

# Envasadora de líquidos desenvolvida a partir de conceitos da Indústria 4.0

*Liquid filling machine developed based on Industry 4.0 concepts*

## Engenharia de Controle e Automação

**Rogério Etchebehere Júnior**

*(061210044@faculdade.cefsa.edu.br)*

*Graduando em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena.*

**Marcones Cleber Brito da Silva**

*(pro21001731@cefsa.edu.br)*

*Mestre em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena.*

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP DEZ. 2021

• ISSN 2525-8729

Submissão: 29 ago. 2022 Aceitação: 14 dez.2022

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 86-106

**FTT JOURNAL**  
*of Engineering and Business*



**FACULDADE  
ENGENHEIRO  
SALVADOR ARENA**

## *Resumo*

Este trabalho consiste na criação de um protótipo de um sistema de envase, por meio da integração dos conceitos baseados na 4ª Revolução Industrial, tendo como principal objetivo implementar os seguintes temas: computação em nuvem, robótica, IoT e a integração de sistemas. Para que o trabalho pudesse chegar ao objetivo proposto foi necessário realizar o estudo da bibliografia sobre o tema principal, executar a montagem da estrutura mecânica e eletrônica, configuração e programação do ESP32, desenvolvimento da IHM, SCADA, banco de dados, aplicativo e por fim realizar a elaboração do texto. Notou-se que a integração de sistemas é de extrema importância para processos industriais, principalmente aqueles que exigem maior conectividade, produtividade e qualidade, algo presente no núcleo da indústria 4.0, onde é necessário que a manufatura conquiste melhores resultados por meio de tecnologias integradas.

**Palavras-chave:** Automação. IoT. Integração. Tecnologia.

## *Abstract*

This paper consists of creating a prototype of a filling system, through the integration of concepts based on the 4th Industrial Revolution, with the main objective of implementing the following themes: cloud computing, robotics, IoT and systems integration. In order for the work to reach the proposed objective, it was necessary to study the bibliography on the main theme, assemble the mechanical and electronic structure, configure and program the ESP32, develop the HMI, SCADA, database, application and finally carry out the elaboration of the text. It was noted that the integration of systems is extremely important for industrial processes, especially those that require greater connectivity, productivity and quality, something present in the core of industry 4.0, where it is necessary for manufacturing to achieve better results through integrated technologies.

**Keywords:** Automation. IOT. Integration. Technhnology.

# Introdução

Desde o início da Revolução Industrial, as máquinas de envase estiveram entre as primeiras aplicações industriais usadas em grande escala, sendo utilizadas nas mais diversas aplicações. O propósito de desenvolver uma linha de envase ganhou importância devido ao fato de que a indústria atual se apresenta em constante expansão, tendo em vista o aumento no uso dessas máquinas a cada dia.

As indústrias de bebidas, por exemplo, contam com uma grande participação no cenário nacional, devido a sua demanda de produção acentuada gerada pelo mercado consumidor. O Brasil é o quinto maior mercado de bebidas saudáveis do mundo, apresentando um crescimento de 20% ao ano desde 2012, enquanto o resto do mundo cresceu apenas 8% (O GLOBO, 2021).

O processo de embalagem de bebidas ou líquidos em geral, comumente conhecido como envase, corresponde à etapa final da fabricação dos produtos deste segmento, havendo a possibilidade de serem envasados em diversos tipos de embalagens, em sua maioria, de plástico ou de vidro, podendo ser descartáveis ou até retornáveis. Logo, a envasadora é o equipamento responsável para que os recipientes sejam preenchidos com as quantidades necessárias de líquidos, cumprindo com o objetivo de cada produto.

A automação contribuiu muito para as empresas deste setor, aumentando a produção e reduzindo em muito o custo de fabricação, possibilitando a obtenção de um produto mais barato para o consumidor e, conseqüentemente, um aumento significativo nas vendas.

Tendo em vista este cenário e com a iminente chegada da quarta Revolução Industrial, que, implantada juntamente com a automação geraram a otimização dos processos produtivos, percebeu-se um aumento na flexibilidade de produção, por meio da adaptação das máquinas, em sua maioria conectadas à internet para a produção diversificada conforme a demanda, reduzindo, entre outras coisas, o trabalho manual e substituindo a mão de obra humana pela automatizada.

