

**IOT EM SISTEMAS METROFERROVIÁRIOS: MONITORAMENTO DE ESCADAS ROLANTES**
**IOT IN METRO-RAILWAY SYSTEMS: ESCALATORS MONITORING**
**Caio César de Miranda Viana<sup>1 i</sup>**
**Conrado Blanco de Souza<sup>2 ii</sup>**
**Daniel Amélio de Lucena<sup>3 iii</sup>**
**Tiago Dias da Costa<sup>4 iv</sup>**
**Caio Vinícius Ribeiro da Silva<sup>5 v</sup>**
**André Luis dos Santos<sup>6 vi</sup>**
**Daniel Barbuto Rossato<sup>7 vii</sup>**

Data de submissão: (23/03/2022) Data de aprovação: (16/08/2022)

**RESUMO**

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de escadas rolantes nas estações da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), baseado em conceitos de IoT, com sensores que permitem detectar, em tempo real, interrupções de funcionamento desses equipamentos, contribuindo para uma rápida atuação das equipes de manutenção no atendimento desse tipo de ocorrência. Trata-se de um módulo conectado à rede Wi-Fi fornecida por um roteador 4G de uma determinada estação que detecta alterações no padrão do equipamento e envia as informações para um sistema corporativo que, então, as armazena em um banco de dados, a partir do qual é possível extrair análises e indicadores de desempenho. Um protótipo foi implantado na Estação Brás, uma das mais movimentadas da região metropolitana de São Paulo, utilizando, em sua última versão, a plataforma de prototipagem NodeMCU ESP8266. Os resultados apontam para uma solução de baixo custo, flexível e replicável a outros dispositivos, que pode trazer ganhos de produtividade tanto no que se refere à velocidade de atendimento das falhas quanto à aquisição de dados valiosos para análises de desempenho dos equipamentos, abrindo caminho para a implantação da manutenção preditiva na CPTM.

**Palavras-chave:** Internet das Coisas; monitoramento de ativos; manutenção ferroviária; sistemas metroferroviários; manutenção de escada rolante.

**ABSTRACT**

<sup>1</sup> Analista de Tecnologia no grupo CCR. E-mail: caio.viana@grupoccr.com.br.

<sup>2</sup> Arquiteto na Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM). E-mail: conrado.souza@cptm.sp.gov.br

<sup>3</sup> Engenheiro na Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM). E-mail: daniel.lucena@cptm.sp.gov.br

<sup>4</sup> Analista de Tecnologia da Informação na Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM). E-mail: tiago.costa@cptm.sp.gov.br

<sup>5</sup> Docente e Especialista em Automação Industrial na Faculdade de Tecnologia SENAI “Mariano Ferraz”. E-mail: caio.silva@sp.senai.br.

<sup>6</sup> Docente e Especialista em Automação Industrial na Faculdade de Tecnologia SENAI “Mariano Ferraz”. E-mail: andre.santos@sp.senai.br.

<sup>7</sup> Docente e Especialista em Automação Industrial na Faculdade de Tecnologia SENAI “Mariano Ferraz”. E-mail: daniel.rossato@sp.senai.br.

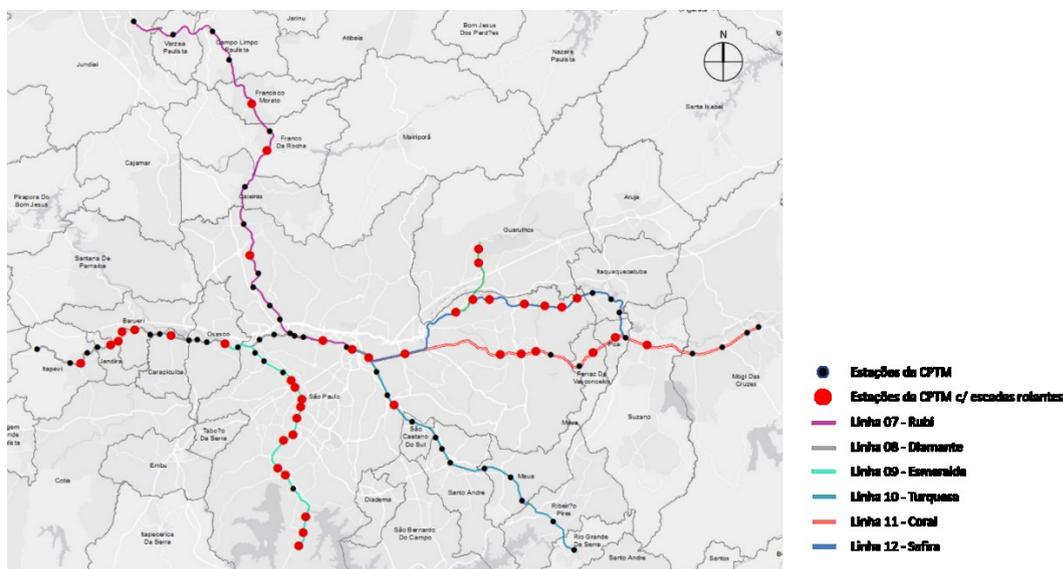
This article aims to present the development of an escalator monitoring system development at CPTM's stations based on IoT concepts, with sensors that permits to detect, in real time, operation interruptions of these equipments, contributing to a quick proceeding of the maintenance teams on this type of occurrences. It consists of a module connected to a Wi-Fi network, provided by a 4G router in a station, which detects changes in an equipment's operation patterns and transmits them to a corporate system, who stores it in a database, from which is possible to make analysis and build performance indicators. A prototype was implemented at Bras Station, one of the busiest at São Paulo metropolitan area, using in its last iteration NodeMCU ESP8266 as prototyping platform. The outcome is a low-cost solution, flexible and replicable to other devices, paving the road to development of predictive maintenance at CPTM.

**Keywords:** Internet of Things; asset management; railway maintenance; railway systems; escalator maintenance.

## 1 INTRODUÇÃO

A CPTM opera uma malha ferroviária formada por 7 linhas operacionais, com 275 quilômetros de extensão, que atendem 23 municípios na região metropolitana de São Paulo e aglomerado urbano de Jundiaí. Ao todo, em 2021, são 95 estações pelas quais circulam aproximadamente 2,7 milhões de pessoas por dia<sup>8</sup>, das quais 42 possuem escadas rolantes, conforme a figura 1 (estações em azul), totalizando 203 equipamentos que garantem maior conforto e acessibilidade à jornada diária de cerca de 1,65 milhões de passageiros.

Figura 1 - Mapa das estações com escadas rolantes



Fonte: Elaborada pelo Autor.

<sup>8</sup> Dados de referência de 2019, ano anterior a pandemia. Em 2020, a pandemia do COVID-19 provocou uma redução de aproximadamente 40% na demanda de passageiros transportados. Agora, essa demanda tem aumentado gradativamente, sendo que o valor acumulado de outubro de 2020 é cerca de 35% menor que o acumulado de outubro de 2019 e cerca de 3% maior que o acumulado de 2020.

Em seu cotidiano, as equipes de manutenção da CPTM lidam com equipamentos mecânicos, elétricos e eletrônicos, que compõem os sistemas de via permanente, energia, sinalização e telecomunicações, além de equipamentos embarcados nos trens e aqueles dedicados à sua manutenção. A maioria desses equipamentos não possui nenhum tipo de supervisão remota. A detecção de falhas ou interrupções de disponibilidade não ocorre em tempo real, o que retarda as medidas de resposta e, conseqüentemente, amplia os impactos no sistema ferroviário.

Por prestarem um tipo de atendimento direto ao passageiro e desempenharem um papel fundamental no fluxo operacional das estações, as escadas rolantes são consideradas equipamentos críticos para manutenção da CPTM. Sua indisponibilidade é, regularmente, motivo de reclamações, conforme demonstra a tabela 1.

