



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

SHARA CRISTTINA SOUSA LOPES

AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO:
Sistema embarcado em linha de produção de argamassa

TERESINA, PIAUÍ
2026

SHARA CRISTTINA SOUSA LOPES

AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO:

Sistema embarcado em linha de produção de argamassa

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo Científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de tecnologia em análise e desenvolvimento de sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Esp. Sandra Elisa Veloso Aguiar

TERESINA, PIAUÍ

2026

AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO:

Sistema embarcado em linha de produção de argamassa

Shara Cristtina Sousa Lopes¹

Sandra Elisa Veloso Aguiar²

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma solução embarcada de baixo custo para monitoramento da produção de sacos de argamassa em ambiente industrial. A proposta surgiu da necessidade de substituir controles manuais e registros fragmentados por um sistema capaz de realizar a contagem automática dos produtos, armazenar os dados e disponibilizar indicadores para acompanhamento da operação. Do ponto de vista teórico, o trabalho fundamenta-se em conceitos de automação industrial, sistemas embarcados, Internet das Coisas industrial e desenvolvimento de aplicações *web*. Metodologicamente, foi adotada uma pesquisa aplicada, de natureza quantitativa e objetivo descritivo, com desenvolvimento incremental envolvendo levantamento de requisitos, definição da arquitetura, implementação do sistema embarcado, desenvolvimento do servidor e da interface *web* e validação em ambiente real. Os resultados mostraram que a solução permite acompanhar a produção em tempo quase real, registrar metas, perdas, horas extras e turnos, além de gerar gráficos e relatórios exportáveis. Durante os testes em fábrica, o sistema permaneceu em funcionamento por uma semana, e ajustes na lógica de contagem aumentaram a confiabilidade da detecção. Conclui-se que a solução atende aos objetivos propostos e pode apoiar o controle operacional da linha produtiva, reduzindo o uso de registros manuais e centralizando as informações de produção.

Palavras-chaves: automação industrial; sistemas embarcados; monitoramento da produção; internet das coisas industrial; interface *web*.

ABSTRACT

This paper presents the development of a low-cost embedded solution for monitoring the production of mortar bags in an industrial environment. The project arose from the need to replace manual controls and fragmented records with a system capable of automatically counting products, storing data, and providing indicators for operational monitoring. From a theoretical perspective, the study is based on concepts of industrial automation, embedded systems, the Industrial Internet of Things (IIoT), and web application development. Methodologically, an applied, quantitative, and descriptive study was conducted using an incremental development approach, including requirements elicitation, architecture definition, embedded system implementation, server and web interface development, and validation in a real industrial environment. The results showed that the proposed solution enables near real-time production

¹ Acadêmica do Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus Teresina Central. E-mail: sharacristtinasl@gmail.com.

² Especialista em Ciência da Computação (UFPE). Graduada em Psicologia (UNIFASA), Formação na Abordagem Centrada na Pessoa (CFAPI) e Tecnóloga em Processamento de Dados (UESPI). Professora no Instituto Federal do Piauí. E-mail: sandraelisa@ifpi.edu.br.

monitoring, as well as the recording of production targets, losses, overtime, and work shifts, in addition to generating charts and exportable reports. During the factory validation period, the system operated continuously for one week, and adjustments to the counting algorithm improved detection reliability. It is concluded that the proposed solution meets the established objectives and can support operational control of the production line by reducing the use of manual records and centralizing production information.

Keywords: industrial automation; embedded systems; production monitoring; industrial internet of things; web interface.

Data de Aprovação: 23/06/2026

1 INTRODUÇÃO

A transformação digital da indústria tem impulsionado o uso de tecnologias voltadas ao monitoramento e à automação dos processos produtivos, em consonância com os princípios da Indústria 4.0. Nesse contexto, sistemas embarcados integrados a sensores, redes de comunicação e sistemas de informação permitem a coleta automática de dados e o acompanhamento dos processos em tempo real, contribuindo para a eficiência operacional e o apoio à tomada de decisões (AIRES; MOREIRA; FREIRE, 2016; XU *et al.*, 2018). A integração entre dispositivos físicos e plataformas digitais também amplia a visibilidade das operações e favorece o uso mais eficiente das informações geradas na produção (GONÇALVES, 2024).

A pesquisa foi desenvolvida em parceria com a empresa Kalfix – Argamassas e Rejuntas de Qualidade, onde foi identificada a necessidade de aprimorar o acompanhamento da produção de sacos de argamassa. O processo existente baseava-se em registros gerados pela impressora industrial e em controles manuais, o que dificultava o monitoramento contínuo da produção, da produtividade e das perdas operacionais.

Diante desse cenário, foi desenvolvida uma solução de baixo custo baseada em sistemas embarcados para monitoramento da produção em tempo real. A proposta utiliza um sensor fotoelétrico industrial para detecção dos sacos produzidos, uma Raspberry Pi Pico W para processamento e transmissão dos dados, além de uma infraestrutura composta por servidor local, banco de dados e interface *web* local para visualização dos indicadores produtivos. A solução também permite explorar a integração entre sistemas embarcados, comunicação em rede e desenvolvimento de *software*, áreas diretamente relacionadas aos conceitos da Internet Industrial das Coisas (IIoT) e da Indústria 4.0 (XU *et al.*, 2018).

1.1. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma solução embarcada de baixo custo para aquisição, processamento e monitoramento de dados em uma linha industrial de sacos de argamassa, possibilitando o acompanhamento da produção com atualizações periódicas dos dados coletados. Especificamente, busca-se implementar a contagem automática dos produtos por meio de sensor fotoelétrico industrial, desenvolver um sistema embarcado baseado na Raspberry Pi Pico W para processamento e transmissão dos dados, disponibilizar a visualização local das informações por meio de um *display* LCD, implementar um alerta sonoro com função motivacional para sinalização do atingimento das metas produtivas, armazenar os dados coletados em banco de dados para formação de histórico operacional e desenvolver uma interface web capaz de apresentar indicadores, gráficos e relatórios para apoio ao monitoramento e à tomada de decisão no ambiente produtivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os principais conceitos teóricos que fundamentam o desenvolvimento da solução proposta. São abordados os conceitos de Indústria 4.0, Internet Industrial das Coisas (IIoT), sistemas embarcados, microcontroladores e a plataforma Raspberry Pi Pico W, além da contextualização do Programa EmbarcaTech, no qual o projeto foi desenvolvido.

