos como o Modbus TCP/IP, o OPC-UA e redes LoRaWAN em ambientes industriais. Esses sistemas garantem que, mesmo em situações adversas como quedas de energia ou perda de sinal, as mensagens de alarme e as ações de combate ainda sejam executadas corretamente.

Leite et al. (2024) também exploram a aplicação de agentes cognitivos embarcados em sensores inteligentes, que conseguem aprender com os dados do ambiente e ajustar seus parâmetros de detecção sem a necessidade de reprogramação. Essa tecnologia, chamada de AIoT (Artificial Intelligence of Things), transforma os sensores em elementos autônomos capazes de comunicar eventos e interagir com sistemas centrais mais complexos, como os usados por instituições públicas de resposta a emergências.

Portanto, a evolução dos sistemas de combate a incêndio passou a depender fortemente da automação, da conectividade e da inteligência embarcada nos dispositivos, que juntos formam uma infraestrutura robusta e altamente responsiva. A integração entre sensores, atuadores e protocolos de comunicação, aliada ao uso de microcontroladores como o ESP32 e à adoção de arquiteturas

baseadas em IoT e computação ubíqua, possibilita a criação de soluções seguras, flexíveis e eficientes, capazes de operar de forma contínua e com mínima intervenção humana. Esses avanços tecnológicos não apenas aprimoram a capacidade de resposta diante de situações emergenciais, mas também permitem a personalização, o monitoramento remoto e a aprendizagem adaptativa dos sistemas, elevando o nível de proteção patrimonial, ambiental e humana.

### **4.3 Aplicativo para monitoramento remoto**

Nos últimos anos, os avanços tecnológicos permitiram o desenvolvimento de soluções inovadoras para o monitoramento e combate a incêndios, especialmente com o uso de aplicativos móveis integrados a sistemas automatizados. Esses aplicativos atuam como ferramentas de apoio em tempo real, oferecendo aos usuários acesso imediato a informações cruciais sobre o estado de segurança do ambiente monitorado. O trabalho de Lupi (2024) apresenta um exemplo bastante completo dessa tecnologia. O autor desenvolveu um sistema voltado ao monitoramento de armazéns com algodão, usando sensores específicos conectados a um gateway via comunicação LoRa. Os dados coletados, como níveis de monóxido de carbono (CO), gás GLP, hidrogênio, temperatura e umidade, são enviados para um banco de dados em nuvem (Firebase). Um aplicativo acessa essas informações e emite alertas de risco diretamente no celular do usuário.

Segundo Albuquerque (2020), o desenvolvimento de um aplicativo para monitoramento remoto via sistema IoT foi essencial para validar a comunicação entre o sensor de detecção de incêndios e o usuário final, possibilitando o recebimento em tempo real das mensagens enviadas pelo protótipo. Para isso, foi utilizado o aplicativo MYMQTT, que opera por meio do protocolo MQTT, permitindo a visualização de alertas e supervisão como “INCENDIO” e “Nenhuma Ocorrência” a partir da variação de parâmetros preestabelecidos dos equipamentos, como temperatura detectada pelo sensor e convertida em mensagens digitais.

Outro projeto relevante é o de Santos (2022), que elaborou um sistema de automação residencial capaz de detectar incêndios e vazamentos de gás, com notificação remota via aplicativo. Utilizando o microcontrolador ESP32, sensores de chamas, temperatura e gás, além de um relé para acionamento de sirenes e alarmes, o sistema denominado *FireSafe* foi conectado ao Google Firebase,

garantindo a sincronização dos dados com o aplicativo móvel. O aplicativo foi desenvolvido com uma interface simples e intuitiva na plataforma Kodular, permitindo que qualquer pessoa, mesmo sem conhecimento técnico, consiga visualizar as condições do ambiente e receber alertas de risco instantaneamente.

A grande vantagem dos aplicativos de monitoramento remoto está na mobilidade e agilidade da resposta. Como mostra Silva et al. (2020), no setor industrial, onde sistemas de filtragem de ar podem representar risco de incêndio, foi desenvolvido um sistema de monitoramento preditivo com sensores de temperatura interligados a uma aplicação web. Embora o foco fosse a prevenção de incêndio em filtros de mangas, a lógica é semelhante: sensores coletam os dados, transmitem para a nuvem e o usuário é alertado em caso de anomalias. Esse modelo também se mostrou funcional em celulares e tablets, contribuindo para a tomada de decisões rápidas e seguras.

A arquitetura básica desses sistemas é composta por três componentes principais: hardware de monitoramento, base de dados em nuvem e aplicativo móvel. No primeiro, sensores detectam variáveis como temperatura, fumaça e gases inflamáveis. Os dados são então enviados para servidores em nuvem (como Firebase ou Amazon Web Services) e, por fim, acessados por meio do aplicativo. O aplicativo geralmente exibe informações em tempo real, histórico de eventos e alertas emergenciais via notificação push, SMS ou email.

É fundamental que o aplicativo tenha uma interface amigável e funcione em segundo plano, notificando os usuários mesmo quando o sistema estiver inativo. Lupi (2024) destacou a importância de testes de confiabilidade com os sensores e o impacto positivo que o aplicativo gerou, alertando o usuário de forma eficaz sobre situações críticas mesmo em fase de testes. O uso de ícones visuais e gráficos intuitivos foi essencial para garantir uma boa usabilidade e resposta rápida.

A conectividade é outro fator central. Em áreas onde o sinal de Wi-Fi ou celular é fraco, soluções baseadas em LoRa, como no projeto de Lupi (2024), são alternativas eficazes. Já em ambientes urbanos com boa infraestrutura de rede, o uso de Wi-Fi ou 4G é suficiente para garantir a transmissão dos dados. O desafio, segundo Santos (2022), é garantir que o aplicativo mantenha estabilidade e segurança no envio dos dados, evitando falhas que possam comprometer a resposta a incêndios.

Esses sistemas ainda possibilitam a configuração de níveis de risco personalizados, como mostra o aplicativo desenvolvido por Santos (2022). O usuário pode definir, por exemplo, um limite específico de temperatura ou concentração de gás para que o alarme seja disparado. Isso é particularmente útil em locais onde variações naturais dos sensores ocorrem, permitindo uma calibragem mais precisa e evitando alarmes falsos.

Do ponto de vista econômico, os autores destacam que a implementação de tais sistemas apresenta baixo custo. O sistema FireSafe, citado por Santos (2022), custou menos de R\$ 400,00 para ser desenvolvido, sendo acessível a pequenas empresas e residências. Além disso, os aplicativos são gratuitos ou utilizam planos básicos de hospedagem de dados, o que amplia ainda mais sua viabilidade.

De acordo com Albuquerque (2020), o aplicativo MYMQTT foi configurado com os parâmetros definidos no algoritmo de controle, como endereço do broker, porta de comunicação, nome de usuário e senha. Após essa etapa, o app já podia receber mensagens dos tópicos inscritos. A interface do aplicativo incluía funções para assinatura de tópicos, envio de mensagens e armazenamento das notificações recebidas com data e hora, facilitando a análise futura do comportamento do protótipo em situações de risco.

Segundo Albuquerque (2020), o monitoramento remoto permitiu a calibração do sistema com cinco alertas principais: um para sistema em modo automático, sinalizando “Automatico”, outro para sistema em modo manual, indicando “Manual” outro para baixa pressão, outro para sistema em funcionamento e por fim, para alertar defeito elétrico/abertura do quadro. Quando o limite é ultrapassado, o aplicativo recebe a mensagem e aguarda o retorno do usuário com a confirmação “OK” para restabelecer o estado de monitoramento. Esse processo garante maior confiabilidade e assertividade no acompanhamento do sensor, tornando o sistema eficaz mesmo com um pequeno atraso de comunicação, que foi de aproximadamente 3 segundos durante os testes.

Conforme Albuquerque (2020), o aplicativo móvel utilizado compõe a camada de aplicação da arquitetura IoT desenvolvida na pesquisa. Essa camada tem como função permitir ao usuário o acompanhamento em tempo real das variáveis monitoradas, além de possibilitar ações corretivas imediatas com base nos dados recebidos. Essa estrutura é fundamental para integrar os dispositivos de

sensoriamento ao contexto da computação ubíqua, onde a conectividade e o acesso remoto são permanentes e automatizados.

De acordo com Albuquerque (2020), o sistema também utilizou um tópico específico para recebimento de mensagens do usuário, onde o aplicativo enviava o comando “OK” após a detecção de um possível incêndio. Essa funcionalidade foi essencial para validar o funcionamento do protocolo de resposta do sistema, que deixava de enviar alertas contínuos apenas após a confirmação do usuário, garantindo que o evento foi verificado e tratado adequadamente.

Segundo Albuquerque (2020), com o protótipo devidamente calibrado e testado, o sistema foi considerado apto para aplicações práticas de monitoramento remoto. A sugestão apresentada pelo autor inclui a utilização do mesmo modelo em redes de sensores distribuídas em áreas florestais, onde o aplicativo de monitoramento permitiria ao operador verificar o status de múltiplos sensores simultaneamente, viabilizando uma resposta rápida e coordenada em casos de emergência.

Portanto, os aplicativos móveis integrados a sistemas automatizados de monitoramento e combate a incêndios representam uma solução tecnológica eficaz, acessível e adaptável a diferentes contextos, oferecendo mobilidade, rapidez e precisão nas respostas a situações de risco. A arquitetura composta por sensores conectados, comunicação em nuvem e interfaces intuitivas permite que os usuários acompanhem em tempo real o estado dos ambientes monitorados, recebam alertas imediatos e tomem decisões estratégicas mesmo à distância. Além disso, o uso de plataformas de baixo custo e protocolos eficientes, como MQTT e LoRa, amplia a viabilidade da tecnologia, demonstrando que a combinação entre automação, IoT e computação ubíqua pode transformar significativamente a segurança patrimonial, ambiental e humana com soluções simples, escaláveis e de alto impacto.

#### **4.4 Segurança e integridade do sistema**

No trabalho de Santos (2022), que apresentou o sistema *FireSafe* para ambientes residenciais, a preocupação com a integridade do sistema foi destacada desde o desenvolvimento dos sensores até a comunicação com o aplicativo. Um ponto importante foi o uso de notificações em tempo real, que permitem ao usuário agir de forma imediata. Além disso, o autor ressaltou a importância de testar o

sistema em diversas condições de operação, com foco na estabilidade da rede Wi-Fi e na resposta dos atuadores, como sirenes e módulos de relé. Isso mostra que, para além da detecção, o sistema precisa manter uma rotina de verificação constante de seus componentes.