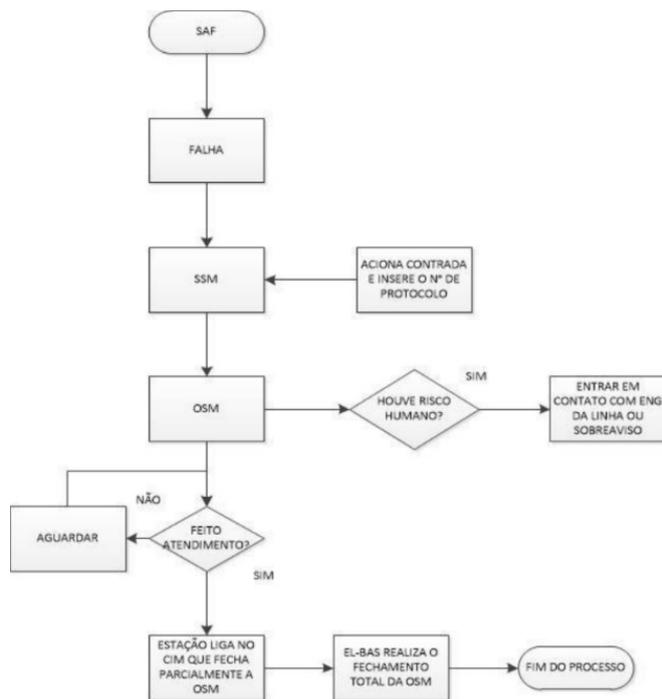
**Tabela 1 - Registro de reclamações por interrupção das escadas rolantes**

	2019	2020	2021 *até 30 de junho	TOTAL
LINHA 7	65	17	5	87
LINHA 8	42	35	6	83
LINHA 9	68	36	9	113
LINHA 10	99	36	11	146
LINHA 11	33	24	4	61
LINHA 12	73	139	28	240
LINHA 13	8	8	4	20
SISTEMA	5	6	0	11
<b>TOTAL</b>	<b>393</b>	<b>301</b>	<b>67</b>	<b>761</b>

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Devido à sua grande relevância tanto para o fluxo de passageiros quanto para a formação da percepção da experiência destes, a disponibilidade das escadas rolantes para o público exige uma eficiente estrutura de manutenção, que envolve rotinas de manutenção preventiva e procedimentos para atendimento de falhas, conforme o fluxograma ilustrado na figura 2. As atividades de manutenção preventiva e corretiva são executadas pelos fornecedores dos equipamentos, e a identificação das falhas fica a cargo das equipes de estação, que as reportam à área responsável, o Departamento de Manutenção de Sistemas Auxiliares (DOFA), através do Centro de Informações da Manutenção (CIM), sistema corporativo no qual são cadastradas as falhas, a fim de que as equipes de manutenção possam atuar para corrigi-las. Essas equipes realizam a verificação do problema *in loco* e acionam os fornecedores para solucioná-lo.

Figura 2 - Fluxograma de atendimento de falhas na CPTM



**SAF - Solicitação de abertura de falha.** Formulário eletrônico gerado pelo CIM, CCO e estações para solicitar a execução de um serviço, possibilitando identificar o equipamento ou sistema com sintoma de avaria, podendo ou não gerar uma falha. Pode ser emitido pelo CCO ou estações e recebido pelo CIM através do próprio sistema, ou emitido pelo próprio CIM, em decorrência de uma solicitação de abertura de falha fora do sistema, por outros meios de comunicação.

**SSM - Solicitação de Serviço de Manutenção** - Formulário eletrônico gerado pelo CIM ou equipes de manutenção na solicitação de um serviço. Permite ao CIM ou equipes de manutenção a solicitação de um serviço.

**OSM - Ordem de Serviço de Manutenção:** Formulário que descreve o serviço a ser executado e que permite registrar todos os serviços e insumos utilizados nas intervenções de manutenção realizadas.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

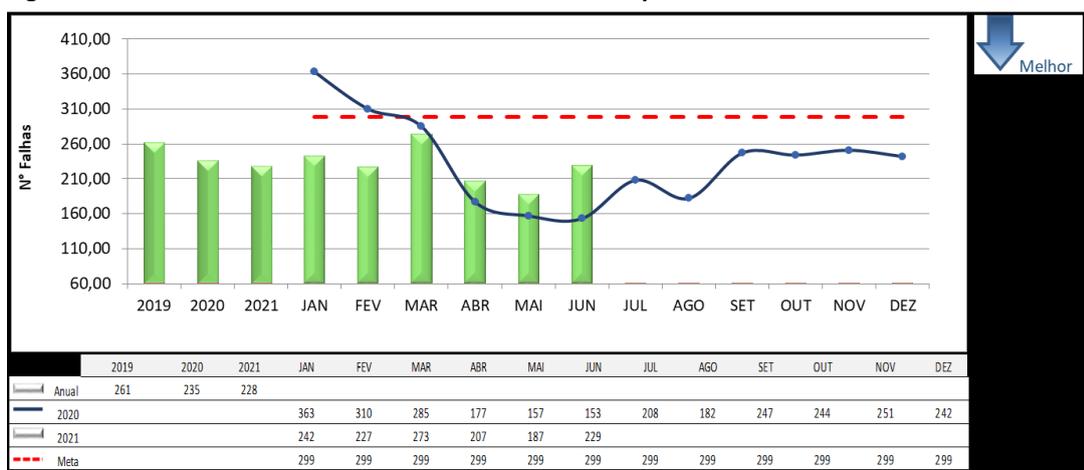
O tempo de atendimento das falhas pode variar conforme sua complexidade e, conseqüentemente, as soluções técnicas necessárias para a reativação do equipamento, que podem envolver desde simples reparos até substituições de peças, testes de desempenho e outras ações que podem durar diversos dias.

A manutenção das escadas rolantes pode ser realizada por mão de obra própria ou externa, seja pela Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô) ou por empresas terceirizadas. Cada empresa terceirizada, cujo trabalho é supervisionado por funcionários da CPTM, é responsável por um lote de estações definido em contrato, e sua base pode ser interna ou externa à CPTM.

Em qualquer situação, a velocidade de acionamento e mobilização das equipes para atendimento é um fator determinante para uma rápida resposta ao problema. Conseqüentemente, isso requer uma rápida identificação da falha, o que nem sempre é possível, haja vista a complexa dinâmica operacional cotidiana nas estações, na qual os agentes operacionais precisam lidar com uma série de fatores que interferem na jornada do passageiro. Há vezes em que a identificação de falhas nesses equipamentos é feita pelos próprios passageiros, que reportam o problema para os agentes operacionais, o que explica em parte o grande número de reclamações associadas.

A figura 3 apresenta os registros de falhas em escadas rolantes em todo o sistema no período de 2019 a 2021.

Figura 3 – Falhas de escadas rolantes na CPTM durante o período de 2019 a 2021.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Dessa forma, um sistema baseado em sensores capazes de identificar remotamente interrupções desses equipamentos pode ser extremamente útil para as equipes de manutenção da CPTM, que poderão identificar o problema de forma imediata e tomar as medidas necessárias.

A solução aqui apresentada consiste em um módulo de monitoramento dotado de um microcontrolador sensorizado que verifica se o equipamento está em funcionamento ou não. O módulo é conectado à rede Wi-Fi de uma determinada estação e, ao perceber uma alteração de padrão do equipamento, emite a informação ao sistema corporativo da CPTM denominado Monitoramento de Equipamentos e Máquinas (MEM). Com isso, a equipe de manutenção da CPTM recebe informações em tempo real e pode iniciar rapidamente o atendimento da falha. Uma vez armazenadas em um banco de dados, essas informações compõem um histórico de registros que pode ser processado através de softwares apropriados, o que permite gerar indicadores de desempenho, identificar padrões de comportamento e realizar outras análises, auxiliando na implantação da manutenção preditiva na CPTM.