Desse modo, pensou-se em uma forma de buscar inserir parte destes conceitos, verificando a viabilidade de cada um deles e salientando-se os benefícios dessas aplicações dentro do contexto atual para uma linha de envase de líquidos, um tipo de máquina imprescindível na indústria, com o objetivo principal de gerar dados do processo produtivo e disponibilizá-los de

fácil acesso aos gestores do processo, auxiliando no rastreamento de produtos e coletando dados precisos e em tempo real sobre o ciclo de vida completo da produção.

## ***Fundamentação teórica***

De acordo com Padilha (2007), uma linha de envase está atrelada a uma linha de produção especializada em inserir o produto produzido em uma etapa anterior do processo de fabricação em um recipiente, até tornar-se o produto pronto para o consumidor, o qual, por sua vez, deverá ser embalado em sua unidade logística e, finalmente, paletizado para posterior armazenagem no depósito.

Os maquinários para envase de cervejas nas grandes empresas operam em fábricas com linhas de alta velocidade de enchimento, dispondo de poucas opções de fornecimento, visto que estes equipamentos possuem uma tecnologia dominada por poucos fabricantes de atuação mundial. Em geral, os equipamentos de envase funcionam por meio de acionamentos pneumáticos ou elétricos fazendo uso de bombas que empurram o líquido até o recipiente (CERVIERI JÚNIOR, 2014).

Em um cenário em que as indústrias buscam a modernização e desenvolvimento de novos produtos e processos, atendendo as exigências de maneira rápida e eficaz, surge a indústria 4.0 com conceitos que visam o aumento da capacidade produtiva, com automação de processos e grande impacto na entrega de produtos. Assim sendo, os sistemas de produção passaram a ficar cada vez mais inteligentes, capazes de detectar o surgimento de necessidades produtivas, de suprimentos e matérias-primas, envolvendo a união de tecnologias físicas e digitais e a integração de todas as etapas do desenvolvimento de um produto ou processo (ALMEIDA, 2019).

Segundo Lamb (2015), na indústria, o termo robótica é definido como o projeto e a utilização de sistemas de robôs para a manufatura. Conforme definição da ISO 8373:2012, “o termo robô industrial é utilizado para caracterizar um manipulador polivalente automaticamente controlado, reprogramável, programável em três ou mais eixos”. Outros autores como Groover (2010), apontam que um robô industrial é uma máquina programável, de aplicação geral e que possui determinadas características antropomórficas (atribuição de características humanas a

animais, máquinas etc.). O autor ainda destaca que os robôs industriais são muito usados em todo o setor de manufatura e há categorias desses robôs com diferentes configurações e tamanhos.

As habilidades dos robôs articulados são agrupadas em uma “cadeia”, de modo que uma articulação sustente outra localizada mais adiante. Outro termo usado para designar um robô articulado é “braço robótico”. Romano (2002) complementa que nesta configuração existem ao menos três juntas de rotação. O eixo de movimento da junta de rotação da base é ortogonal às outras duas juntas de rotação que são simétricas entre si. Este tipo de configuração é o que permite maior mobilidade aos robôs.

Outro aspecto a ser desenvolvido neste trabalho é o da internet das coisas. Existem fortes divergências em relação ao conceito de Internet of Things (IoT), não havendo um conceito único que possa ser considerado padrão. De maneira geral, pode ser entendido como um ambiente de objetos físicos interconectados com a internet por meio de pequenos sensores embutidos voltado para a facilitação do cotidiano das pessoas, introduzindo soluções funcionais nos processos do dia a dia. O mesmo autor declara que todas as definições de IoT têm em comum o emprego de computadores, sensores e objetos, interagindo uns com os outros e processando informações e/ou dados em um contexto de hiperconectividade (MAGRANI, 2018).

A internet industrial das coisas foi a evolução das informações da cadeia produtiva, um sistema de controle de informações com o conceito de conectar via Cloud (Nuvem), tornando-se uma parte crítica no sistema produtivo, podendo se conectar diretamente com o fornecedor do produto em tempo real, permitindo-lhe que analise a qualidade e o uso de seu produto (VENTURELLI, 2021).

Um conceito que deve fazer parte deste trabalho é o de microcontrolador, um componente eletrônico de pequeno porte que possui inteligência capaz de possibilitar ao usuário a realização de uma programação em sua memória. Os microcontroladores são conhecidos como microcomputadores implementados em um único Circuito Integrado (CI). Geralmente, são limitados em termos de quantidade de memória, sendo utilizados em aplicações específicas dentro da automação industrial e na automação embarcada (GIMENEZ, 2002).