2.1. INDÚSTRIA 4.0 E INTERNET INDUSTRIAL DAS COISAS

A Indústria 4.0 representa a integração entre sistemas físicos e digitais por meio de tecnologias como sensores, redes de comunicação, computação em nuvem e análise de dados. Seu objetivo é aumentar a eficiência dos processos produtivos por meio da coleta e utilização de informações em tempo real (AIRES; MOREIRA; FREIRE, 2016; XU *et al.*, 2018).

Nesse contexto, a Internet Industrial das Coisas (Industrial Internet of Things – IIoT) consiste na aplicação dos conceitos da Internet das Coisas em ambientes industriais. Por meio da conexão entre sensores, dispositivos embarcados e sistemas de informação, torna-se possível monitorar equipamentos, coletar dados operacionais e apoiar a tomada de decisões baseada em informações atualizadas (XU *et al.*, 2018).

A solução desenvolvida neste artigo está alinhada a esses conceitos, uma vez que realiza a aquisição automática de dados de produção, sua transmissão para um servidor e a disponibilização das informações em uma interface de monitoramento.

Sistemas embarcados são sistemas computacionais desenvolvidos para executar funções específicas dentro de dispositivos eletrônicos ou mecânicos. Diferentemente

dos computadores de uso geral, são projetados para atender requisitos particulares de desempenho, consumo de energia e custo, sendo normalmente dedicados a uma aplicação específica (VALVANO, 2015).

Um dos principais componentes de um sistema embarcado é o microcontrolador, circuito integrado que reúne unidade de processamento, memória e periféricos de entrada e saída em um único dispositivo. Essa elevada integração contribui para a redução do custo, do consumo de energia e da complexidade do hardware, favorecendo sua ampla utilização em aplicações de automação, controle e monitoramento (MARWEDEL, 2018).

2.2. RASPBERRY PI PICO W

O Raspberry Pi Pico W é uma plataforma de desenvolvimento baseada no microcontrolador RP2040, que possui dois núcleos ARM Cortex-M0+ operando em até 133 MHz. Entre suas principais características destacam-se o baixo custo, o reduzido consumo de energia e a conectividade Wi-Fi integrada, que possibilita a comunicação direta com redes de computadores e sistemas de informação (RASPBERRY PI LTD, 2024).

Neste projeto, o Raspberry Pi Pico W foi utilizado como unidade central de processamento responsável pela aquisição dos sinais do sensor, processamento da lógica de contagem e transmissão dos dados para o servidor da aplicação.

2.3. PROGRAMA EMBARCATECH

O desenvolvimento da solução ocorreu no âmbito do Programa EmbarcaTech, iniciativa voltada à capacitação de estudantes nas áreas de sistemas embarcados, Internet das Coisas e desenvolvimento de soluções tecnológicas. O programa combina atividades de formação técnica com projetos práticos direcionados à resolução de problemas reais encontrados em diferentes setores da sociedade (EMBARCATECH, 2025).

A participação no programa proporcionou acesso a conteúdos especializados, equipamentos e suporte técnico necessários para o desenvolvimento da solução apresentada neste artigo.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, de natureza quantitativa e objetivo descritivo, pois busca desenvolver e avaliar uma solução tecnológica para o monitoramento da produção em ambiente industrial. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa de desenvolvimento tecnológico, envolvendo a concepção, implementação e validação de um sistema embarcado integrado a uma aplicação *web*.

O desenvolvimento da solução foi realizado de forma incremental, compreendendo as seguintes etapas: levantamento dos requisitos do sistema junto aos responsáveis

pelo processo produtivo; definição da arquitetura de *hardware* e *software*; implementação do *firmware* embarcado para aquisição e transmissão dos dados de produção; desenvolvimento do *backend* e da interface *web*; integração dos módulos da solução; e realização de testes funcionais para validação do sistema.

O levantamento de requisitos foi conduzido por meio da observação do processo produtivo e de reuniões com os responsáveis pelo acompanhamento da produção. A partir dessa etapa foram identificados requisitos funcionais, requisitos não funcionais e regras de negócio que orientaram o desenvolvimento da solução.

3.1. LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

Nesta seção são apresentados os requisitos identificados durante a análise do processo produtivo. Esses requisitos serviram como base para o desenvolvimento e validação da solução proposta.

3.1.1. Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais descrevem os serviços e funcionalidades que o sistema deve fornecer aos usuários para atender aos objetivos do processo de negócio (SOMMERVILLE, 2019). A partir do levantamento realizado junto aos responsáveis pelo processo produtivo, foram identificados os requisitos funcionais apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Requisitos funcionais do sistema

Código	Descrição
RF01	Realizar a contagem automática dos sacos transportados pela esteira por meio de sensor fotoelétrico.
RF02	Receber e processar os sinais provenientes do sensor instalado na linha de produção.
RF03	Enviar periodicamente ao servidor os dados acumulados de produção para processamento e armazenamento.
RF04	Armazenar os dados de produção para consultas e análises posteriores.
RF05	Permitir o registro manual de perdas de produção.
RF06	Permitir o cadastro e a atualização das metas de produção.
RF07	Exibir a produção acumulada em interface web local.
RF08	Disponibilizar indicadores de desempenho da produção.
RF09	Exibir gráficos de acompanhamento e tendência da produção.
RF10	Permitir o acompanhamento da produção por turno.
RF11	Permitir o registro de horas extras para atualização dos cálculos de produtividade.

Código	Descrição
RF12	Emitir alerta sonoro quando a meta de produção for atingida.
RF13	Identificar automaticamente o turno de produção para organizar os registros por período.

Fonte: Elaborado pela autora.