Com isso, a presente solução representa uma inovação incremental para o processo de manutenção de escadas rolantes na ferrovia, pois, apesar de não representar uma ruptura com as práticas atualmente consolidadas na empresa, oferece recursos mais ágeis e eficientes à sua realização, ao mesmo tempo em que aponta para o desenvolvimento da manutenção preditiva na CPTM.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, são apresentadas as revisões bibliográficas e os conceitos fundamentais relacionados aos microcontroladores, aos sistemas embarcados, à internet das coisas e às suas principais aplicabilidades na indústria ferroviária, que serviram de referência para o desenvolvimento deste trabalho.

### 2.1 Microcontroladores

Microcontroladores (MCU) são microcomputadores extremamente pequenos que são totalmente independentes em um único circuito integrado, podendo ser definidos como um computador simplificado projetado para executar repetidamente um único programa

(normalmente pré-programado pelo usuário) de forma automatizada, em um único dispositivo, sendo amplamente aplicados em sistemas embarcados, em oposição às aplicações mais versáteis manipuladas por microprocessadores compostos por uma unidade central de processamento (CPU) e um conjunto de periféricos necessários para o seu funcionamento. Assim, os microcontroladores funcionam em conjunto com outros tipos de componentes e circuitos eletrônicos, conectados por meio de placas de circuito impresso. Essa combinação de um microcontrolador com outros componentes em placas de circuito impresso pode ser usada para desempenhar um papel fundamental no controle, no monitoramento e na interação com vários tipos de sistemas e componentes. Por meio de uma variedade de indústrias e de aplicações modernas, os microcontroladores alcançaram rapidamente uma ampla adesão e podem, hoje, ser encontrados em muitas tecnologias e dispositivos. Dentre os projetos, as aplicações, as funções e os ambientes mais comuns para o seu uso estão a automação e a robótica, os equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos, os equipamentos médicos e laboratoriais, as indústrias automotivas e sistemas de controle de veículos, o controle do ambiente industrial e de produção, e mais recentemente, os dispositivos e sistemas para *Internet of Things* (IoT). (GIMENEZ, 2002; TOCCI *et al.*, 2003; OLIVEIRA, 2017).

### 3 SISTEMAS EMBARCADOS

De modo geral, os microcontroladores são “embarcados” dentro de algum outro dispositivo para que possam controlar os recursos ou ações desse sistema. Por essa razão, os sistemas embarcados são definidos como pequenos computadores incorporados aos dispositivos do usuário para realizar funções específicas de aplicativos. Eles geralmente contêm um núcleo de CPU ou um processador integrado específico de aplicativo (ASIP) ou de sinal digital (DSP). O sistema embarcado conectado a um objeto pode detectar os dados necessários e monitorá-los continuamente. Isso possibilita transmitir os dados coletados em intervalos periódicos de tempo pré-definidos para um local remoto de armazenamento, utilizando, para isso, protocolos de comunicação com ou sem fio (como UDP, TCP/IP, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee), que podem ser armazenados no servidor em nuvem. Em intervalos periódicos, os dados coletados podem ser analisados por meio de software analítico apropriado em execução no servidor, de modo que as decisões podem ser informadas de acordo com o usuário final ou sistema. Na maioria dos casos, acaba sendo a notificação no dispositivo móvel ou a atuação de alguns subsistemas do dispositivo (TRIPATHY *et al.*, 2018; OLIVEIRA, 2017).

#### 3.1 Internet das coisas

O rápido desenvolvimento de sensores, microcontroladores e dispositivos com sua conexão à internet vem possibilitando cada vez mais aplicações da Internet das Coisas (IoT), como são chamados os sistemas que envolvem a comunicação de dispositivos e equipamentos através da internet. Esses dispositivos (carros, geladeiras, TVs etc.) podem funcionar individualmente ou como parte de um sistema maior, possibilitando análises de big data em uma rede distribuída de dispositivos eletrônicos, sensores e software, e podem, também, ser identificados de forma única por meio do sistema de computação embarcada, sendo conectados de qualquer lugar por meio de tecnologia de informação e comunicação adequada, para obtenção de melhores resultados (TRIPATHY *et al.*, 2018).

Segundo Oliveira (2017), os dispositivos embarcados normalmente possuem poder de processamento limitado, baixa confiabilidade e alta taxa de erros, sendo adequado o envio de suas informações para um elemento concentrador com maior poder de processamento e disponibilidade. Caso esses elementos estejam na nuvem, as aplicações se tornam mais flexíveis e estáveis, fazendo com que um servidor local de alta disponibilidade não seja necessário.

As aplicações em IoT podem ser realizadas praticamente em qualquer coisa ao nosso redor, incluindo máquinas, edifícios, dispositivos, e até mesmo animais e seres humanos. Por exemplo, podem ser desenvolvidas aplicações que possibilitam a criação de cidades inteligentes, nas quais as previsões de acidentes e o fluxo de tráfego nas cidades podem ser monitorados com eficácia. Outro exemplo é a assistência médica inteligente, onde um médico pode obter informações úteis de um chip com sensor implantado no corpo do paciente. Outros exemplos também incluem o aumento da produção industrial através da previsão eficiente do funcionamento das máquinas e a criação de ambientes inteligentes residenciais e comerciais com aparelhos conectados. (TRIPATHY *et al.*, 2018).

Para Bhatt *et al.* (2018), o principal motivo da automação de ambientes é controlar ou monitorar os sinais de diversos equipamentos para melhor gerenciamento do meio, podendo realizar o monitoramento por microcontroladores capazes de fornecer uma abundância de dados e *status* em tempo real e histórico de forma remota. Além disso, o menor tamanho dos dispositivos eletrônicos e seu consumo de energia reduzido confirmaram que as redes de sensores podem ser facilmente implantadas em muitos aplicativos para monitorar o ambiente público, o marketing comercial e até o transporte (THADURI *et al.*, 2015).

### 3.2 Internet das coisas em estações ferroviárias

O futuro da tecnologia ferroviária irá contar com sistemas de transporte inteligentes, que alavancarão tecnologias na infraestrutura de redes ferroviárias para reduzir o custo do ciclo de vida. Novos serviços, como segurança integrada, gerenciamento de ativos e manutenção preditiva são esperados para melhorar a tomada de decisão em tempo hábil para questões como segurança, planejamento e capacidade do sistema (FRAGA-LAMAS *et al.*, 2017). A gestão baseada em ciclos de manutenções preventivas e corretivas acarreta elevados custos tanto na confiabilidade dos recursos quanto na disponibilidade de infraestrutura. Por outro lado, a manutenção baseada no monitoramento dos parâmetros que determinam o estado dos equipamentos permite uma manutenção preditiva, além da análise de risco (CORES *et al.*, 2013; TUTCHER, 2014).

Dessa forma, as ferrovias inteligentes devem apresentar combinações de soluções e componentes eletrônicos interconectados. Esses sistemas exigem contínua conectividade sem fio com alta taxa de dados e soluções de software integrados, otimizando o uso de ativos para atender à demanda cada vez maior por serviços mais seguros e com eficiência energética. Um objetivo desejável na manutenção de ativos ferroviários é a capacidade de capturar informações oportunas sobre a condição desses ativos e amenizar o procedimento de manutenção ou automatizar o controle, reparo ou substituição dos componentes de tais ativos. Esse objetivo está perfeitamente alinhado com as capacidades centrais do sistema IoT, que pode garantir a conectividade a bilhões de dispositivos de hardware, tais como sensores, atuadores e ferramentas para monitoramento, gerenciamento e controle de ativos ferroviários. (GBADAMOSI, 2021).