Atualmente, o termo “sensor” é muito comum para todas as pessoas, independentemente de seu grau de conhecimento do ramo da elétrica ou da eletrônica, pois são onipresentes na vida de todos, estando presentes em smartphones, carros, elevadores e inclusive em instalações domésticas. Autores como Aguirre (2013) definem sensores como sendo uma classe de transdutores que “sentem” as variáveis físicas, como movimento, temperatura e pressão e transformam tais grandezas em sinais elétricos.

No projeto, foram usados sensores ópticos de retroreflexão, também chamados de retroreflexivos e, conforme mencionado por Franchi e Camargo (2013), os sensores ópticos são extremamente utilizados para detectar objetos em longas distâncias (ao contrário dos sensores indutivos ou capacitivos) e no vácuo podem detectar qualquer tipo de material, sejam metálicos, condutivos ou porosos. O sensor óptico de retroreflexão ou retroreflexivo é constituído pelo emissor e pelo receptor, ambos localizados em uma unidade; uma vez interrompida a reflexão pela presença de algum objeto a ser detectado pelo feixe de luz, um contato elétrico é aberto ou fechado.

Um transdutor extensiométrico, conhecido popularmente como célula de carga, pode ser utilizado para medir solicitações mecânicas como força, momento e pressão, a partir do uso de extensômetros. O condicionamento mais usual para células de carga é feito a partir da utilização de *pontes de wheatstone*. A célula de carga, onde são fixados os extensômetros, sofre deformação que ocasiona a extensão ou contração dos extensômetros, provocando variação da sua resistência, causando desbalanço na ponte, o que modifica sua tensão de saída (FIALHO, 2014).

De acordo com Parede (2011), um protocolo de comunicação é um idioma no qual dois ou mais equipamentos conversam entre si. O protocolo de comunicação é uma série de regras definidas em que consta o formato no qual a mensagem deve ser transmitida entre os participantes da rede. A simbologia e os caracteres usados para questionar sobre certo evento ou responder a determinada questão e a velocidade com que essa informação flui de um lado a outro, por exemplo, são detalhes que devem ser padronizados em um protocolo.

Os protocolos necessitam de um meio físico que permita a interligação desses dispositivos na velocidade e nas condições exigidas pelo fabricante, possibilitando a construção de uma rede de

comunicação. Tais informações normalmente são transmitidas ou questionadas de forma serial, ou seja, bit a bit, por meio de sinal elétrico ou óptico. Geralmente, o protocolo e o meio físico são determinados pelo fabricante. Criados em 1979 para a comunicação entre controladores da Modicon, são de simples configuração e manutenção. Desde o início conquistaram fácil penetração no mercado e continuam sendo bem-aceitos, por sua simplicidade e certa robustez na troca de dados entre os dispositivos. Três versões são mais comuns: o Modbus RTU, o Modbus Plus e o Modbus TCP/IP (PAREDE, 2011).

Ainda de acordo com Parede (2011), o Modbus, Unidade Terminal Remota (RTU), traz o conceito de visualização remota de dados. Normalmente, é utilizado para a comunicação dos CLPs com os blocos de E/S e com os instrumentos eletrônicos inteligentes, como relés de proteção, controladores de processo, atuadores de válvulas, transdutores de energia e outros. O meio físico mais utilizado é o serial RS-232 ou RS-485 (padrão serial elétrico que trabalha com comunicação diferencial entre dois fios), podendo também ser empregados com conversores seriais – fibra óptica em uma velocidade de até 230 kbps (quilobits por segundo).

O *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) foi criado em meados de 1999 por Andy Stanford-Clark (IBM) e Arlen Nipper (Eurotech). Trata-se de um protocolo de mensagens baseado na arquitetura *publish-subscribe*, voltado para dispositivos restritos e redes inseguras, com baixa largura de banda e alta latência, além de ser altamente utilizado em aplicações de IoT. Segundo Jaffey (2014), o protocolo segue o modelo cliente-servidor. Os dispositivos sensores são clientes que se conectam a um servidor (chamado de *broker*) usando TCP. As mensagens a serem transmitidas são publicadas para um endereço (chamado de tópico), que, inclusive, assemelha-se a uma estrutura de diretórios em um sistema de arquivos, por exemplo, casa-quarto2-temperatura. Clientes por sua vez podem se inscrever para vários tópicos, tornando-se assim capazes de receber as mensagens que outros clientes publicam neste tópico.

# Desenvolvimento do projeto

Encontra-se passo a passo o desenvolvimento e a construção lógica do projeto intitulado Envasadora de Líquidos aplicada a conceitos da indústria 4.0. Para melhor entendimento a Figura 1 ilustra o fluxograma.