3.1.2. Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais definem características de qualidade e restrições relacionadas ao funcionamento do sistema, como desempenho, confiabilidade, usabilidade e manutenção (PRESSMAN; MAXIM, 2016; SOMMERVILLE, 2019). Os requisitos não funcionais identificados para a solução proposta são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Requisitos não funcionais do sistema

Código	Descrição
RNF01	O sistema deve operar utilizando a infraestrutura de rede local disponível na empresa.
RNF02	A interface deve ser acessível por meio de navegador web.
RNF03	Os dados de produção devem permanecer armazenados para consultas históricas.
RNF04	As informações exibidas na interface devem ser atualizadas periodicamente.
RNF05	A solução deve apresentar baixo custo de implementação e manutenção.
RNF06	A interface deve ser simples e intuitiva para operadores e responsáveis pela produção.
RNF07	O sistema deve permitir operação contínua durante os turnos de produção.
RNF08	O sistema deve apresentar confiabilidade na aquisição dos dados de produção, minimizando ocorrências de contagens incorretas.
RNF09	A estrutura do sistema deve facilitar futuras manutenções e expansões.
RNF10	A comunicação entre o sistema embarcado e o servidor deve ser realizada de forma eficiente, minimizando o volume de requisições e o consumo de recursos da rede.

Fonte: Elaborado pela autora.

3.1.3. Regras de Negócio

Segundo o Business Rules Group (BUSINESS RULES GROUP, 2000), regras de negócio são declarações que definem ou restringem aspectos do funcionamento de uma organização, estabelecendo condições que devem ser respeitadas pelos sistemas

que apoiam seus processos. Dessa forma, as regras de negócio complementam os requisitos funcionais ao representar restrições operacionais e critérios específicos do ambiente produtivo.

Com base na análise do processo de produção da empresa parceira, foram identificadas as regras de negócio apresentadas no Quadro 3, as quais orientaram a implementação das funcionalidades e dos cálculos realizados pelo sistema.

Quadro 3 – Regras de negócio do sistema

Código	Descrição
RN01	A produção deve ser contabilizada separadamente para cada turno.
RN02	As metas de produção devem ser definidas individualmente para cada turno.
RN03	Os cálculos de tendência devem considerar a quantidade de operadores informada para a esteira.
RN04	Os cálculos de produtividade devem considerar as horas efetivamente trabalhadas, incluindo horas extras registradas.
RN05	As perdas de produção devem ser registradas manualmente pelo responsável pela produção.
RN06	A contagem de produtos somente pode ser realizada automaticamente pelo sensor fotoelétrico.
RN07	O alerta sonoro deve ser acionado quando a produção atingir a meta definida para o turno.
RN08	A projeção de produção deve ser recalculada sempre que houver alteração na quantidade de operadores ou no total de horas trabalhadas.

Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nesses requisitos, foi desenvolvida a solução proposta, cuja arquitetura, implementação e integração são descritas nas seções seguintes.

3.2. ARQUITETURA DA SOLUÇÃO

A Figura 1 apresenta a arquitetura da solução, organizada em quatro camadas: aquisição, processamento, armazenamento e visualização dos dados.

A aquisição das informações é realizada por um sensor fotoelétrico *Positive-Negative-Positive (PNP)* difuso alimentado em 24 V. O sinal do sensor é isolado eletricamente por um optoacoplador PC817 e encaminhado à Raspberry Pi Pico W, responsável pela validação e contagem dos produtos detectados.

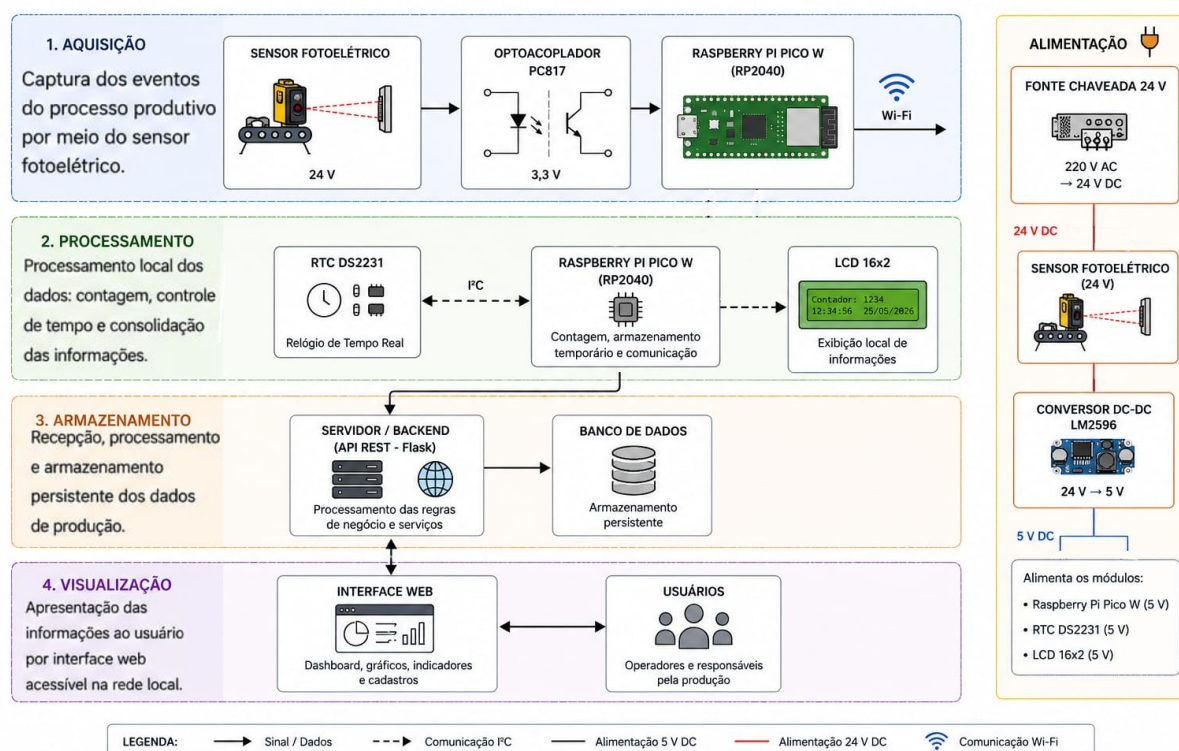
O sensor fotoelétrico foi instalado próximo à impressora industrial da linha de produção, posição escolhida por apresentar menor interferência causada pela movimentação dos operadores nas proximidades da esteira transportadora. Além disso, o sensor

utilizado possui alcance de detecção de até 30 cm, característica compatível com a distância de instalação e com a detecção confiável da passagem dos sacos de argamassa.