Para Alawad *et al.* (2018), apesar de as redes com sensores e dispositivos sem fio possuírem diversas aplicações na infraestrutura ferroviária, é preciso que a IoT seja explorada para aplicação racional no ambiente das estações ferroviárias. Dentre as possíveis aplicações em estações ferroviárias propostas por Alawad *et al.* (2018) estão o monitoramento de ameaças de vandalismo, os princípios de incêndio e o controle do fluxo de passageiros. O aumento da capacidade do computador e a capacidade de lidar com o processamento de grandes quantidades de dados em tempo real levarão a um uso mais eficaz do Big Data. Tanto este quanto a IoT permitirão que os equipamentos no ambiente ferroviário se comuniquem entre si e com o ambiente mais amplo, abrindo caminho para soluções de estações inteligentes e transporte intermodal verdadeiramente integrados (ARUP, 2015).

A International Union Railway (UIC, 2017) acredita que essas aplicações tecnológicas possam ser associadas a conceitos de estações inteligentes (*smart station*), de modo que a inovação da estação ferroviária, os gerenciamentos de dados e os serviços agregarão valor extra às cidades inteligentes. De acordo com a UIC (2017), um dos pilares da *smart station* será a gestão inteligente (*smart management*): processo de lidar com ou controlar coisas ou pessoas com as novas tecnologias de informação e comunicação, buscando constantemente a melhoria do processo na intenção de ir além das ações “clássicas” para criar novas oportunidades e responder a novos desafios.

## 4 CONCEPÇÃO E ARQUITETURA

O objetivo da pesquisa e desenvolvimento do módulo de monitoramento é verificar o estado momentâneo de equipamentos. Como projeto piloto no desenvolvimento desse módulo, teve-se como objetivo a verificação dos estados possíveis das escadas rolantes — ligada, desligada, subindo ou descendo — e enviar para o servidor esses dados, que serão visualizados em uma interface gráfica intuitiva com a possibilidade de gerar relatórios e alarmes.

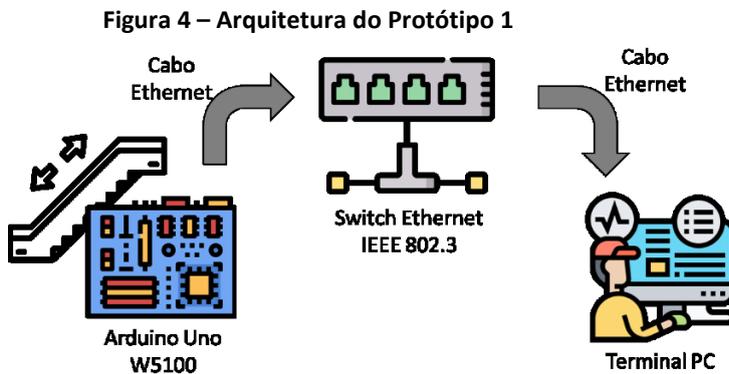
Durante o desenvolvimento do módulo de monitoramento houve a preocupação de que a instalação fosse viável nas escadas rolantes e, possivelmente, em outros equipamentos na CPTM. Por isso, algumas características receberam a devida atenção, como: tamanho, tensão de alimentação, temperatura de trabalho e conectividade. Para que o projeto chegasse ao nível atual de maturidade, houve duas versões anteriores, sendo a versão atual a terceira.

### 4.1 Primeira versão do protótipo

A primeira versão do protótipo foi construída com o auxílio da Arduino Uno, uma plataforma de desenvolvimento que utiliza o microcontrolador ATmega328P, em conjunto com chaves do tipo dip-switch. Junto com o Arduino Uno, foi utilizado um módulo W5100 que, uma vez conectado ao Arduino, permite que este se conecte a redes IP. Esse primeiro protótipo funcionava como um servidor web que mostrava de forma gráfica os estados das escadas rolantes simulados nos dip-switches. Para ter acesso aos estados de cada equipamento, o servidor web era acessado por meio do endereço de IP do equipamento, onde os estados eram mostrados.

Por utilizar rede cabeada, essa primeira versão necessitava de uma infraestrutura de cabeamento de rede que hoje é inexistente, principalmente nas escadas rolantes. No entanto, essa versão revelou a grande complexidade que é ter uma rede ampla que atenda a todos os

equipamentos que se deseja monitorar. A figura 4 mostra a arquitetura concebida nessa versão inicial do protótipo.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

## 4.2 Segunda versão do protótipo

Na segunda versão do protótipo, foi utilizada a plataforma de desenvolvimento WeMos, que embora tenha muitas semelhanças físicas com o Arduino, é composta por um microcontrolador ESP8266 dotado de conectividade sem fio (Wi-Fi). A figura 5 mostra a aparência da plataforma WeMos. Diferente do Arduino Uno, utilizado na primeira versão do protótipo, o equipamento WeMos não funcionava como um servidor web, mas sim como um dispositivo de coleta de dados, fazendo a leitura dos estados atuais e enviando-os para um equipamento Raspberry Pi utilizado como um servidor de banco de dados. Esse equipamento foi instalado na mesma rede Wi-Fi onde o equipamento WeMos efetuava os envios dos status das escadas rolantes por meio de requisições do tipo HTTP POST, cujos dados eram armazenados em um banco de dados MariaDB, instalado no equipamento Raspberry Pi.

**Figura 5 – Plataforma de desenvolvimento WeMos**



Fonte: Elaborada pelo Autor

A comunicação entre módulo de monitoramento e servidor (Raspberry Pi) é estabelecida por meio da rede sem fio, através de um roteador Wi-Fi simples. A utilização de conectividade sem fio nessa versão revelou a importância de ter uma conexão Wi-Fi estável e com bom nível de sinal nos equipamentos desejados. Revelou também que a quantidade de usuários na estação afeta a qualidade do sinal, podendo causar a perda de conexão dos módulos de monitoramento nos períodos de maior tráfego de pessoas. Essas descobertas mostram a necessidade de desenvolver um projeto de telecomunicações apropriado e dimensionado para cada uma das estações da empresa.

A figura 6 mostra que a interface gráfica já disponibilizada nessa versão possui um gráfico com informações históricas armazenadas no banco de dados. Essa foi a primeira versão a ser de fato testada em uma escada rolante real. Após autorização da área responsável, a interface foi instalada na escada 09 da estação Brás.

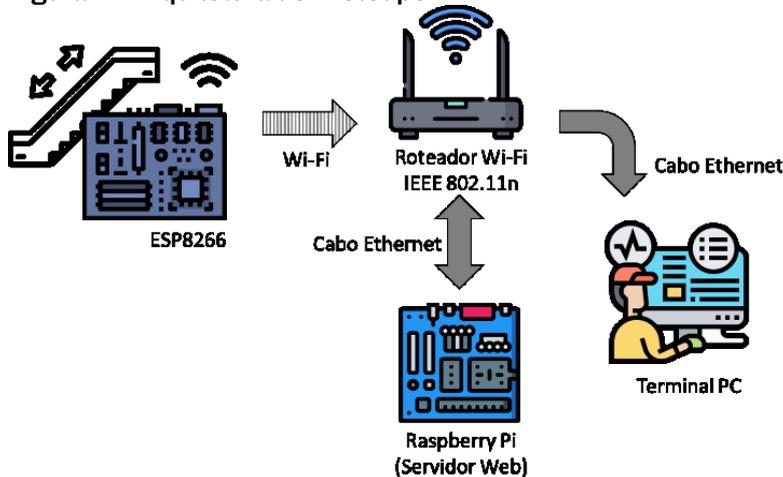
Figura 6 – Interface de front-end do Protótipo 2



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Dentre as características que foram mantidas desta versão até a última estão a alimentação do módulo, composta por uma fonte com tensão de 5V e corrente máxima de 500mA com saída micro-USB, e a caixa plástica do tipo “patola”. A figura 7 mostra a arquitetura utilizada na segunda versão do protótipo.

Figura 7 – Arquitetura do Protótipo 2



Fonte: Elaborada pelo Autor.