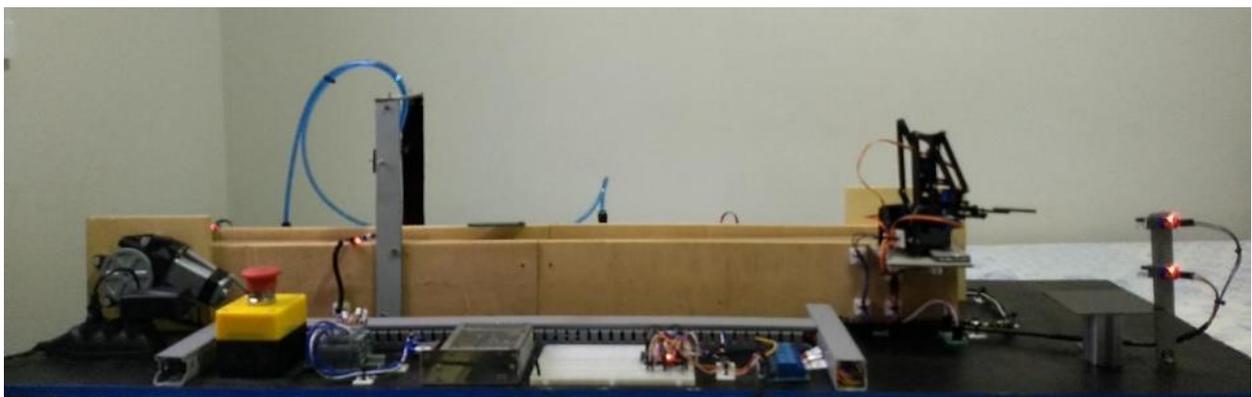
Figura 1 – Fluxograma



Fonte: elaboração dos autores (2022).

O projeto foi desenvolvido através da simulação com um protótipo composto por um braço robótico, responsável por alimentar a linha com os devidos insumos, uma esteira transportadora, que irá conduzir o recipiente até a estação de envase, sendo acionada por meio de dois motores DC que garantem a precisão de posicionamento do produto com o auxílio de sensores. Há também a presença de bombas que realizam a sucção dos líquidos e uma célula de carga que mede o volume do recipiente, conforme Figura 2.

Figura 2 – Projeto finalizado



Fonte: elaboração dos autores (2022).

De início, o braço robótico aguarda até que haja uma embalagem no início do processo através de sensores que também identificam o tamanho do recipiente. Com isso, a linha de envase é

configurada para atender ao tamanho e ao líquido selecionado na tela da IHM, em formato de uma receita. Nesta etapa, de acordo com o *setup*, a bomba correta é ligada durante um tempo específico enquanto a célula de carga acoplada sob a plataforma em que o recipiente se encontra realiza leituras em mililitros. Ao finalizar esta etapa o produto ficará disponível para ser retirado por um operador ou por outro processo posterior.

Todo o controle é realizado por um ESP32 que se comunica via protocolo Modbus RTU com um sistema supervisor, que, por sua vez, envia os dados coletados para um broker via MQTT. Este broker é assinado por um segundo ESP32, o de comunicação, que tem a finalidade de receber essas informações e as atualizar no banco de dados Firebase. Estas informações também podem ser atualizadas no banco de dados através de um programa executável em Python.

O projeto conta ainda com a utilização de um aplicativo, no qual é possível acompanhar em tempo real o nível dos reservatórios, a quantidade envasada em cada recipiente bem como a possibilidade de pesquisar um determinado produto que já tenha sido armazenado no banco de dados.

### *Montagem da estrutura mecânica*

A primeira etapa de desenvolvimento do projeto se deu pela montagem da estrutura da esteira transportadora, construída a partir de quatro tábuas de madeira de 500x120x10 mm, fixadas entre si a partir de parafusos de 3,5x12 mm e minicantoneiras tipo L, totalizando uma esteira de comprimento total de 1.000 mm e largura de 120 mm, o suficiente para garantir o fluxo ideal do trabalho proposto.

Os eixos de rolamento da esteira foram fixados com parafusos em sentido transversal em cada uma das pontas, onde posteriormente se alocariam os dois motores elétricos que possibilitariam os movimentos de avanço e recuo da esteira transportadora.

Para a movimentação da esteira foram acoplados dois motores elétricos de 12 V universal, de 8 dentes, um em cada uma das extremidades da esteira. Estes motores são costumeiramente utilizados em vidros elétricos de veículos automotivos. A alimentação do circuito eletrônico, assim como os motores são fornecidos por uma fonte de alimentação de 12 V, modelo S8FS-C03512, do fabricante Omron.