Além da contagem, o microcontrolador gerencia um módulo *Real-Time Clock* (RTC) DS3231 para obtenção de data e hora e um *display* de cristal líquido (LCD) 16x2 para exibição local das informações. A alimentação dos dispositivos é realizada por uma fonte de 24 V associada a um conversor CC-CC LM2596.

Os dados de produção são armazenados localmente e enviados ao servidor por meio da interface Wi-Fi integrada ao microcontrolador a cada 30 segundos. No servidor, uma aplicação *backend* processa e armazena as informações em banco de dados, disponibilizando-as para a aplicação *web* utilizada no acompanhamento da produção.

Figura 1 – Arquitetura geral da solução proposta.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.3. SISTEMA EMBARCADO

O sistema embarcado foi desenvolvido utilizando a Raspberry Pi Pico W. O *firmware*, implementado em linguagem C com o *Software Development Kit* (SDK) oficial da plataforma, é responsável pela aquisição dos sinais do sensor fotoelétrico, processamento da contagem, armazenamento local dos dados e comunicação com o servidor. O sinal

proveniente do sensor fotoelétrico é monitorado continuamente pelo microcontrolador. Para aumentar a confiabilidade da contagem, os pulsos recebidos são validados com base em sua duração, descartando eventos incompatíveis com a passagem normal dos produtos pela esteira. Após a validação, a contagem é atualizada e exibida em tempo real no *display LCD*. Os dados também são armazenados periodicamente na memória não volátil do dispositivo, permitindo a recuperação das informações em caso de reinicialização ou interrupção de energia.

Os dados são transmitidos ao servidor por meio da rede Wi-Fi utilizando requisições do protocolo *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)*.

O sistema também incorpora um módulo DFPlayer Mini conectado a um cartão microSD e a um mini alto-falante de 3 W e 4, Ω . Quando a meta de produção do turno é atingida, um arquivo de áudio é reproduzido automaticamente para fornecer um retorno imediato aos operadores.

Para aumentar a confiabilidade da solução em ambiente industrial, a placa Raspberry Pi Pico W e os periféricos eletrônicos foram acondicionados em um gabinete (*case*) desenvolvido especificamente para o projeto. O gabinete tem como finalidade proteger os componentes contra o acúmulo de poeira presente no ambiente fabril, reduzindo a exposição dos circuitos eletrônicos e contribuindo para a durabilidade do sistema.

3.3.1. Firmware

Firmware corresponde ao software de baixo nível responsável por controlar os recursos de hardware de um sistema embarcado e implementar as funcionalidades específicas da aplicação, atuando como interface entre o hardware e os demais componentes do sistema (VALVANO, 2015).

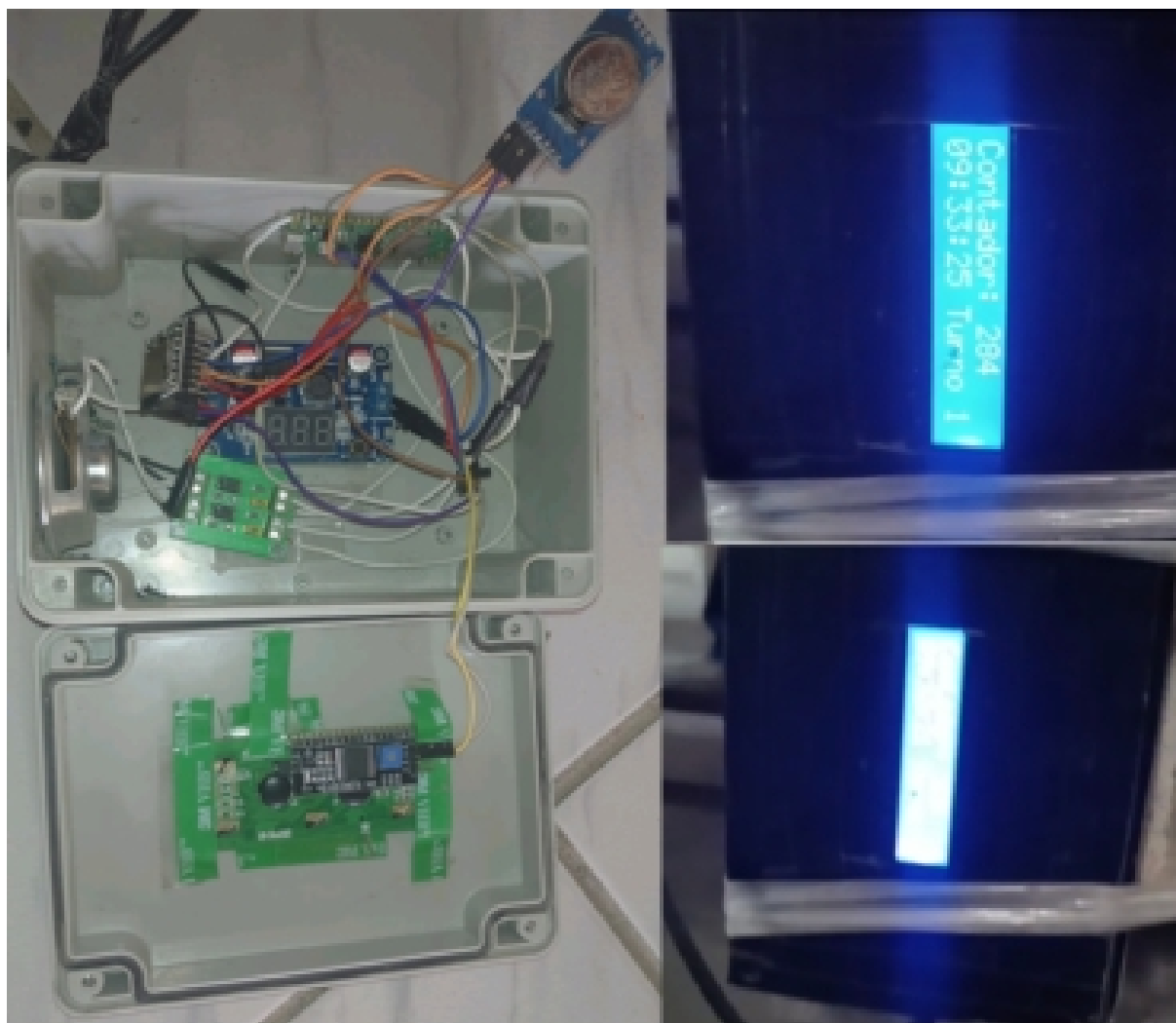
A principal função do *firmware* é realizar a aquisição dos sinais provenientes do sensor fotoelétrico, processar os eventos de produção, gerenciar os periféricos conectados ao microcontrolador e realizar a comunicação com o servidor por meio da rede Wi-Fi.