A segurança cibernética dos dados também é um fator central quando se fala em monitoramento remoto. Como apontado por Lupi (2024), que desenvolveu um sistema de detecção de incêndio para armazéns com algodão usando sensores e comunicação LoRa, a escolha do banco de dados e do aplicativo utilizado interfere diretamente na confiabilidade da informação. Embora o uso do Firebase em plano gratuito tenha apresentado limitações, foi possível implementar uma estrutura mínima de autenticação e armazenamento seguro. Isso é vital, pois qualquer invasão ou corrupção de dados pode comprometer todo o sistema, inclusive disparar falsos alarmes ou omitir alertas reais.

A integridade dos sistemas automatizados depende também da resistência e calibragem dos sensores. No estudo de Silva et al. (2020) sobre manutenção preditiva em filtros de mangas, os sensores de temperatura precisavam estar calibrados dentro de uma faixa de erro mínima, pois variações indevidas poderiam atrasar o alerta de incêndio. Além disso, foi destacada a importância de realizar manutenção preventiva e calibração periódica dos sensores. Para garantir essa integridade, o sistema foi programado para enviar alertas não apenas em situações de risco, mas também quando os sensores apresentavam leituras inconsistentes, sinalizando possível falha técnica.

No contexto industrial, Oliveira (2019) apresentou um sistema supervisório para controle do SACI (Sistema Automático de Combate a Incêndio) do Centro de Lançamento de Alcântara. Ele utilizou a integração entre CLP, linguagem Ladder e o software MATLAB para garantir que os comandos de alarme e atuação fossem executados com precisão e sem atraso. A segurança do sistema foi garantida com o uso do protocolo OPC, que oferece confiabilidade na comunicação entre diferentes dispositivos. Além disso, o sistema possuía redundância nos canais de transmissão, evitando falhas em caso de perda de conexão.

Outro ponto abordado por Leite et al. (2024) diz respeito à resiliência dos sistemas inteligentes frente a eventos inesperados. Por meio da aplicação de agentes cognitivos, foi possível programar sensores para ajustarem seus parâmetros de leitura de forma autônoma, o que contribuiu significativamente para a integridade

da detecção. Isso significa que, mesmo em ambientes de variação térmica constante ou com ruídos eletromagnéticos, os sensores eram capazes de filtrar informações e garantir leituras confiáveis. Essa capacidade de autoajuste eleva a segurança do sistema e reduz a incidência de falsos positivos ou falhas de detecção.

Portanto, garantir a integridade e a confiabilidade dos sistemas automatizados de monitoramento e combate a incêndios exige uma abordagem abrangente, que vá desde a escolha adequada dos sensores até a implementação de rotinas de verificação contínua, protocolos de comunicação seguros e infraestrutura de dados resiliente. A estabilidade da rede, a calibração periódica dos dispositivos e a adoção de camadas de segurança cibernética são elementos indispensáveis para evitar falhas operacionais e proteger tanto os usuários quanto o patrimônio monitorado. A adoção de estratégias como redundância, autenticação, autoadaptação de sensores e validação constante das leituras fortalece a robustez dos sistemas e assegura respostas rápidas e eficazes, mesmo diante de condições adversas ou inesperadas.

## 5 METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido com base em uma pesquisa de natureza quali quantitativa e exploratória, tendo como objetivo levantar, organizar e analisar informações disponíveis na literatura científica e técnica acerca do objeto de estudo para realizar a aplicação prática. Analisar a aplicação da computação ubíqua em sistemas fixos de combate a incêndio por meio da integração de uma sólida base teórica com a aplicação prática de um experimento de automação e monitoramento remoto. A metodologia foi dividida em duas etapas principais: uma pesquisa bibliográfica aprofundada e um estudo de caso prático para validação do conceito.

A primeira etapa consistiu em uma pesquisa bibliográfica abrangente, consultando sistematicamente livros, artigos acadêmicos, monografias, dissertações, teses, normas técnicas e legislações. As fontes foram selecionadas em bases de dados acadêmicas e repositórios institucionais de universidades brasileiras, priorizando documentos que abordassem aspectos técnicos, operacionais e normativos relacionados à computação ubíqua, IoT e sistemas de combate a incêndio. A análise de conteúdo permitiu a identificação de conceitos-chave, práticas e diretrizes, fundamentando a construção de uma base teórica robusta.

A segunda etapa da metodologia envolveu a realização de um estudo de caso exploratório e prático. A abordagem, conforme Yin (2001), é ideal para investigar um fenômeno dentro de seu contexto real. Para isso, foi desenvolvido um protótipo em escala de um sistema fixo de combate a incêndio, que incluiu:

**Hardware:** bomba de incêndio, tubulação, registros, válvulas, pressostato, chave de fluxo, manômetro e um quadro de comando. Para o sistema de controle, foram utilizados componentes eletrônicos como microcontrolador, fonte, blocos de contato e sensores.

**Software e comunicação:** O microcontrolador foi configurado para monitorar os sensores e quando necessário tomar uma decisão de forma remota. O sistema utilizou um aplicativo de monitoramento e foi construído todo dashboard no NODE RED para receber dados enviados ao broker MQTT e emitir alertas com base em parâmetros pré-definidos além de tomar decisões e acionar comandos.

A parte quantitativa da pesquisa baseou-se nos testes experimentais realizados no protótipo. O sistema foi pressurizado a 3 kgf/cm<sup>2</sup> e os testes de funcionamento foram realizados com a simulação da abertura de um hidrante, que provocou uma queda de pressão. O comportamento do sistema foi monitorado remotamente através do aplicativo, permitindo a análise da resposta do sistema. Os dados de pressão foram registrados e utilizados para elaborar um gráfico que demonstrou a atuação do sistema e a capacidade de resposta em tempo real. A análise desses dados comprovou a eficácia da automação e do monitoramento remoto.

Todo o processo investigativo foi conduzido com respeito aos princípios éticos e acadêmicos, incluindo o registro fotográfico e a devida citação das obras consultadas. A triangulação das fontes teóricas e a validação prática através do experimento garantiram a consistência das conclusões.

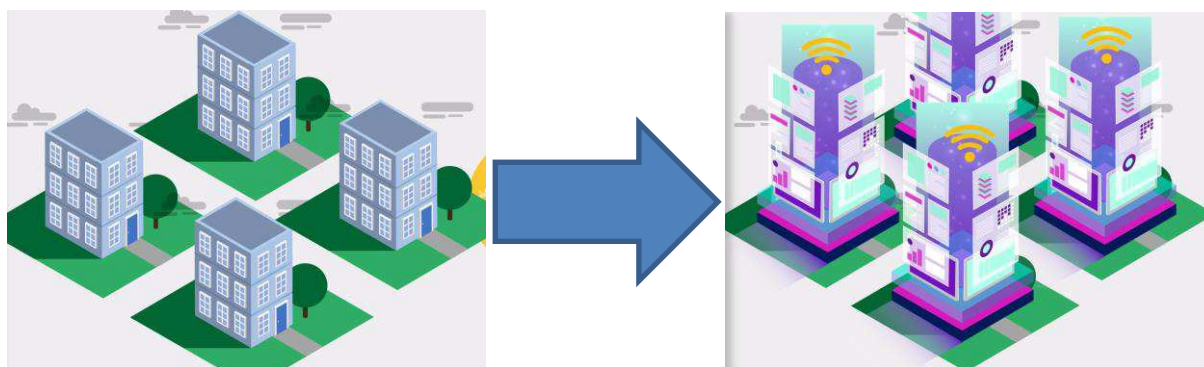
## 6 RESULTADO E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta o passo a passo de como foi desenvolvido o estudo de caso, com a confecção do projeto e os resultados da pesquisa prática. Discute a aplicação da computação ubíqua em um protótipo de sistema fixo de combate a incêndio. Os resultados foram obtidos através de um estudo de caso exploratório, no qual foi montado e testado um sistema em escala, permitindo os testes e validação da arquitetura e o monitoramento de seu desempenho.

### 6.1 Detalhamento do projeto

O projeto consiste em obter dados do sistema fixo de combate a incêndio, tratá-los e dependendo das condições em que o sistema estiver, tomar uma decisão para que o sistema entre em funcionamento sempre que necessário de forma autônoma.

Figura 4 - Desenho de ilustração para envio de dados

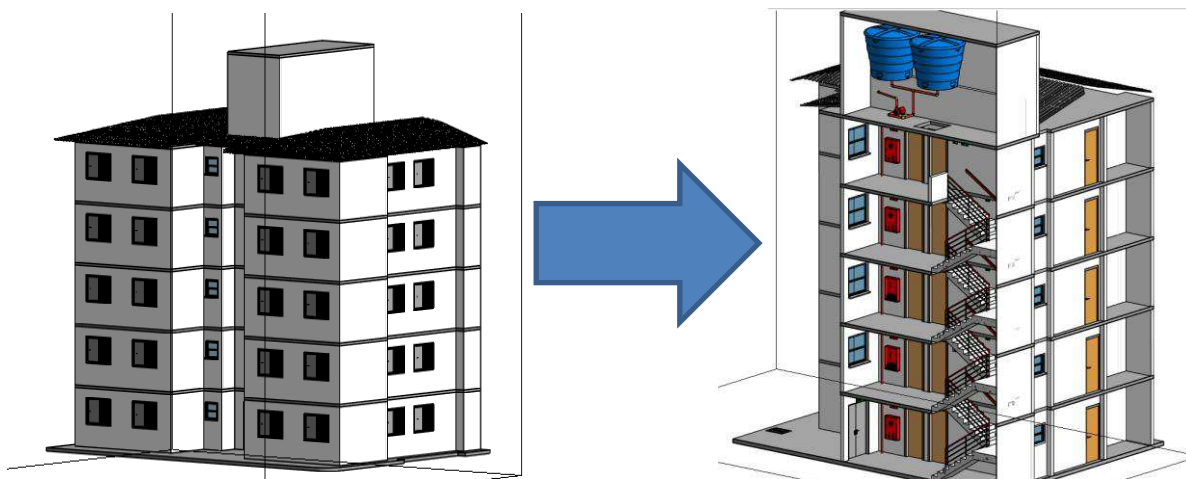


Fonte: Autor 2024

Os dados que foram coletados e monitorados para a tomada de decisão são, sensor de pressão, sensor de nível de água, senso de tensão, corrente, potencia, bem como a posição de chaves seletoras e relés. Sabemos que em uma edificação vertical é fundamental para a segurança de todas as pessoas monitorarem um sistema de incêndio em uma edificação vertical de forma remota e em tempo real, além desse sistema ser capaz de entrar em pleno funcionamento quando necessário. O projeto/estudo de caso desenvolvido integra sensores com um microprocessados EPS32, fazendo a leitura dos sensores, dispositivos, botões e

relés onde o ESP32 se conecta a rede WIFI, publica os dados coletados no broker MQTT e na interface do Node-RED esses dados são tratados e subscritos em um dashboard elaborado no projeto. Toda a programação desde a linguagem do microcontrolador, MQTT, Node-Red foram elaboradas para que o projeto fosse realizado e desempenhar um papel crucial para otimizar a segurança da edificação.