### *Montagem da estrutura eletrônica*

Concluída a estrutura mecânica, foi possível a inserção dos sensores e atuadores. Foram adicionados ao todo cinco sensores ópticos reflexivos TCRT5000. Os dois primeiros ficaram alocados na base, cujos detalhes construtivos serão descritos adiante, e onde inicia-se o processo, de forma que consigam detectar a presença ou não de embalagem e distinguir qual o seu tamanho.

O próximo sensor foi designado a detectar a chegada do recipiente à esteira, após ser movimentado pelo robô. O quarto sensor foi posicionado verticalmente à estação de envase, detectando o ponto de parada exato da embalagem pronta para ser preenchida pelo líquido. Finalmente, o último sensor está localizado ao fim da esteira, no trecho em que a embalagem deve ser retirada por um operador.

Em seguida, foi realizada a implementação de uma célula de carga com leitura de carga nominal de 0 a 5 kg, posicionada de maneira que fique verticalmente ao quarto sensor óptico reflexivo descrito acima e horizontalmente ao nível da esteira, aliada a um módulo conversor HX711, utilizado para amplificar o sinal de saída da célula de carga, fazendo a interligação com o microcontrolador. Com isso, o sistema poderá reconhecer em que momento o recipiente estará completo com a quantidade desejada do líquido, verificando esta informação por meio da massa lida pelo sensor de carga.

Posteriormente, foi desenvolvido o sistema de envase. Os dois reservatórios ficaram alocados ao lado da esteira, possuindo cada um o volume total de 1,6 litros de capacidade de armazenamento. Para efeito de supervisão, foram adicionados a cada um dos reservatórios um sensor de nível de água, modelo T1592, que produz uma tensão de saída referente à resistência, sendo que a resistência é alterada de acordo com o nível de água. Para realizar a sucção do líquido que sai dos reservatórios e é guiado ao interior do recipiente, recorreu-se à utilização de duas minibombas de líquido submersível, modelo QR30E, do tipo *brushless*, com tensão de operação em 12 V e potência de 4,2 W. Para compensar a carga gerada pelo acionamento das bombas e motores foi utilizado um módulo relé de 5 V com quatro canais.

Em seguida, foi feita a adequação do braço robótico ao início da esteira. Optou-se pela utilização de um modelo construído em acrílico e que tem seu funcionamento baseado no controle

programável de quatro microsservos de 9g SG90 TowerPro interligados a cada um de seus quatro eixos. A fixação à esteira se deu através de uma pequena chapa de ACM, que são compostas pela junção de duas chapas de alumínio com uma chapa de polietileno em seu interior, com espessura de 3 mm.

Na sequência, foi construída a estação de envase, a qual se é composta por quatro chapas de ACM, fixadas entre si através de minicantoneiras tipo L, com um furo central no topo da estrutura, que permite a fixação e a passagem das mangueiras que conduzem o líquido ao interior da embalagem. Foram adotadas duas mangueiras de ar comprimido (uma para cada bomba) com aproximadamente 1000 mm.

Por último, foi idealizada a base de alocação das embalagens para início do processo. Constituiu-se de uma chapa de ACM em formato quadrado fixada sobre um suporte de alumínio, onde é inserida a embalagem na qual se deseja realizar o envase. Ao lado, é fixada uma outra chapa em formato retangular, onde são assentados os dois primeiros sensores ópticos reflexíveis do processo.

### *Configuração e programação do ESP32*

Para o início da programação, primeiramente seleciona-se todas as bibliotecas que são utilizadas na programação, destacando-se como principais as destinadas ao microcontrolador denominado “ESP de “controle”, modbus.h”, responsável pela comunicação do ESP32 com o sistema supervisório, “Servo\_ESP32.h”, que garante o controle dos servomotores do robô, “HX11.h”, que fará a utilização do driver da célula de carga, e o “IOXhop\_FirebaseESP32.h”, que garantirá a comunicação com o banco de dados Firebase e o “ArduinoJson.h” que irão apresentar a informação no formato “json”, utilizado no banco de dados. A figura 3 ilustra o trecho da declaração das bibliotecas.