Para melhorar o desempenho da aplicação e garantir a execução simultânea das tarefas críticas, o *firmware* utiliza os dois núcleos de processamento do RP2040. Essa abordagem permite separar as atividades de aquisição de dados das operações de comunicação em rede, reduzindo atrasos e aumentando a confiabilidade do sistema.

O núcleo principal (Core 0) é responsável pelo gerenciamento da conectividade Wi-Fi, monitoramento do estado da rede, transmissão das informações de produção ao servidor e operações relacionadas ao armazenamento dos dados na memória não volátil do dispositivo.

O segundo núcleo (Core 1) é dedicado às tarefas de aquisição e processamento local. Nesse núcleo são executadas a leitura contínua do sensor fotoelétrico, a validação dos pulsos detectados, a atualização da contagem de produção, o controle do *display*

Figura 2 – Gabinete de proteção



Fonte: Elaborado pela autora.

LCD e a comunicação com o módulo *RTC DS3231* para obtenção das informações de data e hora.

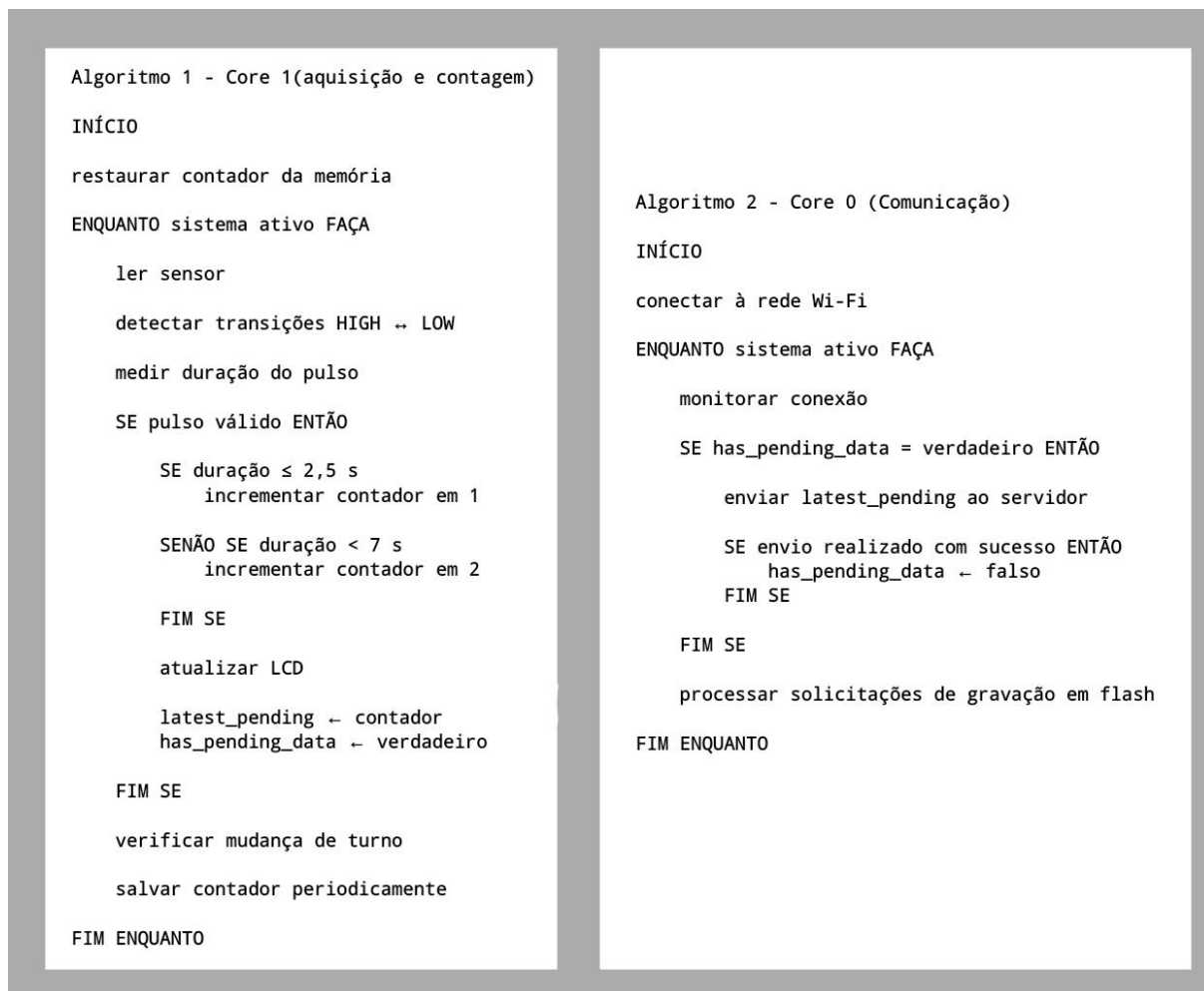
A comunicação entre os núcleos é realizada por meio de variáveis compartilhadas sincronizadas, permitindo que o Core 1 permaneça dedicado à aquisição dos eventos enquanto o Core 0 executa as operações de armazenamento e comunicação.

A validação dos pulsos é realizada com base no tempo de permanência do sinal do sensor em nível ativo. Pulsos com duração compatível com a passagem de um único saco são contabilizados como uma unidade, enquanto pulsos mais longos podem representar a passagem de dois sacos consecutivos. Eventos com duração incompatível com o processo produtivo são descartados, reduzindo erros de contagem causados por ruídos ou condições anormais de operação.

A lógica geral de funcionamento do *firmware* é apresentada na Figura 3. O processo inicia com a leitura contínua do sensor fotoelétrico, seguida pela validação dos pulsos

detectados. Após a confirmação de um evento válido, a contagem é atualizada, armazenada localmente e sinalizada para transmissão ao servidor. Em paralelo, o sistema monitora a conectividade Wi-Fi e realiza o envio periódico dos dados de produção ao *backend*.