Figura 5 - Desenho de ilustração de uma edificação para identificação dos sistemas de incêndio



Fonte: Autor 2024

## 6.2 Materiais utilizados

Para a realização do experimento, foram utilizados diversos materiais e componentes para simular um sistema de combate a incêndio completo, incluindo uma bomba, tubulações e conexões, pressostato, chave de fluxo, manômetro, e um quadro de comando com microcontrolador. A bomba de combate a incêndio e seu suporte foram utilizados para simular o funcionamento e a operação do sistema. As conexões, válvulas, manômetro e pressostato foram mobilizados para montar o sistema em escala. O sistema hidráulico foi montado e interligado ao quadro de comando, que foi personalizado com layout, furos e a instalação de componentes eletrônicos como o microcontrolador, fonte, contator, chaves seletoras, botões e LEDs.. Abaixo encontra-se os materiais utilizados.

Utilizamos uma bomba de combate a incêndio trifásica de 3 CV para simular o funcionamento e operação da mesma, junto com a base/suporte de bomba para amenizar a vibração do sistema, além da bomba trifásica no projeto

possuíamos uma bomba reserva monofásica de 1 CV para testes iniciais, conforme figura abaixo.

Figura 6 - Bomba de incêndio



Fonte: Autor 2024

Como o projeto prevê um sistema em escala, foi mobilizado um conjunto de conexões, tê, joelho, niple registros esfera, válvulas de uma polegada, chave de fluxo, manômetro glicerinado, pressostato para montar um sistema em escala, conforme figura 7 abaixo

Figura 7: Conexões do projeto



Fonte: Autor 2024

Após conseguir todos os recursos físicos para a construção do sistema, foi realizado a montagem do cavalete em escala, com a tubulação e conexões de 1 polegada, realizado o aperto apertos, conexões e pintura do experimento conforme figura 8 abaixo

Figura 8 – Cavalete de bomba



Fonte: Autor 2024

O Sistema hidráulico do experimento já montado para interligação junto ao quadro de comando, conforme figura 9 abaixo;

Figura 9 – Sistema de bombas



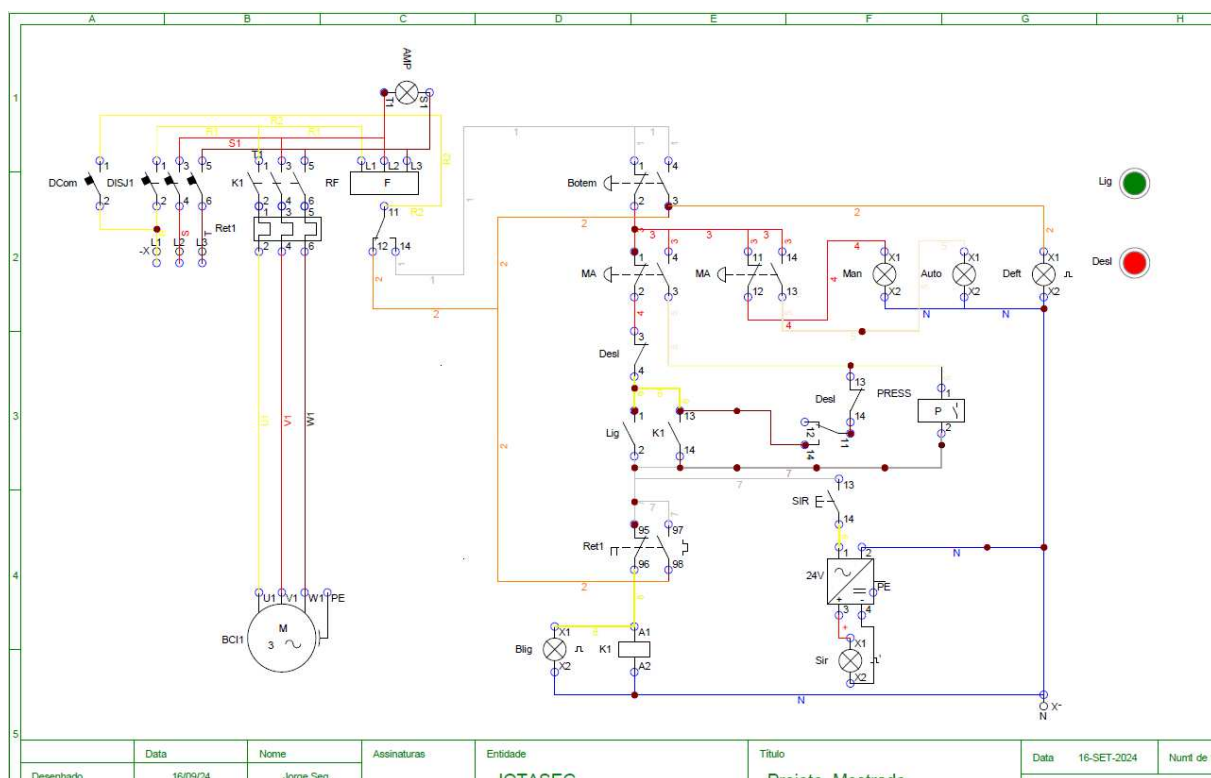
Fonte: Autor 2024

Com o sistema hidráulico do experimento já montado para interligação junto ao quadro de comando, foi montado do zero toda estrutura para o quadro, desde a aquisição do quadro, componentes e além da realização do serviço de



Conforme evidenciado logo acima já encontra o sistema montado e finalizado pronto para uso, antes da construção do quadro foi feito o diagrama unifilar completo do quadro e adicionado todo layout e composição do sistema para supervisionar o sistema de comando e sensores adicionados e tomar decisões com base no código que foi elaborado e estruturado. Abaixo colocamos o diagrama do quadro elétrico que foi elaborado no software CADeSIMU, conforme figura abaixo;

Figura 13 -Diagrama unifilar do quadro de comando

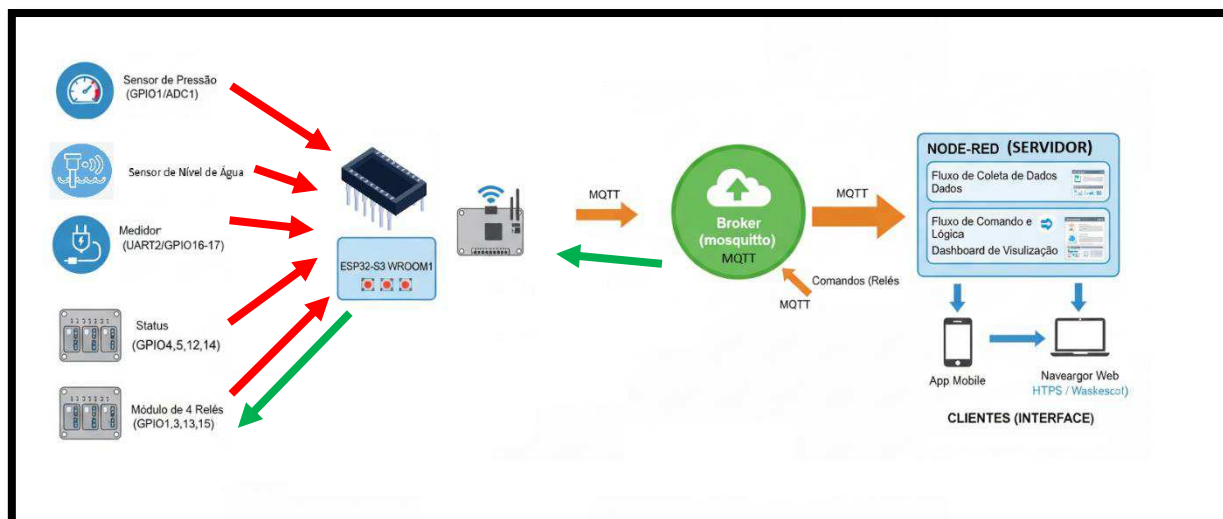


Fonte: Autor 2024

### 6.3 Comunicação do sistema

O processo de monitoramento e obtenção de dados de sensores, botões e relés, com base em todos os sistemas e construções elaboradas, iniciou com o microcontrolador ESP32, e a subsequente publicação dessas informações via Wi-Fi para um broker MQTT e utilizado o Node-RED, para visualização dos dados. A linguagem utilizada no projeto no ESP32 foi a Linguagem C, e para a construção do dashboard foi a Linguagem JavaScript, ambos desenvolvidos no software Visual Studio Code e Node-RED. A comunicação do sistema desenvolvido foi dividido em etapas bem definidas, baseadas em protocolos e arquiteturas de sistemas embarcados.

Figura 14 - Esquema de comunicação dos dispositivos



Fonte: autor 2025

### 6.3.1 ESP32

O ESP32, um System on a Chip (SoC) com microcontrolador e conectividade Wi-Fi integrado, é o principal nó de aquisição de dados. Ele utiliza suas interfaces de hardware para interagir com os componentes periféricos do projeto:

**Sensores Analógicos (Pressão e nível de água):** O ESP32 possui um conversor analógico-digital (ADC) de alta resolução (12-bit). A tensão de saída do sensor de pressão, que é proporcional à magnitude da pressão, é lida pelo pino analógico-digital. O ADC amostra essa tensão e a converte em um valor digital (0-4095), que é então escalonado e linearizado no firmware para representar o valor físico da pressão.

**Sensores Digitais (PZEM):** O PZEM-004T utiliza a comunicação serial assíncrona (UART) para transmitir dados. No firmware do ESP32, é criada uma interface de SoftwareSerial (ou o uso de uma UART dedicada), permitindo a leitura de pacotes de dados binários do PZEM. Esses pacotes contêm as informações de tensão, corrente e potência, que são então decodificadas e armazenadas em variáveis de ponto flutuante (float).