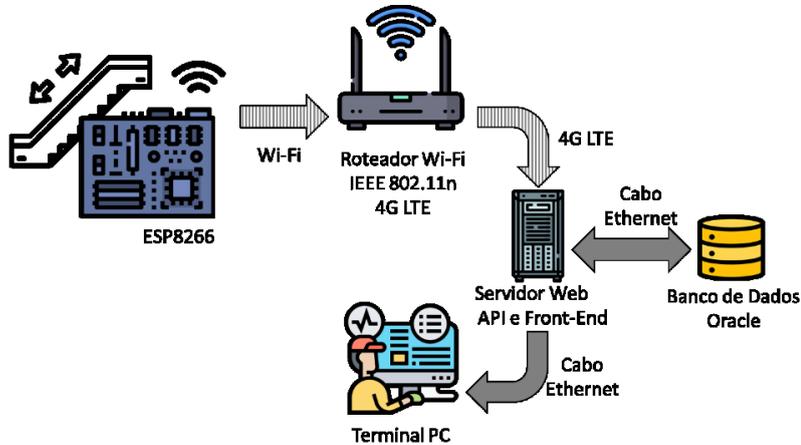
### 4.3 Terceira versão do protótipo

Na terceira versão do protótipo, atualmente em uso, foi utilizada a plataforma de desenvolvimento NodeMCU ESP8266, que também utiliza o microcontrolador ESP8266, mas apresenta um tamanho reduzido em comparação com o equipamento WeMos.

Nesse protótipo, a quantidade de roteadores wireless foi alterada, aumentando de 1 para 3 unidades, dispostas de modo a garantir a qualidade do sinal em todas as escadas que

possuem equipamento de monitoramento. A figura 8 mostra a arquitetura desenvolvida na última e atual versão do protótipo.

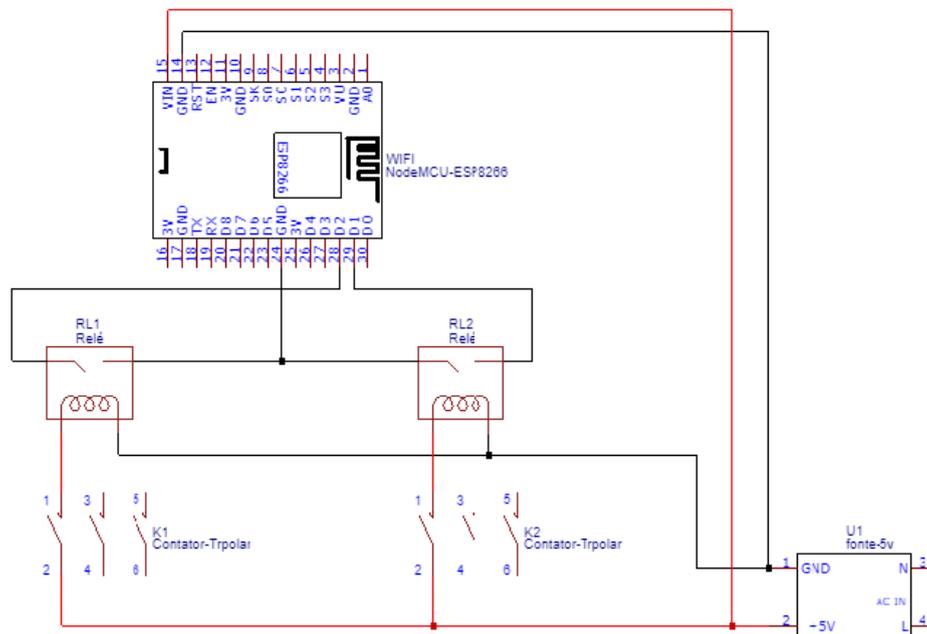
Figura 8 – Arquitetura do Protótipo 3



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Na figura 9, podemos analisar o diagrama elétrico de interligação do microcontrolador com os contadores da escada rolante.

Figura 9 - Interface do sistema de Monitoramento de Equipamentos e Máquinas (MEM)



Fonte: Elaborada pelo Autor.

## 5 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

Nesta seção, será abordado o desenvolvimento do software tanto do firmware do módulo de monitoramento quanto do sistema corporativo que recebe, armazena e consolida os dados coletados.

## 5.1 Softwares

A plataforma de desenvolvimento NodeMCU ESP8266 possui a linguagem de programação C como principal linguagem de trabalho. Por essa razão, todo o algoritmo foi desenvolvido nessa mesma linguagem.

Como ambiente de desenvolvimento (Integrated Development Environment [IDE]), foi utilizada a plataforma oficial Arduino IDE.

## 5.2 Firmware

Após carregar as bibliotecas e inicializar as variáveis, o algoritmo conecta-se à rede wireless, realiza uma leitura dos estados iniciais das escadas rolantes que seu equipamento monitora e envia as informações coletadas para a API do sistema corporativo.

Um *loop* é iniciado, verificando-se novamente o estado atual das escadas rolantes, e há uma espera de 70 segundos, tempo definido para que estados transitórios não sejam registrados (p. ex., um funcionário desligando a escada rolante para inverter seu sentido de funcionamento, o que geraria um desnecessário evento de parada do equipamento).

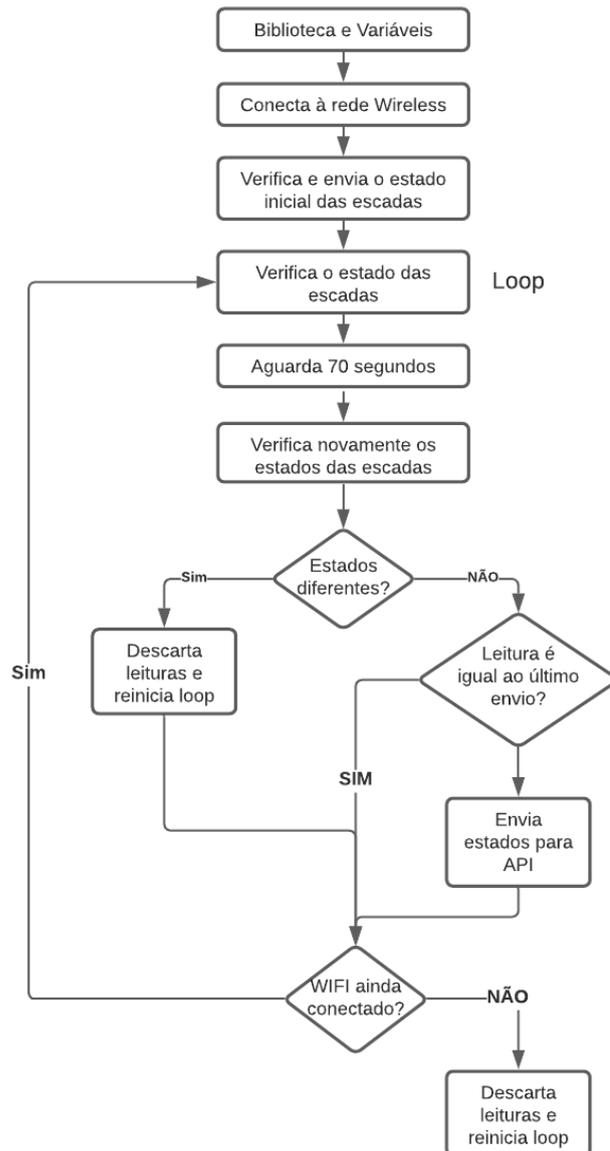
Após a espera, o estado atual das escadas rolantes é verificado mais uma vez. Caso haja mudança de estado, o loop é reiniciado, pois pode configurar um estado transitório. No entanto, se as mudanças de estado se estabilizam, o estado atual é comparado com o último estado enviado à API do sistema corporativo.

Uma vez verificado que o estado atual é diferente do último estado enviado à API, é feito um novo envio de informações e, após isso, é verificado se há conectividade da rede Wi-Fi. Se não houver, os dados serão descartados. A partir desse ponto, o loop é reiniciado.

O algoritmo utiliza as bibliotecas ESP8266WiFi (GROKHOTKOV, 2017), ArduinoJson (BLANCHON, 2018), ESP8266HTTPClient (SATTLER, 2015), ESP8266 Multicast DNS (GROKHOTKOV, 2015) e ArduinoOTA (ANDRASSY, 2017).