Figura 3 – Fluxo simplificado de funcionamento do *firmware*.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.4. BACKEND E BANCO DE DADOS

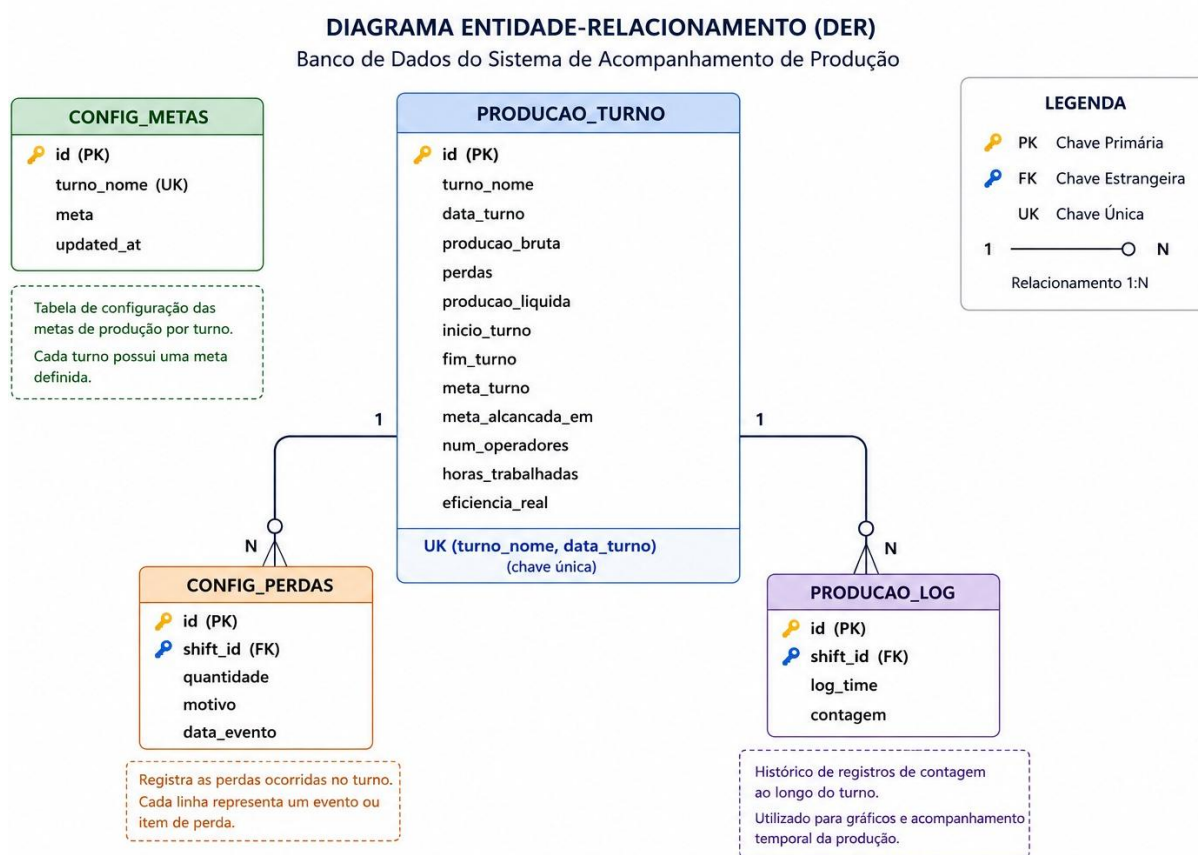
O *backend* foi desenvolvido em linguagem *Python* com o uso do *framework Flask*, sendo responsável pelo recebimento dos dados enviados pelo sistema embarcado, processamento das regras de negócio e disponibilização das informações para a interface *web* por meio de uma *Application Programming Interface (API)* do tipo *Representational State Transfer (REST)*.

Os dados são armazenados em um banco PostgreSQL, cuja estrutura é composta pelas tabelas *producao_turno*, *config metas*, *config perdas* e *producao_log*. Essas tabelas armazenam, respectivamente, os dados consolidados de produção por turno,

as metas configuradas, os registros de perdas e o histórico temporal das contagens recebidas.

O Diagrama Entidade-Relacionamento (DER) da base de dados é apresentado na Figura 4. A estrutura foi organizada de forma que a tabela *producao_turno* atue como entidade central, concentrando os dados consolidados de produção e mantendo relacionamento com os registros de perdas e com o histórico temporal armazenado na tabela *producao_log*.

Figura 4 – Diagrama Entidade-Relacionamento da base de dados.



Fonte: Elaborado pela autora.

O banco de dados PostgreSQL foi escolhido por ser um sistema gerenciador de banco de dados relacional de código aberto amplamente utilizado em aplicações que exigem confiabilidade, integridade dos dados e suporte a consultas complexas, características adequadas ao armazenamento histórico e ao processamento dos indicadores de produção utilizados neste trabalho (POSTGRES SQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP, 2025).

A modelagem adotada permite manter o histórico da produção e armazenar as informações necessárias para o cálculo dos indicadores apresentados na interface web.

Quadro 4 – Principais tabelas da base de dados

Tabela	Finalidade
<i>producao_turno</i>	Armazenamento consolidado da produção por turno.
<i>config_metas</i>	Registro das metas configuradas para cada turno.
<i>config_perdas</i>	Registro das perdas operacionais associadas ao turno.
<i>producao_log</i>	Histórico temporal das contagens recebidas.

Fonte: Elaborado pela autora.

O sistema permite o cadastro de metas de produção, o registro manual de perdas, a definição da quantidade de operadores e o lançamento de horas extras. Essas informações são utilizadas pelo *backend* para calcular indicadores como produção bruta, produção líquida, percentual de atingimento da meta e eficiência produtiva. Além disso, os registros armazenados na tabela *producao_log* são utilizados para gerar os gráficos de acompanhamento exibidos na interface *web*.

3.5. INTERFACE WEB E INDICADORES

A interface *web* foi desenvolvida utilizando HTML, CSS e JavaScript para permitir o monitoramento da produção por meio de indicadores numéricos e gráficos atualizados automaticamente. A aplicação apresenta informações como produção acumulada, produção líquida, perdas registradas, metas de produção e eficiência operacional e disponibiliza gráficos com filtros por turno e período de tempo, permitindo diferentes níveis de análise da produção.