Figura 3 - Declaração das bibliotecas (ESP-CONTROL)

```
ESP-CONTROL-emergencia_ok
1 // -----
2 //BIBLIOTECAS
3 #include <math.h>
4 #include <modbus.h>
5 #include <modbusDevice.h>
6 #include <modbusRegBank.h>
7 #include <modbusSlave.h>
8 #include <Servo_ESP32.h>
9 #include <HX711.h>
10 #include <IOXhop_FirebaseESP32.h>
11 #include <ArduinoJson.h>
12 // -----
```

Fonte: elaboração dos autores (2022)

Para o segundo ESP32, denominado “ESP-COM”, utilizam-se as seguintes bibliotecas, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Declaração das bibliotecas (ESP-COM)

```
ESP-COMM
1
2 #include <WiFi.h>
3 #include <IOXhop_FirebaseESP32.h>
4 #include <ArduinoJson.h>
5 #include <PubSubClient.h>
```

Fonte: elaboração dos autores (2022).

A biblioteca “Wifi.h” é responsável por conectar o microcontrolador a uma rede de internet, enquanto a biblioteca “PubSubClient.h” fará a comunicação com o broker MQTT. Para o “ESP-COM”, destaca-se o envio dos dados coletados do processo para o Firebase através do protocolo MQTT.

Como alternativa ao “ESP-COM” foi desenvolvida uma aplicação em python através da plataforma Visual Studio Code, que é usada para realizar a mesma tarefa que o segundo microcontrolador do sistema, contudo sem a necessidade de um hardware físico. A configuração junto ao broker MQTT pode ser visualizada na Figura 5.

Figura 5 - Programação em python

```
MQTT_BROKER = '192.168.0.7'
MQTT_PORT = 1883
KEEP_ALIVE_INTERVAL = 60

#SUBROTINA PARA CONECTAR
def on_connect(client, userdata, flag, rc):
    mqttc.subscribe('roger', 1)
    mqttc.subscribe('TCC/ENVASADORA/ENVIARFIREBASE', 2)
    mqttc.subscribe('TCC/ENVASADORA/PRODUTO/TEMPOCICLO', 2)
    mqttc.subscribe('TCC/ENVASADORA/PRODUTO/TEMPOROBO', 2)
    mqttc.subscribe('TCC/ENVASADORA/PRODUTO/ABOUT', 2)
    mqttc.subscribe('TCC/ENVASADORA/PRODUTO/PESO', 2)
    mqttc.subscribe('TCC/ENVASADORA/PRODUTO/NPRODUTOS', 2)
    mqttc.subscribe('TCC/ENVASADORA/PRODUTO/MAIOR-LARANJA', 2)
    mqttc.subscribe('TCC/ENVASADORA/PRODUTO/MAIOR-LIMAO', 2)
    mqttc.subscribe('TCC/ENVASADORA/PRODUTO/MENOR-LARANJA', 2)
    mqttc.subscribe('TCC/ENVASADORA/PRODUTO/MENOR-LIMAO', 2)
    #print('Connected to MQTT')
```

Fonte: elaboração dos autores (2022).

### *Interface homem-máquina (IHM) e sistema supervisorio de controle e aquisição de dados (Scada)*

Para o sistema de supervisão foi utilizado o Aveva Edge, um software IHM (interface homem-máquina) ou SCADA (Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados) que permite o rápido desenvolvimento de aplicações. O projeto é composto por seis telas denominadas: menu, automático, semiautomático, manual, dados e emergência. Cada tela do sistema tem suas diferentes funções e são de fundamental importância dentro do processo de enchimento de líquidos. A tela do menu é inicializada no processo de ativação do aplicativo, permitindo acesso assim como outras em telas. A tela de menu do sistema supervisorio é ilustrada na Figura 6.

Figura 6 – Tela de menu



Fonte: elaboração dos autores (2022).

A tela de modo manual do processo é composta por comandos independentes dos diferentes equipamentos presentes no sistema, caso haja a necessidade de se realizar testes de funcionamento individualizados. Ela é apresentada na Figura 7.

Figura 7 – Tela de modo manual



Fonte: elaboração dos autores (2022).

A tela de modo semiautomático do processo é composta por alguns comandos independentes dos equipamentos do sistema, permitindo a demonstração dos níveis dos tanques e a visualização do último ciclo de envase. Ela é apresentada na Figura 8

Figura 8 – Tela de modo semiautomático



Fonte: elaboração dos autores (2022).

A tela de modo automático do processo é composta por alguns comandos de start do processo, possibilitando a seleção do líquido desejado, as definições dos níveis dos tanques, informações sobre o último ciclo de envase e o estágio atual da produção. Ela é apresentada na Figura 9

Figura 9 – Tela de modo automático



Fonte: elaboração dos autores (2022).

A tela de dados é onde algumas informações são mostradas ao usuário como: níveis dos reservatórios, estado do modo automático, último ciclo, informações gerais e sabor selecionado, como(conforme) exemplificado na Figura 10.