A figura 10 mostra um fluxograma do *firmware* desenvolvido para o módulo de monitoramento de escadas rolantes.

Figura 10 – Algoritmo do firmware do Protótipo 3



Fonte: Elaborada pelo Autor.

O trecho de código do *firmware* apresentado na figura 11 faz a leitura do estado dos contadores da escada rolante, sendo 4 os estados possíveis. De acordo com o status identificado, é atribuído um valor à variável `indice0`.

**Figura 11 – Leitura do estado dos contatores de escada rolante**

```

if (estadoPinD1 == 0 && estadoPinD2 == 0) // 2 Contatores desligados: Escada desligada
{
    indice0 = 0;
}
if (estadoPinD1 == 0 && estadoPinD2 == 1) // Contator 1 desligado e contator 2 ligado: Escada
descendo
{
    indice0 = 2;
}
if (estadoPinD1 == 1 && estadoPinD2 == 0) // Contator 1 ligado e contator 2 desligado: Escada
subindo
{
    indice0 = 3;
}
if (estadoPinD1 == 1 && estadoPinD2 == 1) // 2 Contatores ligados: ERRO!
{
    indice0 = 4;
}

```

Fonte: Elaborado pelo Autor.

No trecho de código da figura 12, o *firmware* cria um objeto JSON e grava nele o valor `indice0` e outros índices, caso o módulo monitore mais de uma escada rolante.

**Figura 12 – Gravação dos valores no objeto JSON**

```

StaticJsonDocument<512> doc;

doc["t"] = enderecoMac;

JsonArray p = doc.createNestedArray("p");

JsonObject p_0 = p.createNestedObject();
p_0["i"] = 0;
p_0["s"] = indice0;
p_0["v"] = 0;
JsonObject p_1 = p.createNestedObject();
p_1["i"] = 1;
p_1["s"] = indice1;
p_1["v"] = 0;

```

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Por fim, no trecho de código apresentado na figura 13, o *firmware* inicia a sessão HTTP através do método POST e faz o envio do objeto JSON para o endereço da API.

**Figura 13 – Envio do objeto JSON para o endereço da API**

```

http.begin(enviaPost);

http.addHeader("content-type", "application/json");

String body = JsonEstados;
int httpCode = http.POST(body);

```

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.3 Protocolos de comunicação

Entre os equipamentos de monitoramento e o roteador Wi-Fi, a comunicação é realizada por meio do protocolo IEEE 802.11n (Wi-Fi N). Por sua vez, o roteador Wi-Fi se conecta à Internet através do protocolo 4G LTE, alcançando o servidor web da CPTM onde se encontra o sistema central de monitoramento. Por fim, a comunicação entre o NodeMCU e o servidor é realizada com a utilização do protocolo HTTP.

## 5.4 Banco de dados

A CPTM possui um banco de dados corporativo, o Oracle 12c. Para garantir a melhor segurança no armazenamento dos dados, bem como sua posterior utilização em outros sistemas já existentes, esse foi o banco de dados escolhido para armazenar as informações do sistema de monitoramento. O quadro 1 descreve os principais equipamentos do banco de dados do sistema corporativo.

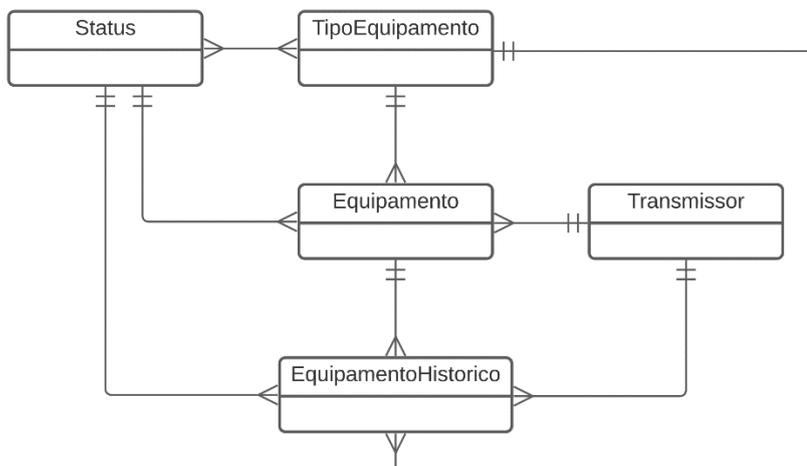
**Quadro 1 – Principais tabelas do banco de dados do sistema corporativo MEM**

	Descrição
<b>Equipamento</b>	Equipamentos monitorados
<b>Equipamento Histórico</b>	Histórico de registro de estados dos equipamentos
<b>Tipo Equipamento</b>	Tipos de equipamento
<b>Status</b>	Tipos de estados dos equipamentos, de acordo com a semântica específica do equipamento (p. ex., 0 = desligado, 1 = subindo, 2 = portas fechadas, se o equipamento for um elevador etc.)
<b>Transmissor</b>	Transmissores de dados (podem transmitir dados de mais de um equipamento)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 14 o diagrama entidade-relacionamento representa a abstração das tabelas do banco de dados e suas relações.

Figura 14 – Diagrama Entidade-Relacionamento do sistema corporativo MEM



Fonte: Elaborado pelo Autor.

## 5.5 API

A comunicação entre os equipamentos e o servidor do sistema corporativo é realizada através de uma API Web. A API foi construída com o auxílio do ASP.NET Web API e possui um endereço para enviar e receber dados.

O protocolo utilizado na comunicação é o HTTP, sendo o formato das mensagens transmitidas o JSON. O equipamento de monitoramento transmite para o sistema sua identificação e informações básicas sobre seu estado. A seguir, a figura 15 exemplifica uma mensagem enviada do equipamento de monitoramento para a API do sistema corporativo. Na mensagem apresentada, a propriedade “t” representa a identificação do equipamento

(MAC Address), e a propriedade “p” é uma coleção de estados e seus valores, sendo que cada tipo de equipamento possui sua própria semântica de valores. O sistema central trata e normaliza esses valores para que possam ser comparáveis entre diversos tipos de equipamentos.

**Figura 15 – Mensagem JSON de comunicação entre equipamento de monitoramento**

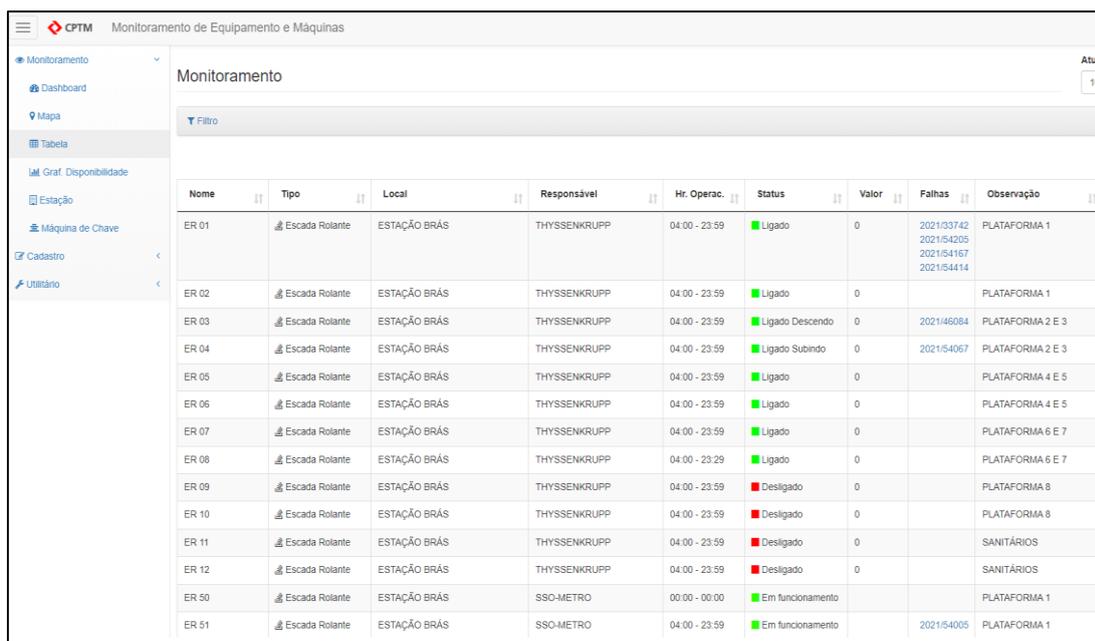
```
POST /api/Equipamento
{
  "t": "AA:BB:CC:DD:EE:FF",
  "p": [
    { "i": 0, "s": 1, "v": "" },
    { "i": 1, "s": 3, "v": "35" },
    { "i": 2, "s": 4, "v": "0" },
    { "i": 3, "s": 5, "v": "2" }
  ]
}
```

Fonte: Elaborado pelo Autor.