A contagem é atualizada automaticamente à medida que novos dados são recebidos pelo servidor, enquanto os indicadores consolidados são recalculados periodicamente. O sistema também disponibiliza gráficos de tendência que permitem comparar a evolução da produção realizada com a trajetória necessária para o atingimento da meta estabelecida.

Além do monitoramento da produção, a aplicação permite registrar perdas operacionais, informar a quantidade de operadores atuando na esteira em cada turno e lançar períodos de horas extras. Essas informações são utilizadas para ajustar as metas às condições reais de operação e recalculando indicadores, eficiência produtiva e as projeções exibidas no gráfico de tendência da produção.

A página principal da aplicação, apresentada na Figura 5, reúne os principais indicadores operacionais.

Figura 5 – Tela principal da interface web de monitoramento da produção.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 6 apresenta a página de relatórios do sistema. Essa funcionalidade permite consultar o histórico da produção por turno e período de tempo, além de exportar os dados em formato *Comma-Separated Values* (CSV) para análises externas e elaboração de relatórios gerenciais.

Figura 6 – Página de relatórios da aplicação web.

Relatório de Produção						
Data Inicial	Data Final	Turno		Buscar	Exportar CSV	
Data	Turno	Operadores	Horas Lq.	Meta Ajustada	Prod. Líquida	Eficiência
28/02/2028	Turno 1 (06:00 - 18:00 h)	6	8h	0	2081	0%
25/02/2028	Turno 2 (22:00 - 06:00 h)	6	7h	6000	7838	130.5%
25/02/2028	Turno 1 (06:00 - 18:00 h)	6	9h	6999	7988	113.9%
24/02/2028	Turno 2 (22:00 - 06:00 h)	6	7h	6000	7954	132.6%
24/02/2028	Turno 1 (06:00 - 18:00 h)	6	9h	6999	10366	148.3%
23/02/2028	Turno 2 (22:00 - 06:00 h)	6	7h	6000	8071	133.5%
23/02/2028	Turno 1 (06:00 - 18:00 h)	6	9h	6999	14885	210%
22/02/2028	Turno 2 (22:00 - 06:00 h)	6	7h	6000	108	1.8%
22/02/2028	Turno 1 (06:00 - 18:00 h)	6	9h	6999	0	0%
21/02/2028	Turno 2 (22:00 - 06:00 h)	6	7h	6000	0	0%
21/02/2028	Turno 1 (06:00 - 18:00 h)	6	9h	6999	0	0%

Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados coletados pelo sistema embarcado são transmitidos ao servidor por meio da rede Wi-Fi, armazenados no banco de dados e disponibilizados na interface *web* para acompanhamento da produção. Quando a meta configurada é atingida, o sistema aciona automaticamente o módulo de áudio, fornecendo um retorno imediato aos operadores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos durante a validação da solução em ambiente industrial e a análise do desempenho do sistema desenvolvido.

4.1. VALIDAÇÃO EM AMBIENTE INDUSTRIAL

A validação foi realizada em uma fábrica de argamassa com operação contínua, funcionando 24 horas por dia em diferentes turnos de produção. O sistema permaneceu em operação durante uma semana antes da entrega final do projeto, permitindo avaliar seu desempenho em condições reais de uso.

Durante os testes iniciais foram identificadas divergências ocasionais na contagem quando sacos trafegavam muito próximos na esteira transportadora. Como alternativa, foi avaliada a utilização de dois sensores fotoelétricos; entretanto, essa abordagem aumentou a complexidade do processamento e introduziu ambiguidades na correlação dos sinais. Dessa forma, optou-se pela utilização de um único sensor associado a uma lógica de validação temporal dos pulsos.

Inicialmente, o *firmware* utilizava uma janela temporal de cinco segundos para classificação dos eventos detectados, apresentando divergência média de aproximadamente um saco não contabilizado a cada cem unidades produzidas. Após a ampliação da janela para sete segundos, não foram registradas novas divergências durante o restante do período de testes.

Também foi identificado um problema relacionado ao cabeamento de alimentação, causado pelo desgaste mecânico decorrente do tráfego constante de pessoas na área produtiva. A substituição do cabo e a recomendação de instalação em canaletas ou eletrodutos eliminaram a ocorrência e contribuíram para aumentar a confiabilidade da solução.

4.2. AVALIAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES E DISCUSSÃO

Além da contagem automática, foram avaliadas as funcionalidades de cadastro de metas, registro de perdas, gerenciamento de turnos, lançamento de horas extras, geração de gráficos e exportação de relatórios em formato *CSV*.

Durante o período de testes, todas as funcionalidades apresentaram comportamento compatível com os requisitos definidos para o projeto. Os registros realizados pela interface *web* foram corretamente armazenados no banco de dados e refletidos nos indicadores apresentados aos usuários. Os gráficos permitiram acompanhar a evolução da produção ao longo dos turnos, enquanto os relatórios exportados possibilitaram análises complementares em ferramentas externas.

O sistema operou continuamente durante o período de validação, realizando a transmissão dos dados, o armazenamento das informações e a atualização dos indicadores sem interrupções relevantes. A troca automática de turnos e os mecanismos

de armazenamento local implementados no sistema embarcado contribuíram para a confiabilidade da solução em ambiente industrial.

Os resultados obtidos demonstram que a estratégia adotada para aquisição e processamento dos dados foi adequada às características do processo produtivo analisado, permitindo o monitoramento da produção em tempo quase real e fornecendo informações úteis para o acompanhamento das metas e do desempenho operacional da linha.

A Figura 7 apresenta a solução desenvolvida após o período de validação em ambiente industrial. A fotografia, registrada após a apresentação do sistema à empresa parceira, mostra os residentes, os instrutores e o funcionário responsável pelo monitoramento da produção, com a interface web da solução exibida ao fundo.

Figura 7 – Entrega final e apresentação da solução



Fonte: Elaborado pela autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma solução embarcada de baixo custo para monitoramento da produção de sacos de argamassa em ambiente industrial, integrando aquisição automática de dados, processamento local, armazenamento em banco de dados e disponibilização de indicadores por meio de uma interface *web*.