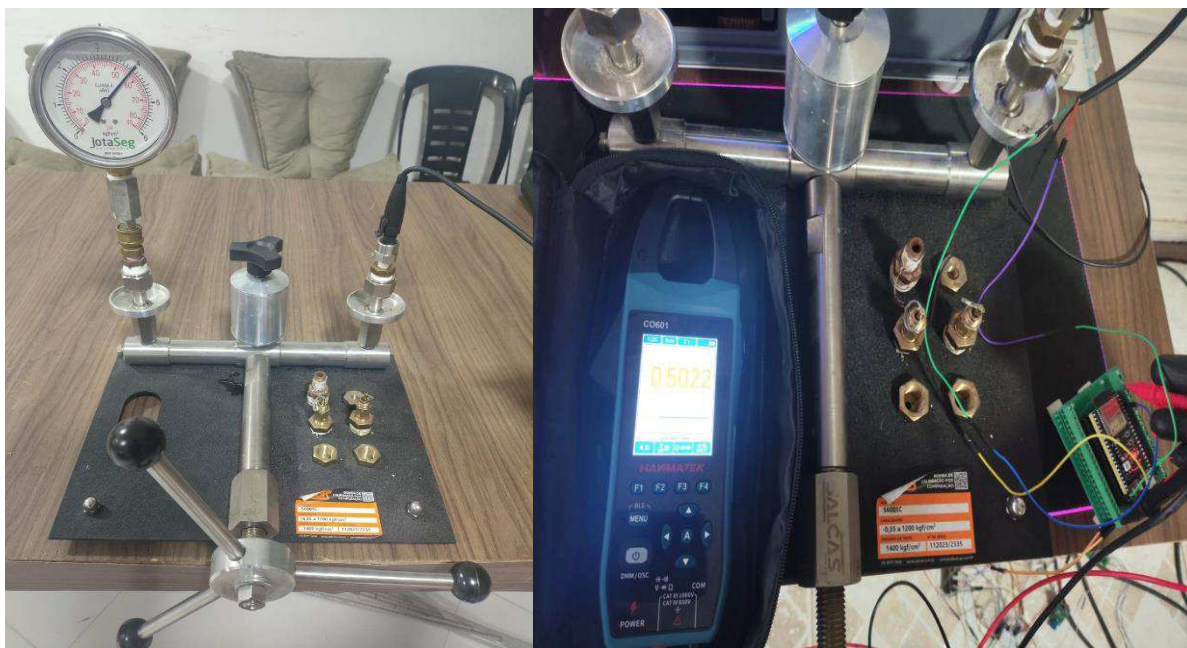
**Botões e Relés:** A leitura de botões e o controle de relés são feitos através dos pinos de entrada/saída de propósito geral (GPIO). Um botão, por

exemplo, atua como um interruptor que, quando pressionado, muda o estado de um pino de entrada (de HIGH para LOW ou vice-versa), gerando uma interrupção. O relé, um atuador, é controlado por um pino de saída que, quando configurado para um estado específico (HIGH ou LOW), aciona o relé.

#### *6.3.1.1 Validação do sensor de pressão*

A calibração do sensor de pressão no projeto de pesquisa não é apenas um passo técnico, mas um processo de validação empírica que confere credibilidade e precisão ao trabalho. Em sistemas de computação ubíqua e IoT, onde a tomada de decisão é baseada em dados de sensores, a precisão da informação é tão importante quanto a sua conectividade. As especificações de fábrica (como a tensão de 0.5V para 0 PSI) serviu como um ponto de partida teórico. No entanto, o experimento demonstrou que as condições reais do projeto, ruídos elétricos, pequenas variações no hardware e no divisor de tensão, ou o próprio envelhecimento do sensor fazem com que a leitura de zero pressão tenha um valor diferente na prática, portanto foi necessário validar as medições com o uso do manômetro analógico como referência permitiu que validássemos a leitura do sensor digital. Adotado o processo de "dois pontos" (pressão zero e uma pressão conhecida) é um método robusto que cria uma curva de calibração precisa e personalizada para o sistema. Isso mostrou que o projeto não está apenas usando uma tecnologia, mas compreendendo e ajustando-a para que ela seja funcional e confiável onde calibração correta da pressão é a base para as decisões do sistema. Uma leitura precisa da pressão permite que o sistema saiba, com exatidão, quando acionar a bomba de combate a incêndio em caso de emergência ou quando emitir um alerta de falha. A confiança no sistema é construída a partir da precisão dos dados, e a calibração foi o que garantiu essa precisão.

Figura 15 – Calibração de sensor de pressão



Fonte: autor 2025

### 6.3.2 Protocolo de comunicação

A arquitetura do sistema utiliza o MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), um protocolo de mensagens leve e eficiente, ideal para dispositivos com recursos limitados como o ESP32 e redes de baixa largura de banda. Na estrutura de comunicação o ESP32 atua como um publisher (publicador) se conecta a um se conectam a um broker MQTT e o Node-RED atua como um subscriber (assinante) e Publisher (publicados), também conectado ao broker MQTT. O broker MQTT central, que gerencia a distribuição das mensagens. Estas mensagens são organizadas em uma hierarquia de tópicos. O ESP32 publica cada tipo de dado em um tópico específico e bem definido (incendio/pzem/tensao, incendio/sensor/pressao). Essa estrutura hierárquica permite que o Node-RED assine tópicos de forma seletiva (incendio/#), recebendo apenas as informações relevantes para cada fluxo.

Publicação da Mensagem: O firmware do ESP32, usando uma biblioteca

MQTT (como PubSubClient), formata os dados lidos em uma string e a envia como payload de uma mensagem MQTT para o broker, no tópico correspondente.

### 6.3.3 Transmissão de Dados via Wi-Fi

Após a preparação da mensagem, o ESP32 utiliza sua interface Wi-Fi para se conectar à rede local. A mensagem é empacotada em uma estrutura de dados de protocolo TCP/IP e enviada ao broker MQTT. A conectividade sem fio é fundamental para a flexibilidade e a escalabilidade do sistema, permitindo que os nós de aquisição de dados sejam instalados em qualquer local da edificação sem a necessidade de cabeamento de rede complexo.

### 6.3.4 Node-RED

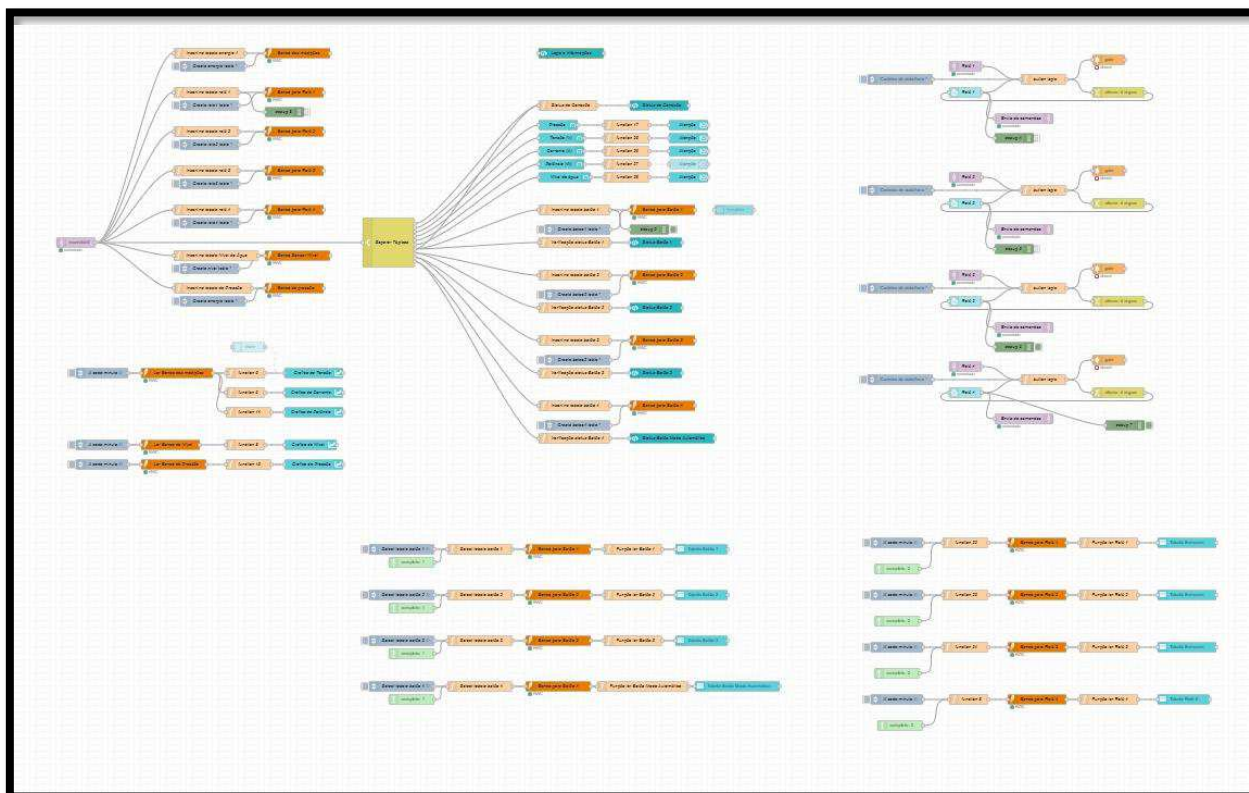
O Node-RED é uma ferramenta de programação visual baseada em fluxos que permite conectar dispositivos de hardware, APIs (Interfaces de Programação de Aplicações) e serviços online. Ele funciona como uma interface de processamento e visualização, facilitando a criação de fluxos, atuando como a interface de processamento e visualização. Tratando da assinatura e ingestão de dados, o nó **mqtt in** no Node-RED é configurado para assinar os tópicos MQTT (ex: incendio/#). Ao receber uma mensagem do broker, ele a "injeta" no fluxo do Node-RED. A mensagem recebida, que contém o tópico e o payload, é direcionada para os nós de processamento, com roteamento e lógica: um nó switch pode ser usado para rotear a mensagem para diferentes caminhos com base no seu tópico (ex: incendio/pzem/tensao para o medidor de tensão, incendio/status/conexão para um indicador de status).

Os dados processados são enviados para nós de visualização como ui-gauge e ui-chart do Node-RED Dashboard, para que seja possível consumir e visualizar os dados de forma correta. Esses nós, agindo como interfaces de usuário, convertem o valor numérico do payload da mensagem em representações visuais (medidores, gráficos, indicadores de status), fornecendo um painel de controle interativo e em tempo real para o operador.

A arquitetura elaborada de forma modular permite o monitoramento do sistema e o acionamento se necessário onde o formato mencionado facilita a

manutenção ou ajustes de forma prática, onde cada componente (sensores, ESP32, broker, Node-RED) desempenha sua função específica de forma eficiente, garantindo a integridade e a utilidade dos dados de segurança.