## 5.6 Front-end

A CPTM desenvolve e mantém diversos sistemas internos, de forma padronizada e compartilhando da mesma infraestrutura, o que garante que um sistema possa utilizar dados de outro, aumentando a eficiência no armazenamento e na utilização de dados, além de promover um ambiente de TI com sistemas integrados. Mantendo essa premissa, o sistema de monitoramento foi desenvolvido nesse ambiente. Seu front-end segue os padrões de desenvolvimento de sistemas da empresa, construído em ASP.NET MVC com Razor Pages. Por meio do front-end, o usuário pode visualizar o estado atual dos equipamentos, gerar gráficos de disponibilidade, localizar geograficamente o equipamento, verificar o estado da comunicação dos módulos de monitoramento, criar notificações e grupos de notificações. A figura 16 mostra a interface de usuário do sistema.

**Figura 16 – Interface do sistema corporativo MEM**



Nome	Tipo	Local	Responsável	Hr. Operac.	Status	Valor	Falhas	Observação
ER 01	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Ligado	0	2021/33742 2021/54205 2021/54167 2021/54414	PLATAFORMA 1
ER 02	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Ligado	0		PLATAFORMA 1
ER 03	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Ligado Descendo	0	2021/46084	PLATAFORMA 2 E 3
ER 04	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Ligado Subindo	0	2021/54067	PLATAFORMA 2 E 3
ER 05	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Ligado	0		PLATAFORMA 4 E 5
ER 06	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Ligado	0		PLATAFORMA 4 E 5
ER 07	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Ligado	0		PLATAFORMA 6 E 7
ER 08	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:29	Ligado	0		PLATAFORMA 6 E 7
ER 09	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Desligado	0		PLATAFORMA 8
ER 10	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Desligado	0		PLATAFORMA 8
ER 11	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Desligado	0		SANITÁRIOS
ER 12	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	THYSSENKRUPP	04:00 - 23:59	Desligado	0		SANITÁRIOS
ER 50	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	SSO-METRO	00:00 - 00:00	Em funcionamento			PLATAFORMA 1
ER 51	Escada Rolante	ESTAÇÃO BRÁS	SSO-METRO	04:00 - 23:59	Em funcionamento		2021/54005	PLATAFORMA 1

Fonte: Elaborado pelo Autor.

## 5.7 Tempo de implantação e custos

Com a consolidação dos testes do terceiro protótipo na escada 09 da estação Brás e a autorização pelo responsável da área e pela empresa responsável pela manutenção contratual, o módulo de monitoramento foi instalado em doze escadas rolantes na estação Brás durante programações de manutenção preventiva noturna nos equipamentos. Esse trabalho durou cerca de 18 meses.

Considerando todas as versões do protótipo até chegar à versão atual, o desenvolvimento do equipamento consumiu cerca de mil horas a um custo unitário de aproximadamente R\$ 25,00, totalizando R\$ 25.000,00.

Já o desenvolvimento do sistema corporativo durou cerca de 14 meses e consumiu cerca de 500 horas a um custo unitário de aproximadamente R\$ 40,00, totalizando R\$ 20.000,00.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo inicial deste trabalho previa apenas a construção do equipamento de monitoramento e um sistema receptor das informações para notificação das pessoas encarregadas da operação e manutenção dos equipamentos monitorados.

No entanto, em ambos os desenvolvimentos houve um desdobramento considerável, especialmente no sistema receptor das informações, que se converteu em um sistema corporativo para uso de toda a empresa, permitindo assim acompanhar de forma macro o estado dos equipamentos, com visões gerais, e gerar indicadores de produtividade. Isso foi além do inicialmente planejado e se mostrou extremamente satisfatório.

O desenvolvimento do projeto foi ampliando e consolidando seus objetivos conforme avançava, mas encontrou diversas dificuldades durante o seu processo. Uma das maiores deficiências, por exemplo, era a falta de infraestrutura de rede cabeada, e também a impossibilidade de implantação dessa infraestrutura durante o processo de desenvolvimento do equipamento devido aos custos que acarretaria e à natureza incerta do prosseguimento do projeto naquele momento, o que inviabilizou a primeira versão do protótipo desenvolvido.

A solução encontrada para a segunda versão foi a utilização de rede sem fios tanto para a comunicação dos equipamentos com o roteador (via Wi-Fi) quanto para a comunicação do roteador com o servidor central da CPTM (via 4G LTE). Essa solução trouxe algumas vantagens, sendo a maior delas a flexibilidade, pois agora os equipamentos de monitoramento poderão ser instalados em locais que antes não teriam condições de recebê-los, além de poderem ser realocados com relativa facilidade, caso necessário, sem a necessidade de alterar a infraestrutura de comunicação existente.

O sistema ainda possui limitações, sendo a principal delas a falta de mais detalhes de cada equipamento. Atualmente, o equipamento de monitoramento coleta e transmite apenas a informação do estado da escada rolante, pois não tem acesso às informações completas que cada equipamento de controle de escada rolante possui. Apesar das deficiências, o processo de desenvolvimento não foi interrompido. Pelo contrário, motivou a busca por aprimoramentos, que foram realizados e documentados no capítulo 2. Em termos de custos, o desenvolvimento não se demonstrou caro, graças à utilização de mão de obra própria e equipamentos de baixo custo. Para as próximas etapas, destaca-se a importância do apoio da empresa, especialmente na priorização e nos investimentos em inovação, para que o projeto tenha pleno êxito.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração o objetivo inicial do projeto, que é monitorar equipamentos, é possível concluir que esse objetivo foi plenamente alcançado. No entanto, conforme mostram as iterações do desenvolvimento do equipamento de monitoramento, foi um processo composto por algumas dificuldades, obstáculos e descoberta de deficiências. No entanto, a cada nova iteração, o projeto tornou-se mais robusto, flexível e resiliente.

A inovação alcançada é incremental, visto que a melhoria para as áreas que hoje monitoram equipamentos de forma manual será sensível, especialmente em estações de menor movimento, onde falhas em um equipamento podem demorar para serem detectadas.

O desenvolvimento não se encerra em sua versão atual. Novas melhorias continuam a ser pensadas e desenvolvidas para as próximas versões, especialmente quanto a um detalhamento maior do estado dos equipamentos monitorados, o que exigirá ir mais a fundo no funcionamento específico do componente de controle de cada equipamento.

Outra vertente ainda não explorada, mas que o projeto permite que seja desenvolvida a médio e longo prazo, é a manutenção preditiva, que pode elevar consideravelmente a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos monitorados, possibilitando que sejam tomadas ações antes mesmo de ocorrerem falhas.

## REFERÊNCIAS

ALAWAD, H.; KAEWUNRUEN, S. Wireless sensor networks: toward smarter railway stations. **MDPI Open Access Journals**. c2022. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.3390/infrastructures3030024>. Acesso em: 12 out. 2021.