A solução implementada permitiu realizar a contagem automática dos produtos utilizando sensor fotoelétrico industrial e uma Raspberry Pi Pico W, além de disponibilizar informações localmente por meio de um *LCD* e fornecer sinalização sonora quando as metas de produção são atingidas. Também foi desenvolvido um sistema para armazenamento histórico dos dados produtivos e uma interface *web* capaz de apresentar indicadores, gráficos e relatórios para apoio ao acompanhamento da produção.

Os testes realizados em ambiente real permitiram validar o funcionamento da solução e demonstraram sua capacidade de fornecer informações de produção com atualizações periódicas dos dados coletados. Durante o período de avaliação, foram identificadas e corrigidas limitações relacionadas à parametrização do algoritmo de

contagem, resultando em maior confiabilidade na detecção dos produtos. Também foram validadas funcionalidades como cadastro de metas, registro de perdas, gerenciamento de turnos, lançamento de horas extras, geração de gráficos e exportação de relatórios.

Os resultados obtidos indicam que os objetivos propostos foram alcançados, contribuindo para a redução de controles manuais, para a centralização das informações produtivas e para o acompanhamento dos indicadores operacionais da linha de produção.

Como trabalhos futuros, sugere-se a implementação de mecanismos adicionais para situações em que os produtos trafeguem muito próximos entre si, a integração com sistemas corporativos de gestão da produção, a inclusão de funcionalidades para registro de observações operacionais diretamente nos gráficos de acompanhamento e o desenvolvimento de análises avançadas para identificação automática de padrões e causas recorrentes de redução de produtividade.

REFERÊNCIAS

- AIRES, R. W. d. A.; MOREIRA, F. K.; FREIRE, P. d. S. Indústria 4.0: desafios e tendências para a gestão do conhecimento. In: **Congresso Brasileiro de Gestão do Conhecimento**. São Paulo: SBGC, 2016. Disponível em: <<http://anais.suceg.ufsc.br/index.php/suceg/article/view/49>>. Acesso em: 24 nov. 2025.
- BUSINESS RULES GROUP. **Defining Business Rules: What Are They Really?** 2000. Disponível em: <https://www.businessrulesgroup.org/first_paper/BRG-whatBR_3ed.pdf>. Acesso em: 30 maio 2026.
- EMBARCATECH. **Programa EmbarcaTech**. 2025. Disponível em: <<https://embarcotech.softex.br/>>. Acesso em: 03 jun. 2026.
- GONÇALVES, D. B. Indústria 4.0 no brasil: análise da contribuição do centro de excelência em tecnologia 4.0. **Latin American Journal of Business Management**, v. 15, n. 2, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.69609/2178-4833.2024.v15.n2.a806>>. Acesso em: 24 nov. 2025.
- MARWEDEL, P. **Embedded System Design**. 4. ed. Cham: Springer, 2018.
- POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP. **PostgreSQL Documentation**. 2025. Disponível em: <<https://www.postgresql.org/docs/>>. Acesso em: 05 jun. 2026.
- PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
- RASPBERRY PI LTD. **Raspberry Pi Pico W Datasheet**. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://datasheets.raspberrypi.com/picow/pico-w-datasheet.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2019.

VALVANO, J. W. **Embedded Systems: Real-Time Interfacing to ARM Cortex-M Microcontrollers**. 3. ed. Austin: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015.

XU, H. *et al.* A survey on industrial internet of things: A cyber-physical systems perspective. **IEEE Access**, v. 6, p. 78238–78259, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2884906>>. Acesso em: 30 maio 2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por sempre estar comigo, por me guiar e me conceder força, sabedoria e saúde para superar todos os desafios desta jornada.

À minha orientadora, Prof.^a Esp. Sandra Elisa Veloso Aguiar, pela orientação, confiança, dedicação e pelos ensinamentos valiosos que foram fundamentais para a construção deste trabalho.

Ao Instituto Federal do Piauí (IFPI) e a todos os professores que fizeram parte da minha formação, por cada ensinamento, incentivo e oportunidade proporcionados ao longo dessa trajetória.

Agradeço também ao Programa de Residência Tecnológica EmbarcaTech, ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), à Fundação de Apoio ao Instituto Federal do Piauí (FAIFPI), à Softex, aos instrutores e aos demais residentes, pela confiança, pelo apoio técnico e financeiro e pela oportunidade de vivenciar experiências reais no mercado de tecnologia.

Aos meus pais, Maria de Lourdes de Sousa Rocha e Antônio Francisco Lopes da Silva, por todo o amor, dedicação e suporte ao longo da minha vida. Eu não estaria aqui sem o esforço de vocês. Obrigada por sempre valorizarem minha educação e por cuidarem de mim mesmo nos momentos em que eu me esqueço de cuidar de mim mesma, lembrando-me da importância de descansar, me alimentar e encontrar equilíbrio em meio às responsabilidades.

Às minhas amigas e colegas de turma, Clara Mikaelly e Izadora Pamella, as “Meninas Superpoderosas”, como carinhosamente nos apelidou o professor Otílio, pela parceria, companheirismo e pelos momentos de descontração que tornaram essa caminhada mais leve.

Aos meus amigos e colegas de turma, por serem pessoas tão dedicadas, generosas e inspiradoras, que celebram as conquistas uns dos outros e incentivam cada pequeno avanço ao longo do curso.

Agradeço a todos os professores e instituições que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal: ao CMEI Novo Milênio, ao Colégio Cenecista Deputado Átila Lira (CNEC), ao Colégio São Judas Tadeu (Unidade III), à Escola de Idiomas Senac e, novamente, ao Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central (IFPI-CATCE).

À minha família, pelo incentivo constante à busca pelo conhecimento e ao desenvolvimento pessoal e profissional.

A todos os meus amigos que, mesmo à distância, continuam torcendo pelo meu sucesso e me encorajando nos momentos difíceis. Em especial, agradeço ao meu amigo Márcio Fernando, que, desde os tempos do ensino médio, permanece presente em minha vida, mesmo que raramente nos encontremos pessoalmente, ouvindo meus desabafos, oferecendo apoio, incentivando meu crescimento acadêmico, profissional e pessoal e proporcionando momentos de descontração por meio de conversas, memes

e assuntos do universo nerd.

Por fim, gostaria de agradecer a todas as pessoas que fizeram parte da minha trajetória. Embora não seja possível citar cada nome individualmente, deixo registrado meu sincero agradecimento a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho e para a pessoa que sou hoje.