Figura 10 – Tela de dados



Fonte: elaboração dos autores (2022).

A última tela é a de emergência. Ela aparece quando o botão de emergência é pressionado; se isso acontecer, todo o projeto para imediatamente, nada mais pode se mover ou ser quantificado. Para continuar o processo da máquina de envase, é necessário soltar esse botão e então selecionar a tela desejada. Ela é apresentada na Figura 11.

Figura 11 – Projeto finalizado



Fonte: elaboração dos autores (2022).

### *Banco de dados*

A criação de um banco de dados é fundamental para que um sistema inteligente troque informações. Dentro do projeto aqui em foco o desenvolvimento do banco de dados proporciona a realização das tarefas de modo ágil e inteligente. Para desenvolvimento do banco de dados foi utilizada a plataforma Firebase Realtime Database, um banco de dados NoSQL hospedado na nuvem. Com ele, pode-se armazenar e sincronizar dados entre os usuários em tempo real. O monitoramento do banco de dados em tempo real é um serviço fundamental para controlar indicadores e identificar ocorrências não desejadas no sistema.

No projeto, o banco de dados é responsável por armazenar as características de cada uma das embalagens que foram envasadas como: sabor, peso, tamanho, tempo do ciclo de envase e tempo do robô.

**Figura 12** - Informações no banco de dados



Fonte: elaboração dos autores (2022).

Outra funcionalidade do banco de dados é armazenar a quantidade de cada tipo de produto como: produto grande laranja, produto grande limão, produto pequeno laranja e produto pequeno limão, conforme mostrado na figura 13.

**Figura 13** - Quantidade de cada produto



Fonte: elaboração dos autores (2022).

## **Aplicativo**

No desenvolvimento do aplicativo foi utilizada a plataforma MIT App Inventor, uma plataforma de programação visual intuitiva que permite a criação de aplicativos para telefones celulares. O Aplicativo do projeto é composto por cinco telas: login, menu, níveis dos reservatórios,

quantidade dos produtos e pesquisa de produto. Cada tela tem suas diferentes funções e são fundamentais para o projeto.

A tela de login é mostrada na inicialização e conforme o usuário realiza essa operação, o acesso ao aplicativo é liberado. Em seguida, o usuário é direcionado ao menu da interface. A tela de login e o menu são apresentados na Figura 14.

Figura 14 - Telas de login e menu



Fonte: elaboração dos autores (2022).

Na tela de “níveis” há a supervisão em tempo real do nível de cada um dos reservatórios; a tela de “quantidades” é composta por informações a respeito da quantidade de produtos envasados e por fim temos a tela “pesquisa”, onde é possível buscar o histórico de qualquer embalagem envasada, cujas informações se podem ser encontradas no banco de dados. A Figura 15 ilustra cada uma dessas telas.

Figura 15 - Telas de supervisão e histórico

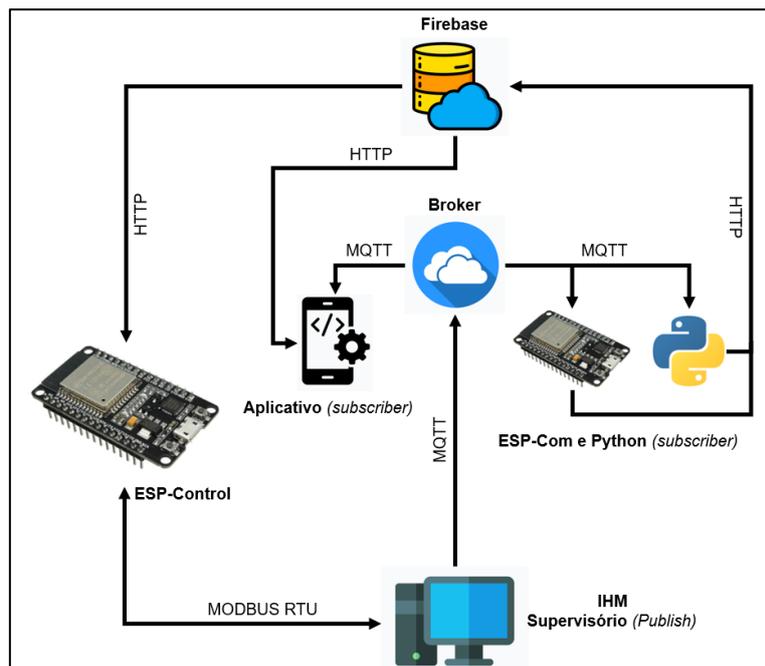


Fonte: elaboração dos autores (2022).