Figura 16 – Fluxo dos nós e diagrama de comunicação do projeto de pesquisa



Fonte: autor 2025

### 6.3.5 Dashboard

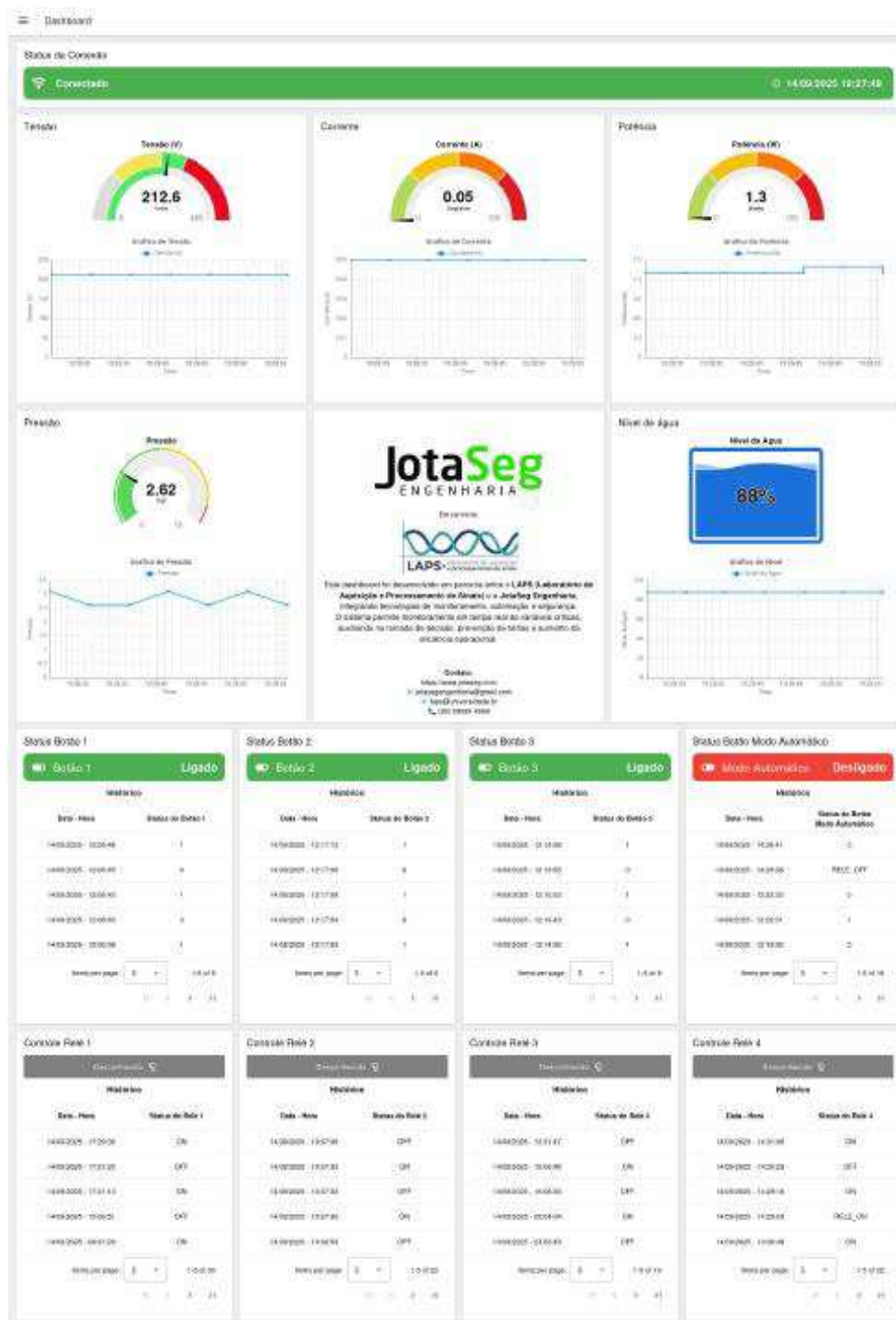
A importância do painel de controle (dashboard) no projeto é fundamental, pois o dashboard atua como a interface humana do sistema projetado. É através dele que os dados brutos gerados pelo ESP32 e seus sensores/dispositivos se transformam em informações compreensíveis e acionáveis, permitindo o monitoramento e o controle do sistema de combate a incêndio além de possibilitar a tomada de decisões de forma autônoma. O dashboard criado consolida todas as informações do sistema em um único lugar, eliminando a necessidade de verificar cada componente individualmente onde todos os dispositivos do projeto se tornam ícones visuais em uma tela em tempo real. Esta visualização permite uma interpretação rápida e clara do estado atual do sistema e a partir disso, tomar

decisões. É possível saber imediatamente se há pressão suficiente nas tubulações, se a bomba está ligada ou desligada, se o sistema está em automático e se há alguma irregularidade nas leituras de tensão, corrente ou potência. O ponto chave do dashboard elaborado é a parametrização e geração de gráficos, armazenando as informações do projeto para consultar o histórico de eventos.

O Node-RED, através do dashboard criado, permite que os dados não sejam apenas mostrados, mas também interpretados. O dashboard além de tomar decisões com base nos eventos, permite também que o usuário atue no sistema remotamente, controlando os relés com o clique de um botão. Isso é vital para a operação, permitindo que os operadores liguem ou desliguem os dispositivos a partir de qualquer lugar com acesso à internet.

O dashboard elaborado é a prova visível de que a arquitetura do projeto funciona. Ele torna o sistema tangível e demonstra como a computação ubíqua pode ser aplicada em um cenário prático. Um dashboard bem desenhado é a chave para uma boa experiência do usuário. Gráficos, indicadores e botões intuitivos tornam o sistema fácil de ser operado e compreendido, mesmo por pessoas sem conhecimento técnico avançado. O dashboard criado transforma o complexo fluxo de dados do projeto em uma ferramenta de monitoramento e controle que é crucial para a segurança, a eficiência e a usabilidade do sistema de combate a incêndio. Ele é a ponte entre a inteligência do seu hardware e a capacidade humana de interpretar e agir com base nessa informação. Abaixo consta o recorte do dashboard elaborado;

Figura 17 - Dashboard elaborado do projeto de pesquisa

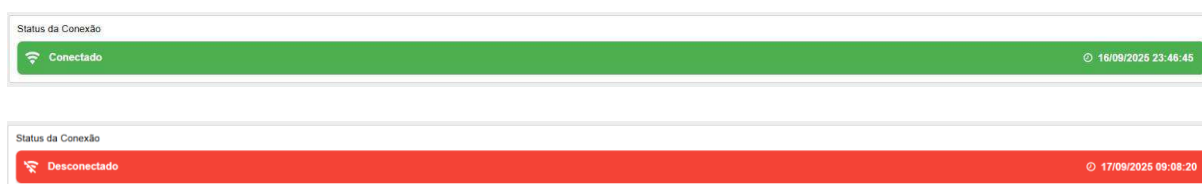


Fonte: Autor 2025

### 6.3.5.1 Detalhamento do Dashboard

A primeira informação do Dashboard criado nos traz o dado de comunicação do MQTT junto com o ESP32, informação essa que puxa no banco de dados de forma automática o dia e horário do evento e em cores verde e vermelha demonstra de o ESP32 está conseguindo se comunicar e publicar os dados no Broker MQTT, caso não esteja comunicando será visível verificar esse status.

Figura 18 – Status de conexão



Fonte: Autor 2025

Logo abaixo do status de conexão vem as informações de tensão, corrente e potência do projeto, onde monitora o quadro elétrico e bomba de incêndio, gerando o gráfico das informações em tempo real. Abaixo a figura demonstrando esses dados. A tensão da rede é uma informação vital para o sistema e foi programado para gerar e registrar uma notificação caso a tensão fique menor que 200 voltz, onde o sistema registra e avisa o usuário dessa anomalia;

Figura 19 – Monitoramento de tensão, corrente e potência



Fonte: Autor 2025

Logo abaixo vem as informações de pressão da rede, dados visuais do projeto em parceria com o LAPS-Laboratório de aquisição e processamento de sinais e o monitoramento do nível da caixa d'água. O sensor de pressão foi programado para acionar o sistema assim que a pressão fique menor que 2 kgf/cm<sup>2</sup>, gerando notificação ao usuário e acionando a bomba de incêndio além de

armazenar essas informações no histórico de eventos e gráfico. Além da pressão, no nível de água foi gerado um alerta para quando a capacidade do reservatório diminuir abaixo de 30% da sua capacidade, conforme abaixo;

Figura 20 – Monitoramento de pressão e nível de água



Fonte: Autor 2025

Os botões e relés têm um papel fundamental, atuando como a ponte entre o controle humano e a automação do sistema de combate a incêndio. Eles são os principais componentes de entrada e saída (E/S) que permitem a interação direta com o sistema físico. Os botões funcionam como sensores digitais, permitindo que envie comandos manuais para o microcontrolador. Eles atuam como interruptores: quando pressionados, mudam o estado de um pino de entrada (de HIGH para LOW ou vice-versa). No projeto, esses botões são cruciais monitorar e tomar decisões quanto a chave seletora que alterna entre os modos "manual" e "automático", dando ao operador a capacidade de assumir o controle total do sistema quando necessário e informar o status do sistema. Botão de emergência, ligar/desligar, ou reset, permitindo uma ação imediata no quadro de comando, algo vital para a segurança em uma situação crítica. Acionamento da bomba, através da contatora, identificando quando a bomba foi acionada ou se necessário tomar a decisão para acioná-la

No dashboard elaborado, é possível o estado dos botões, o que ajuda a entender quem interagiu com o sistema e quando para de forma remota e autônoma acionar o sistema. Além dos botões, o sistema possui relés que são os atuadores. Eles recebem um sinal do microcontrolador e controlam o acionamento de dispositivos do projeto. Quando o ESP32 envia um sinal (HIGH ou LOW), o relé age como um interruptor eletrônico para ligar ou desligar a bomba, a sirene, reiniciar o sistema. A automação do sistema depende dos relés para ligar a bomba de combate a incêndio quando uma queda de pressão é detectada junto a outros eventos. O uso

de relés isola o microcontrolador da alta tensão da bomba, garantindo a segurança do sistema eletrônico.