ARUP. **Future of rail 2050**. c2022. Disponível em:

<https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/future-of-rail-2050>.

Acesso em: 20 out. 2021.

BLANCHON, B. ArduinoJson vs Arduino\_JSON. **ArduinoJson**. c2021. Disponível em:

<https://arduinojson.org/>. Acesso em: 16 dez. 2021.

BHATT, A.; et al. Android-based home automation using bluetooth and ESP8266. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, Singapore, v. 624, p. 1767–1776, abr. 2018.

Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-5903-2\\_182](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-5903-2_182). Acesso em: 12 out. 2021.

CAIOCMV. Monitoramento\_elevadores\_esp8266. **Github**. 2021. Disponível em:

[https://github.com/caiocmv/monitoramento\\_elevadores\\_esp8266/blob/main/monitoramento\\_elevadores.ino](https://github.com/caiocmv/monitoramento_elevadores_esp8266/blob/main/monitoramento_elevadores.ino). Acesso em: 16 dez. 2021.

CORES, F.; et al. A logical framework and integrated architecture for the rail maintenance automation. **European Transport Conference**. Spain, University of Sevilla, 2013. Disponível em:

<https://aetransport.org/past-etc-papers/conference-papers-2013?abstractId=252&state=b>. Acesso em: 19 out. 2021.

FRAGA-LAMAS, Paula.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Thiago M.; CASTEDO, Luis. Towards the internet of smart trains: a review on industrial IoT-connected railways. **National Library of Medicine**. Spain, Universidade da Coruña, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s17061457>. Acesso em: 13 out. 2021.

GBADAMOSI, A.; et al. IoT for predictive assets monitoring and maintenance: an implementation strategy for the UK rail industry. **Automation in Construction**. United Kingdom, University of West of the England, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520310669?via%3Dihub>. Acesso em: 14 out. 2021.

GIMENEZ, S. P. **Microcontroladores 8051**. São Paulo: Pearson, 2002.

GROKHOTKOV, I. ESP8266mDNS. **Github**. 2015. Disponível em: <https://github.com/LaborEtArs/ESP8266mDNS>. Acesso em: 16 dez. 2021.

INTERNATIONAL UNION OF RAILWAY. **Smart stations in smart cities**. 2017. Disponível em: [https://uic.org/IMG/pdf/smart\\_stations\\_in\\_smart\\_cities.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/smart_stations_in_smart_cities.pdf). Acesso em: 23 out. 2021.

OLIVEIRA, S. **Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI**. São Paulo: Novatec, 2017.

SATTLER, M. ESP8266HTTPClient. **Github**. 2015. Disponível em: <https://github.com/esp8266/Arduino/tree/master/libraries/ESP8266HTTPClient>. Acesso em: 16 dez. 2021

THADURI, A.; GALAR, D.; KUMAR, U. Railway assets: a potential domain for big data analytics. **Procedia Computer Science**, v. 53, p. 457-467, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915018268>. Acesso em: 13 out. 2021.

TOCCI, R. J.; WIDMER, N.; MOSS, G. L. **Sistemas digitais: princípios e aplicações**. São Paulo: Pearson, 2003.

TRIPATHY, B. K.; ANURADHA, J. **Internet of things (IoT): technologies, applications, challenges, and solutions**. Florida: CRC Press, 2018.

TUTCHER, Jonathan. Ontology-driven data integration for railway asset monitoring applications. **IEEE International Conference on Big Data**, p. 85-95, 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7004436>. Acesso em: 20 out. 2021.

### Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer imensamente algumas pessoas que ajudaram este projeto a se tornar funcional, entre elas: Neilson Gadote, Carlos Ferreira, Cristiane Oliveira, Felipe Naves e Rodrigo Reinaldo da Silva.

## SOBRE OS AUTORES

---

### <sup>i</sup> Caio César de Miranda Viana



Graduado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU) em 2018 e pós-graduado em Engenharia de Produção pela PUC-Minas (2020). Atualmente (2021), também cursa a pós-graduação Lato-Senso em Master Business Innovation no Setor Ferroviário pela Faculdade de Tecnologia SENAI “Mariano Ferraz”. Trabalha há 11 anos no segmento de manutenção ferroviária, e atualmente está na manutenção do Centro de Controle Operacional (CCO), lidando diariamente com a administração de servidores e IHMs (CentOS, Solaris e Windows), infraestrutura de rede, sistema de transmissão ótica, rádio e demais sistemas envolvidos na operação metroferroviária.

### <sup>ii</sup> Conrado Blanco de Souza



Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (USP), em 2011 e mestre em Arquitetura e Urbanismo, em 2015, pela mesma instituição. Atualmente (2021), cursa a pós-graduação Lato-Senso em Master Business Innovation no Setor Ferroviário pela Faculdade de Tecnologia SENAI “Mariano Ferraz”. Atua na gestão do território ferroviário há nove anos e é coordenador do Sistema Raiz, sistema corporativo de informações geoespaciais da CPTM.

### <sup>iii</sup> Daniel Amélio de Lucena



Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP), em 2011, e em Tecnologia em Transportes Terrestres pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (Fatec), em 2016, com especialização em Cidades, Planejamento Urbano e Participação Popular pela Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), em 2019. Atualmente (2021), cursa a pós-graduação Lato-Senso em Master Business Innovation no Setor Ferroviário pela Faculdade de Tecnologia SENAI “Mariano Ferraz”. Possui mais de nove de experiência trabalhando no Centro de Controle Operacional de transporte ferroviário, realizando gestão das equipes, análise e controle de indicadores operacionais.

### <sup>iv</sup> Tiago Dias da Costa



Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), em 2008. Atualmente (2021), cursa a pós-graduação Lato-Senso em Master Business Innovation no Setor Ferroviário pela Faculdade de Tecnologia SENAI “Mariano Ferraz”. Possui 13 anos de experiência na área de Tecnologia da Informação, sendo 8 anos na Companhia Paulista de

Trens Metropolitanos (CPTM) como analista de Tecnologia de Informação, trabalhando com o desenvolvimento de sistemas de informação, bancos de dados e sistemas de sinalização.

**v Caio Vinícius Ribeiro da Silva**



Possui curso Técnico em Mecatrônica pela Escola Técnica Estadual Getúlio Vargas (2008), graduação em Tecnologia em Eletrônica Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI Anchieta (2012), graduação em Teologia pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2015), Especialista em Automação Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2017). Atualmente cursa Pós-Graduação em Inovação e Competitividade Industrial pela Faculdade SENAI “Theobaldo de Nigris” e Mestrado em Engenharia da Informação pela Universidade Federal do ABC. Tem experiência na área de Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquina e Engenharia Eletrônica, com ênfase em Projetos de Automação e Sistemas Microcontrolados. Atualmente é professor na Escola e Faculdade de Tecnologia SENAI “Mariano Ferraz”.

**vi André Luis dos Santos**



Possui graduação em Engenharia Mecatrônica pela Universidade Paulista (2001), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (2016) e atualmente é docente na Faculdade de Tecnologia SENAI Mariano Ferraz. Tem experiência na área de automação industrial e desenvolvimento de software, com ênfase em Linguagens de Programação, atuando principalmente nos seguintes temas: processamento de sinais, tomografia por impedância elétrica, redes de comunicação e microcontroladores.

**vii Daniel Barbuto Rossato**



Possui graduação em Engenharia Elétrica - Automação e Controle pela Universidade de São Paulo (2002), graduação em Licenciatura para Formadores da Educação Profissional pela Universidade do Sul de Santa Catarina (2010) e mestrado em Engenharia Elétrica - Sistemas pela Universidade de São Paulo (2009). Atualmente é professor da Faculdade de Tecnologia SENAI "Mariano Ferraz" em São Paulo no curso de Tecnologia em Automação Industrial. Tem experiência na área de Automação Industrial e Controle, atuando principalmente nos seguintes temas: controle, inteligência artificial e educação.

<http://lattes.cnpq.br/2551200752400438>