## Resultados e discussão

Por se tratar de um projeto que contém uma série de dispositivos e plataformas interconectadas, foi elaborada uma arquitetura de toda a rede de controle que envolve o processo de envase, envolvendo três protocolos de comunicação distintos, dois microcontroladores, aplicativo para celular, sistema de supervisão e de IHM e banco de dados em nuvem, mesclando conceitos de automação industrial com conceitos tecnológicos que fazem parte da indústria 4.0. Na Figura 16, pode ser visualizada como é realizada a integração de todos os dispositivos e plataformas existentes no protótipo desenvolvido ao longo desta pesquisa.

Figura 16 - Arquitetura de rede



Fonte: elaboração dos autores (2022).

O projeto intitulado Envasadora de Líquidos Aplicada à Indústria 4.0 tem como objetivo desenvolver uma linha de envase de líquidos, tornando-a totalmente automatizada, utilizando alguns dos pilares da Indústria 4.0, entre os quais se destacam: computação em nuvem, integração de sistemas, IoT e robótica. Com a inserção e o auxílio de diferentes tecnologias, que em conjunto potencializam a conectividade, o controle, a qualidade do processo e a rastreabilidade. Através do aplicativo é possível ter acesso a informações valiosas de cada produto, sendo de extrema importância para a manutenção da qualidade desejada e para a conexão com outros setores das empresas.

## Considerações finais

Os métodos e técnicas obtidos pela metodologia científica deram suporte para organizar e planejar as etapas que direcionam o caminho para o desenvolvimento do projeto. Desse modo, foi possível obter uma nova abordagem da indústria 4.0, aplicando-a em um tipo de máquina imprescindível na indústria.

## Referências

- AGUIRRE, Luis Antonio. **Fundamentos de instrumentação**. 1 ed. São Paulo: Pearson, 2013.
- ALMEIDA, Paulo Samuel de. Indústria 4.0. **Princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2019.
- CERVIERI JÚNIOR, Osmar. et al. **O setor de bebidas no Brasil**, 2014. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%200%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%200%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil_P.pdf)>. Acesso em: 18 set. 2021.
- FIALHO, Luiz Filipe Lopes. **Simulação e Projeto de Células de Carga**. Relatório experimental para disciplina de graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instrumentação A. Porto Alegre, 2014.
- FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. 2 ed. São Paulo: Editora Érica, 2013
- GIMENEZ, Salvador Pinillos. Microcontroladores 8051: **Teoria do hardware e do software: aplicações em controle digital, laboratório e simulação**. 1 ed. São Paulo. Pearson, 2002.
- AGÊNCIA GLOBO. Brasil é o 5º maior mercado do setor de alimentos e bebidas saudáveis; 2016. Disponível em:< <https://revistapegn.globo.com/Como-abrir-uma-empresa/noticia/2016/08/brasil-e-o-5-maior-mercado-do-setor-de-alimentos-e-bebidas-saudaveis.html>>. Acesso em: 27 set. 2021.
- GROOVER, Mikell P. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura**. 3 ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- JAFFEY, Toby. **MQTT and CoAP, IoT protocols**, 2014. Disponível em: <[https://www.eclipse.org/community/eclipse\\_newsletter/2014/february/article2.php](https://www.eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php)>. Acesso em 15 mai. 2022.
- LAMB, Frank. **Automação Industrial na Prática**. Porto Alegre: AMGH, 2015.
- MACHADO, L. **Revoluções industriais: do vapor à internet das coisas**, 2016. Disponível em: <<http://www.cofecon.gov.br/2016/10/13/revolucoes-industriais-do-vapor-a-internet-das-coisas/>>. Acesso em: 02 out. 2021.
- MAGRANI, Eduardo. **A internet das coisas**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.
- PADILHA, J. R. et al. **Redução de set-up em linhas de envase de líquidos: um estudo de caso**, 2007. Trabalho apresentado ao 27º Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, 2007.
- PAREDE, Moura Ismael; GOMES, Luiz Eduardo Lemes; HORTA, Edson. **Eletrônica: automação industrial**. Volume 6. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.
- ROMANO, Vitor Ferreira. **Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2002.
- ROSÁRIO, João Maurício. **Automação Industrial**. São Paulo: Baraúna, 2012.
- VENTURELLI, Marcos. **A internet das coisas na indústria 4.0**; 2021. Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/internet-das-coisas-na-industria-4-0/>>. Acesso em: 27 out. 2021.