A integração de botões e relés no projeto criou um sistema completo de controle e monitoramento, onde os botões fornecem a interface para o controle humano e os relés executam as ações necessárias, seja de forma manual ou automática, garantindo a segurança e a funcionalidade do sistema. Abaixo encontra-se o conjunto de botões e relés do projeto.

Figura 21 – Monitoramento de botões e relés

Botão de status 1

Botão 1

Ligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Botão 1 |
|-----------------------|-------------------|
| 16/09/2025 - 21:37:35 | 1                 |
| 16/09/2025 - 09:25:49 | 1                 |
| 16/09/2025 - 00:45:09 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:53:16 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:52:41 | 1                 |

Itens por página:

5

1.5 de 7

<<<>>>

Botão de status 2

Botão 2

Desligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Botão 2 |
|-----------------------|-------------------|
| 16/09/2025 - 21:37:35 | 1                 |
| 16/09/2025 - 09:25:49 | 1                 |
| 16/09/2025 - 00:45:09 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:53:16 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:52:41 | 1                 |

Itens por página:

5

1.5 de 7

<<<>>>

Botão de status 3

Botão 3

Desligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Botão 3 |
|-----------------------|-------------------|
| 16/09/2025 - 21:37:35 | 1                 |
| 16/09/2025 - 09:25:49 | 1                 |
| 16/09/2025 - 00:45:09 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:53:16 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:52:41 | 1                 |

Itens por página:

5

1.5 de 7

<<<>>>

Botão de status 4

Botão 4

Desligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Botão 4 |
|-----------------------|-------------------|
| 16/09/2025 - 21:37:35 | 1                 |
| 16/09/2025 - 15:41:27 | 1                 |
| 16/09/2025 - 09:25:49 | 0                 |
| 16/09/2025 - 00:45:09 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:56:11 | 0                 |

Itens por página:

5

1.5 de 14

<<<>>>

Controle Relé 1

Relé 1

Ligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Relé 1 |
|-----------------------|------------------|
| 16/09/2025 - 21:42:34 | SOBRE            |
| 16/09/2025 - 18:33:04 | SOBRE            |
| 16/09/2025 - 18:32:55 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 18:32:52 | SOBRE            |
| 16/09/2025 - 18:32:51 | DESLIGADO        |

Itens por página:

5

1.5 de 26

<<<>>>

Controle Relé 2

Relé 2

Desligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Relé 2 |
|-----------------------|------------------|
| 16/09/2025 - 21:42:52 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 21:42:51 | SOBRE            |
| 16/09/2025 - 21:42:50 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 18:40:05 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 18:40:04 | SOBRE            |

Itens por página:

5

1.5 de 24

<<<>>>

Controle Relé 3

Relé 3

Desligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Relé 3 |
|-----------------------|------------------|
| 16/09/2025 - 21:42:54 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 11:31:27 | DESLIGADO        |
| 15/09/2025 - 13:25:44 | DESLIGADO        |
| 15/09/2025 - 13:25:37 | SOBRE            |
| 15/09/2025 - 13:25:24 | DESLIGADO        |

Itens por página:

5

1.5 de 22

<<<>>>

Controle Relé 4

Relé 4

Desligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Relé 4 |
|-----------------------|------------------|
| 16/09/2025 - 21:42:58 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 11:31:28 | DESLIGADO        |
| 15/09/2025 - 13:25:20 | DESLIGADO        |
| 15/09/2025 - 13:09:37 | SOBRE            |
| 15/09/2025 - 13:09:36 | DESLIGADO        |

Itens por página:

5

1.5 de 10

<<<>>>

Assim como no status de conexão do ESP32 ao wifi e publicação dos dados no broker MQTT, que muda de desconectado (cor vermelha) para conectado (cor verde) quando aos botões e relés foi adicionado também essa identificação por cores para facilita a identificação de quando o sistema está ligado ou desligado.

Figura 22 – Monitoramento de botões e relés com informações registradas

Botão de status 1

Botão 1

Ligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Botão 1 |
|-----------------------|-------------------|
| 16/09/2025 - 21:37:35 | 1                 |
| 16/09/2025 - 09:25:49 | 1                 |
| 16/09/2025 - 00:45:09 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:53:16 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:52:41 | 1                 |

Itens por página: 5 1.5 de 7

Botão de status 2

Botão 2

Ligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Botão 2 |
|-----------------------|-------------------|
| 16/09/2025 - 21:37:35 | 1                 |
| 16/09/2025 - 09:25:49 | 1                 |
| 16/09/2025 - 00:45:09 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:53:16 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:52:41 | 1                 |

Itens por página: 5 1.5 de 7

Botão de status 3

Botão 3

Ligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Botão 3 |
|-----------------------|-------------------|
| 16/09/2025 - 21:37:35 | 1                 |
| 16/09/2025 - 09:25:49 | 1                 |
| 16/09/2025 - 00:45:09 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:53:16 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:52:41 | 1                 |

Itens por página: 5 1.5 de 7

Botão de status 4

Botão 4

Ligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Botão 4 |
|-----------------------|-------------------|
| 16/09/2025 - 21:37:35 | 1                 |
| 16/09/2025 - 15:41:27 | 1                 |
| 16/09/2025 - 09:25:49 | 0                 |
| 16/09/2025 - 00:45:09 | 1                 |
| 15/09/2025 - 13:56:11 | 0                 |

Itens por página: 5 1.5 de 14

Controle Relé 1

Ligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Relé 1 |
|-----------------------|------------------|
| 16/09/2025 - 21:42:34 | SOBRE            |
| 16/09/2025 - 18:33:04 | SOBRE            |
| 16/09/2025 - 18:32:55 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 18:32:52 | SOBRE            |
| 16/09/2025 - 18:32:51 | DESLIGADO        |

Itens por página: 5 1.5 de 26

Controle Relé 2

Desligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Relé 2 |
|-----------------------|------------------|
| 16/09/2025 - 21:42:52 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 21:42:51 | SOBRE            |
| 16/09/2025 - 21:42:50 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 18:40:05 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 18:40:04 | SOBRE            |

Itens por página: 5 1.5 de 24

Controle Relé 3

Desligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Relé 3 |
|-----------------------|------------------|
| 16/09/2025 - 21:42:54 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 11:31:27 | DESLIGADO        |
| 15/09/2025 - 13:25:44 | DESLIGADO        |
| 15/09/2025 - 13:25:37 | SOBRE            |
| 15/09/2025 - 13:25:24 | DESLIGADO        |

Itens por página: 5 1.5 de 22

Controle Relé 4

Desligado

Histórico

| Dados - Hora          | Status do Relé 4 |
|-----------------------|------------------|
| 16/09/2025 - 21:42:58 | DESLIGADO        |
| 16/09/2025 - 11:31:28 | DESLIGADO        |
| 15/09/2025 - 13:25:20 | DESLIGADO        |
| 15/09/2025 - 13:09:37 | SOBRE            |
| 15/09/2025 - 13:09:36 | DESLIGADO        |

Itens por página: 5 1.5 de 10

O dashboard permite o controle bidirecional. Isso significa que a comunicação não flui em apenas uma direção, mas em ambas, transformando o dashboard de um simples monitor para um centro de comando interativo.

O Fluxo Bidirecional consiste em dois sentidos, sendo o sentido microcontrolador → Dashboard (Monitoramento): Esta é a primeira via de comunicação. O ESP32, agindo como um "observador", coleta dados de todos os sensores e do estado dos botões e relés. Ele envia esses dados para o MQTT Broker, que por sua vez os disponibiliza para o Node-RED. O dashboard, então, visualiza esses dados em tempo real através de gráficos, medidores e indicadores, permitindo o monitoramento contínuo do sistema.

O sentido Dashboard → Microcontrolador (Controle): Esta é a segunda e crucial via. Quando um operador interage com o dashboard, por exemplo, clicando em um botão virtual para ligar a bomba, ou sirene, o Node-RED envia um comando (uma mensagem MQTT) de volta para o MQTT Broker. O ESP32, que está "escutando" os tópicos de comando, recebe essa mensagem e atua no relé correspondente, ligando a bomba. Esse comando bidirecional garante que o sistema possa atuar de forma autônoma e fazer os acionamentos necessários com base nos eventos. Possibilitando também que o operador altere o estado do sistema a partir de qualquer lugar. Em vez de ter que ir fisicamente até o painel de controle, é possível ligar ou desligar dispositivos, alternar entre modos de operação e redefinir o sistema remotamente. Isso garante uma ação em tempo real onde permite uma resposta imediata a eventos. Se o operador notar uma queda de pressão através do dashboard, ele não precisa esperar que a lógica de automação atue sendo possível intervir imediatamente e acionar a bomba manualmente com um clique. Durante a confecção do projeto essa comunicação ficou evidenciado que o sistema permite a coexistência da automação com o controle manual. Embora o sistema possa ligar a bomba automaticamente, o controle bidirecional garante que o operador também possa realizar o acionamento quando necessário, o que é um requisito de segurança em muitas aplicações industriais. Com base nesse poder de decisão o controle bidirecional do dashboard transformou o projeto de um mero coletor de dados em um sistema dinâmico e inteligente, onde a inteligência artificial do hardware e a capacidade de decisão humana se complementam para garantir a segurança e a eficiência do sistema.

## 6.4 Análise dos Resultados

Foi realizado a pressurização da rede com 3 kgf/cm<sup>2</sup> de modo a verificar o funcionamento do sistema, conforme figura abaixo:

Figura 23 – Sistema pressurizado



Fonte: Autor 2025

O sistema manteve-se pressurizado e foi realizado os testes e simulados de abertura do hidrante, abrindo a válvula espera para perda de pressão e funcionamento do sistema, abaixo encontra-se o registro fotográfico do sistema pressurizado.

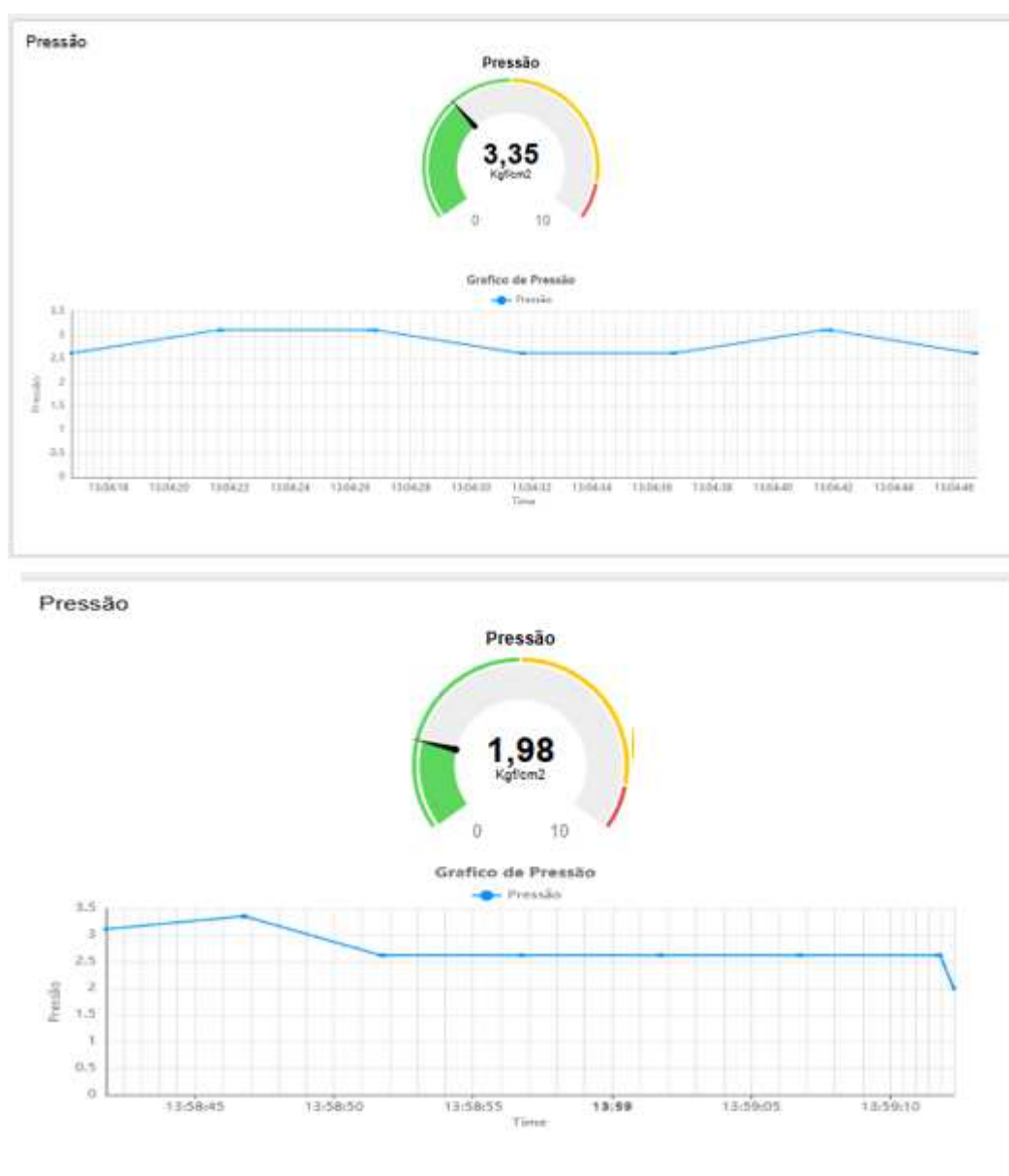
Figura 24 – Sistema em funcionamento



Fonte: Autor 2025

Foi parametrizado e de forma comparativa monitorado o sistema via microcontrolador onde o microcontrolador foi programado para monitorar constantemente a pressão através de um sensor de pressão 3 vias. Quando o valor lido pelo sensor de pressão caía abaixo de um limiar pré-configurado ( $2,0 \text{ kgf/cm}^2$ ), o microcontrolador acionava um relé acoplador que interligava um contator e ligava a bomba do sistema. Foi utilizado o protocolo MQTT para a comunicação para acesso aos dados do sensor permitindo a visualização em tempo real da pressão na rede de obtendo a seguinte informação abaixo;

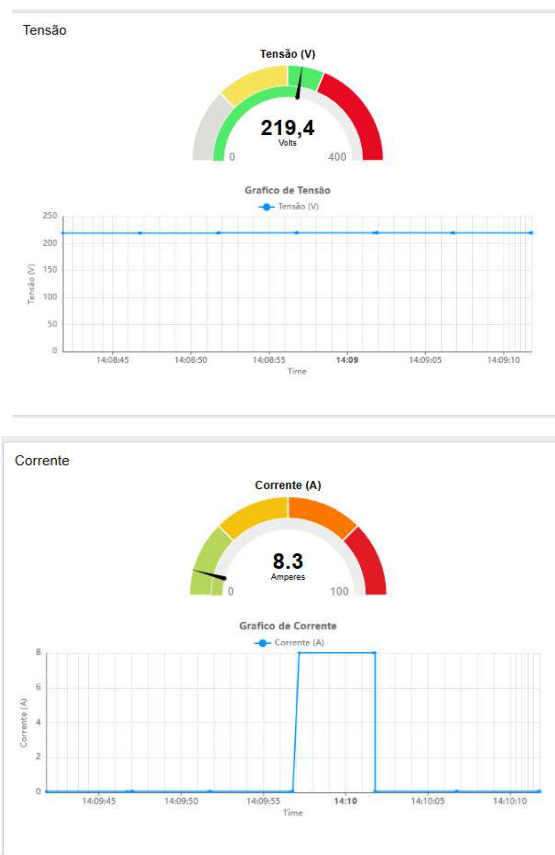
Figura 25 e 26 – Monitoramento remoto

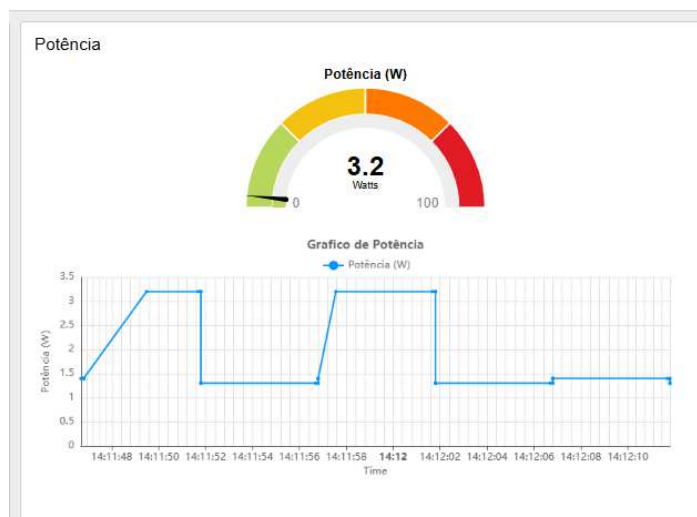


Fonte: Autor 2025

Com os acionamentos e monitoramentos da pressão, juntamente no dashboard elaborado, junto com o monitoramento instantâneo e gerado um gráfico, para as variáveis de pressão, tensão, corrente, potencia. Toda estrutura da programação e linguagem foi estruturada onde o sistema atuava, entrava em funcionamento com a diminuição da pressão da rede e de imediato entrando em funcionamento da bomba para combate ao fogo. Conforme o gráfico, a pressão na rede diminuiu após a simulação de abertura do hidrante, e o sistema de automação acionou a bomba imediatamente quando a pressão atingiu o valor pré-determinado. O dashboard foi criado para termos um controle bidirecional, onde o usuário, através do celular, pode acionar comandos para o sistema, como o acionamento da bomba, reset de um alarme, desligar leds. Isso validaria a interatividade do Node-RED de forma completa. O Sistema também avisa se a pressão baixar de 2,00 kgf, se o nível de água estiver abaixo de 30% e se a tensão estiver fora dos parâmetros ideais.

Figura 27, 28 e 29 – Gráficos do sistema





Fonte: Autor 2025

## 6.5 Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos no experimento prático validaram a hipótese de que a computação ubíqua é uma alternativa promissora e necessária para a modernização dos sistemas de combate a incêndio. A integração do sistema físico de combate a incêndio com um microcontrolador e uma interface de monitoramento remoto demonstrou a viabilidade de um modelo de segurança em que a informação flui em tempo real, permitindo decisões rápidas e a atuação autônoma do sistema.

Do ponto de vista técnico, a arquitetura de um sistema fixo de combate a incêndio com base em computação ubíqua inclui, sensores e microcontroladores onde o uso de sensores inteligentes, como os de pressão, tensão, corrente, nível de água, botões e relés em conjunto com microcontrolador, permite o processamento local de dados e uma resposta imediata a eventos críticos. A interface e notificação, com um supervisor com interface gráfica intuitiva, conforme elaborado no projeto, utilizando o Node-RED e sistemas de notificação automatizados, com o uso do dashboard diretamente no telefone, ou aplicativo web de monitoramento remoto, são cruciais para o acompanhamento do sistema e a tomada de decisões com base em eventos específicos.

O monitoramento remoto possibilitou a calibração do sistema com alertas para diferentes situações, como modo automático ou manual, baixa pressão e defeito elétrico, sistema em funcionamento.

Tratando do protocolo de comunicação, escolhemos uma comunicação

confiável e com baixo consumo de energia, com o MQTT para garantir a estabilidade e a transmissão de dados em tempo real.

Apesar dos resultados promissores, o experimento também destacou desafios que precisam ser enfrentados. A nossa pesquisa avança ao integrar esses conceitos a um sistema fixo de combate a incêndio em escala real, validando o conceito de automação e monitoramento em um contexto mais complexo e prático. A limitação da conectividade em áreas remotas e a necessidade de padronização dos sistemas são obstáculos importantes para a expansão dessa tecnologia. Além disso, a segurança da informação em redes conectadas à internet, tema abordado na seção 4.4, permanece como uma preocupação central para a integridade do sistema, uma vez que falhas na segurança podem comprometer a confiabilidade dos alertas e das operações.

A automação e o monitoramento remoto demonstraram ser um caminho sem volta para a modernização da segurança contra incêndio, promovendo ambientes mais conectados e inteligentes. O estudo comprova que, ao descentralizar o controle e garantir a autonomia dos sensores, é possível criar um modelo de segurança mais eficaz, capaz de proteger vidas e patrimônio com maior precisão e agilidade.

O experimento nos demonstrou que ainda existem desafios que precisam ser enfrentados. Entre eles estão a limitação de conectividade em áreas remotas, a necessidade de padronização de sistemas, e a segurança da informação em redes conectadas à internet. Ainda assim, foi possível identificar que com a implementação do sistema de monitoramento e tomada de decisão é um caminho sem volta na modernização dos sistemas de combate a incêndio, promovendo ambientes mais seguros, conectados e inteligentes.

Portanto, é possível concluir que a aplicação da computação ubíqua em sistemas fixos de combate a incêndio está diretamente ligada à eficiência na detecção, resposta e monitoramento de situações de risco. A descentralização do controle, aliada à autonomia dos sensores e à comunicação remota, configura um novo modelo de segurança, em que a informação flui em tempo real, proporcionando decisões rápidas e salvando vidas.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu compreender como a computação ubíqua pode ser aplicada de forma eficiente em sistemas fixos de combate a incêndio, promovendo avanços significativos nas áreas de prevenção, detecção e resposta a emergências. O experimento confirmou que o modelo de segurança com computação ubíqua é eficaz para proteger vidas e patrimônio com maior precisão e agilidade. Isso mostra que o objetivo de tomar decisões com base nos eventos ocorridos foi atingido. Ao longo da pesquisa, foi possível identificar que a integração entre sensores inteligentes, atuadores automatizados, protocolos de comunicação confiáveis e plataformas de monitoramento remoto oferece uma nova perspectiva para a segurança patrimonial e da vida humana em diferentes tipos de ambientes.

Os trabalhos analisados demonstraram que, mesmo com recursos limitados, é possível desenvolver sistemas de automação com tecnologias acessíveis e funcionais, como o uso do ESP32, da comunicação, do protocolo MQTT e de aplicativos móveis simples. Esses elementos, combinados com plataforma de supervisão com NODE-RED, criam ambientes altamente conectados e preparados para atuar de maneira autônoma frente aos primeiros sinais de incêndio. Além disso, foi possível perceber que a computação ubíqua amplia a capacidade de análise de dados em tempo real, oferecendo maior agilidade na tomada de decisões.

Outro ponto importante abordado ao longo da pesquisa foi a importância da confiabilidade e integridade dos sistemas automatizados. A segurança não depende apenas da existência de sensores e atuadores, mas da maneira como esses dispositivos são integrados, calibrados e mantidos. A adoção de protocolos padronizados, o uso de agentes cognitivos e a implementação de sistemas de notificação remota com tomada de decisão mostraram-se fundamentais para garantir que as informações circulem com precisão e que as respostas ocorram dentro do tempo necessário.

Também se destacou que a computação ubíqua não é uma solução exclusiva para grandes indústrias ou instalações complexas. Ela tem se mostrado viável em residências, escolas, hospitais e pequenos comércios, o que amplia o alcance e a importância social da sua implementação. A democratização dessas tecnologias, com foco na prevenção de sinistros, é um passo importante para a construção de cidades mais seguras e resilientes.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Rodrigo Castro de Souza. *Prototipagem de um sistema de alarme de incêndio baseado em IoT*. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Belém, 2020.
- ALVES, Victor Hugo Martins. Abordagem evolutiva para o ajuste automático dos parâmetros de um modelo de propagação de incêndios baseado em autômatos celulares. 2024. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.
- AMORIM JR, J. P.; RIBEIRO, C. M.; COLISTETE JR, R. Medição remota de parâmetros elétricos usando IoT baseado no microcontrolador ESP32. X Encontro Científico de Física Aplicada, p. 109-116, 2019.
- BRAGA, Renato; OLIVEIRA, Felipe; LIMA, Leandro. *Sistema de monitoramento térmico e elétrico para data centers com uso de IoT*. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE TECNOLOGIA – SENATEC, 5., 2017, Juiz de Fora. Anais [...]. Juiz de Fora: Faculdade Machado Sobrinho, 2017.
- BRENTANO, Telmo. **A proteção contra incêndios no projeto de edificações**. 3.ed. Porto Alegre: Edição do autor, 2015.
- CANZIAN, A. L. L. *Prevenção de incêndios florestais: uma análise das causas e estratégias*. 2020.
- CISCOTO, Eduardo Couto; TAVARES, Jacimar Fernandes. ENERGYQUALY: Computação Ubíqua em uma Infraestrutura para Monitoramento do Fornecimento de Energia Elétrica. Caderno de Estudos em Engenharia de Software, v. 4, n. 1, 2022.
- CONCEIÇÃO, Carolina Soares. Robôs para Detecção de Incêndios em Edifícios. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra (Portugal).
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL (CBMDF). *Teste de incêndio em container*. 2009.
- COSTA, Daniel Neves Chermant; DE SOUSA MOTA, Danielle Jorge Peixoto; MATOS, Guilherme Brandão. Projeto de sistema de combate a incêndio de uma planta de distribuição de gás liquefeito de petróleo a granel. 2017.
- DO AMARAL, Pedro Henrique Teodoro et al. Plano de prevenção e proteção contra incêndio: estudo de caso em um edifício comercial no município de vitória/es. 2024.
- FERRASI, Faberson Augusto. Tecnologias para a captação autônoma de dados no monitoramento de variações ambientais: uma abordagem na perspectiva da internet das coisas (IoT) aplicada ao transporte de amostras biológicas. 2023.
- FREITAS, Luís Gustavo Oliveira de. *Prototipagem de sistema de alarme de incêndio baseado em sensor nanoestruturado integrado a IoT*. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, 2021.
- GOMES, Fabio Fonseca Barbosa; DE OLIVEIRA, Leandro Fernandes; DE JESUS SANTOS, Danillo. ESTUDO COMPARATIVO SOBRE A COMPUTAÇÃO UBÍQUA E SUAS APLICAÇÕES. Revista Computação Aplicada-UNG-Ser, v. 7, n. 1, p. 19-26, 2018.

IBAPE: INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA.

**Inspeção Predial - Prevenção e combate a incêndio.** São Paulo, 2013.

KATER, Marcel; RUSCHEL, Regina Coeli. O potencial da verificação automatizada baseada em regras para as medidas de segurança contra incêndio em BIM. *Ambiente Construído*, v. 20, n. 4, p. 423-444, 2020.

LEITE, Guilherme A. et al. Detecção de Incêndio apoiada por Agentes Cognitivos. In: Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações (WESAAC). SBC, 2024. p. 162-167.

LIMA, Gisela; REZENDE, Lucas; TAVARES, Jacimar. *Sistema de controle e monitoramento de consumo de energia elétrica residencial: uma aplicação de internet das coisas (IoT)*. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE TECNOLOGIA – SENATEC, 8., 2020, Juiz de Fora. Anais [...]. Juiz de Fora: Centro Universitário Academia – UniAcademia, 2020.

LIPKE, Adriano. Projeto de um sistema de hidrantes para combate a incêndio: um estudo de caso em uma indústria alimentícia. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LOPES, Bárbara Eliza Vilela. Computação ubíqua : limitações e desafios. 2017. 65 f. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2017.

LUPI, Rafael Sousa. Sistema baseado em comunicação LoRa e aplicativo para monitoramento e prevenção de incêndio em armazéns com algodão. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2024.

MARQUES, Matheus Augusto; OLIVEIRA, Michele Faria. A importância do cumprimento das normas técnicas de equipamentos de combate a incêndios: uma revisão bibliográfica. *Caderno de Diálogos*, v. 8, n. 1, 2024.

MERTENS, Leew Rafael Vieira. Privacidade na internet via dispositivos móveis. 2017. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão de Serviços de Telecomunicações) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MOGNATO, Fernanda da Silva. Desenvolvimento de uma tela no sistema supervisor iFIX para um sistema de combate à incêndio. 2022.

MOREIRA, Gabriel Luídy. Projeto de prevenção e combate a incêndios: estudo de caso em edificação pública multipavimentada. 2022.

MUENCHEN, Jean Dupont. Uma proposta de detecção de incêndio utilizando o protocolo MQTT para aplicações IOT. 2018.

OLIVEIRA, Eryck de Araújo. Desenvolvimento de um sistema supervisor para o sistema automático de combate a princípio de incêndio do prédio depósito de propulsores do CLA. 2019.

PATRICIO, Thiago Seti et al. Internet Das Coisas (Iot): As Consequências Da Computação Ubíqua Na Sociedade. In: Colloquium Humanarum. ISSN: 1809-8207. 2018. p. 83-93.

RAMALHO, Antonio Henrique Cordeiro et al. Compreendendo a ação do fogo nos

ecossistemas brasileiros. *Biodiversidade Brasileira*, v. 14, n. 1, p. 8-25, 2024.

RODOVALHO, Rodrigo Magalhães; MORAES, Rômulo Eduardo Garcia. *Computação ubíqua e IHC*. Universidade Federal Fluminense, 2017.

SANTOS, Raphael Iannini Dutra dos. *Automação residencial para monitoramento e mitigação de incêndios e vazamento de gás via aplicativo*. 2022.

SEITO, C. A. et al. *Segurança Contra Incêndio no Brasil*. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

SENNA, Mariana Marchesi. *DOMÓTICA: o morar da geração midiática*. 2021.

SILVA, Arthur Couto; AGUIAR, Camila Galli; FAGUNDES, Geovanna Pereira; VILAS BOAS, Rafael Rivera. *Automação em sistemas de detecção e alarme de incêndio*. 2024 . Trabalho de conclusão de curso ( Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial) - Faculdade de Tecnologia "Adib Moisés Dib". São Bernardo do Campo, 2024 .

SILVA, Felipe Pereira da et al. *Uso da manutenção preditiva como forma de prevenção de incêndio em filtros de mangas*. 2020.

SOUZA, Vanessa Silva de. *Sistemas de combate a incêndio em ambiente hospitalar: particularidades e desafios-estudo de caso*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

TABACZENSKI, Roberta et al. *Aplicação do software fire dynamics simulator (FDS) no estudo da segurança contra incêndios (SCI) no Brasil*. *Revista Flammae*, Recife–PE (Brasil), v. 3, n. 7, p. 87-116, 2017.

TRINDADE, R. B. *Incêndios: prevenção e combate*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

VIEIRA, Marcos Alves et al. *Modelagem de espaços inteligentes pessoais e espaços inteligentes fixos no contexto de cenários de computação ubíqua*. Master's thesis. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brazil, 2016.

VIEIRA, Marcos Alves; CARVALHO, Sergio T. (Meta) *Modelagem de Espaços Inteligentes Pessoais e Espaços Inteligentes Fixos para Aplicações Ubíquas*. In: *Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva (SBCUP)*. SBC, 2016. p. 1056-1065.

YIN, R. K. **Estudo de Caso**: planejamento e método. Porto Alegre: Editora Bookman, 2001.



Emitido em 19/02/2026

**DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS Nº 186/2026**

**(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)**

*(Assinado digitalmente em 19/02/2026 16:13)*

CRISTIANE DE JESUS PEREIRA GASPAR

SECRETARIO III

866500

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sis.sig.uema.br/documentos/> informando seu número:  
**186**, ano: **2026**, tipo: **DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS**, data de emissão: **19/02/2026** e o código de  
verificação: **71787078a2**

