



SÃO PAULO

**FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA
REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA**

**IOT DE BAIXO CUSTO APLICADO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL -
MONITORAMENTO DE PRESSÃO EM SISTEMA DE GERAÇÃO DE AR COMPRIMIDO**

**LOW COST IOT APPLIED TO INDUSTRIAL ENERGY EFFICIENCY – PRESSURE MONITORING OF
COMPRESSED AIR SYSTEM**

**Jefferson Rodrigo Avila Peloi^{1, i}
José Roberto dos Santos^{2, ii}
Daniel Camusso^{3, iii}
Daniel Otávio Tambasco Bruno^{4, iv}
Cláudio Luís Magalhães Fernandes^{5, v}**

RESUMO

Dos teares construídos em madeira à inteligência artificial, como transpassar pelas históricas revoluções industriais? Assim chegamos à 4ª Revolução Industrial. Como um de seus pilares temos a Internet das Coisas, responsável por conectar os mais diversos dispositivos à rede mundial de computadores, abrindo assim um leque de oportunidades para obtenção de dados de processos industriais. Este trabalho usufrui deste contexto, utilizando componentes de baixo custo para realizar o desenvolvimento através do Estudo de Caso de um dispositivo capaz de monitorar um sistema de geração de ar comprimido e assim, utilizando de conceitos de Eficiência Energética, possibilitar reduções de despesas operacionais na indústria. Este trabalho aborda a aplicação dos pilares da Indústria 4.0 à Eficiência Energética, da concepção à implementação, reduzindo efetivamente despesas operacionais na indústria.

Palavras-chave: Indústria 4.0, IoT, Eficiência Energética, Ar Comprimido

ABSTRACT

From wooden looms to artificial intelligence, how to cross the historical industrial revolutions? As one of the main pillars of Industry 4.0, the Internet of Things (IoT) is responsible to connect

¹ Engenheiro Mecânico (UEM-PR), Pós-graduando em Gestão de Projetos (FGV) e Pós-graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Coordenador de Manutenção em Via Varejo. E-mail: jefpeloi@gmail.com

² Especialista em Segurança da Informação da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: joseroberto@sp.senai.br

³ Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica Especialista em Engenharia Automotobilística. E-mail: daniel.camusso@sp.senai.br

⁴ Mestre em Engenharia da Informação. Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica Indústria. E-mail: daniel.bruno@sp.senai.br

⁵ Mestre em Engenharia Mecânica. Diretor Acadêmico do Ensino Superior no SENAI São Paulo. E-mail: claudio.fernandes@sp.senai.br

devices through the World Wide Web, and it opens up a lot of opportunities to obtaining data from the industrial processes. This paper is a Case that uses the knowledge of Energy Efficiency and IoT to plan and deploy a monitoring device that is able to get data of Utility Assets, like the compressed air systems, allowing us to reduce the pressure ratio and reduce the energy consumption in the industry.

Keywords: Industry 4.0, IoT, Energy Efficiency, Compressed Air

1 INTRODUÇÃO

Utilizando os conceitos e pilares da Indústria 4.0, Melhoria Contínua e Eficiência Energética Industrial, este trabalho tem como tema e objetivo geral o desenvolvimento rápido e a baixo custo de um dispositivo de monitoramento IoT, com foco na redução de despesas industriais em Energia Elétrica através da redução de pressão de operação de um sistema de geração de ar comprimido. O parque industrial em estudo tem potência total instalada de 1365kW⁶, conforme Figura 1 - Central de Geração de Ar Comprimido. Como objetivos específicos, temos a geração de dados de fácil distribuição (via *smartphone*) para todos os usuários desta forma suportando a gestão do processo de mudança e possibilitando a redução de despesas industriais propriamente ditas.

Figura 1 - Central de Geração de Ar Comprimido



Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

A necessidade de desenvolvimento de um dispositivo IoT para monitoramento surgiu a partir de um desafio de realização de projeto de Melhoria Contínua (*Yellow Belt*) para redução do consumo de Energia Elétrica de todo complexo industrial, onde uma das ações propostas é a redução de pressão de ar comprimido, apontada por diversos autores como Boa Prática e com possibilidade de resultados diretos em redução de despesas operacionais em Energia Elétrica. Informações claras e em tempo real (coletadas pelo IoT) são a base para o processo de gestão desta mudança. Os seguintes pontos foram adotados como premissas para o projeto de desenvolvimento da solução: um dispositivo com baixo custo de implementação, agilidade no processo de implementação (preferencialmente soluções *low-code*), que

⁶ Instalação de Geração de Ar Comprimido composta por Compressores Atlas Copco, sendo 6 unidades modelo GA160, 1 unidade GA180, 2 unidades GA90 e 1 unidade GA45.

usuários tivessem fácil acesso aos dados (através de *smartphone*), que os dados pudessem ser gerenciados e que a interface com o usuário seja simples e amigável.

Esta proposta de solução utilizou os pilares de IoT e Manufatura Aditiva da Indústria 4.0 e foi efetivamente implementada em uma indústria moveleira nacional de grande porte, obtendo sucesso ao atender objetivo geral e aos objetivos específicos abordados por este trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Breve histórico: da 1ª a 4ª Revolução Industrial e seus pilares

Segundo Hardy e Clegg (2001), as corporações de ofício medieval foram as precursoras da organização moderna. Desta forma, notamos o surgimento de processos de manufatura artesanal em meados do século XVII, na Inglaterra, com a criação de teares de madeira. Estes equipamentos primitivos auxiliavam na produção de uma manufatura caracterizada pelo baixo volume de produção, com baixa qualidade, sem padrões normativos, com alto custo produtivo e dependente de uma mão de obra especializada, sendo estes conhecidos como jornaleiros (indivíduos que cumprem jornadas de trabalho) e mestres, especializados em todas as etapas do processo produtivo. (SACOMANO et al, 2018).

James Watt foi o precursor da tecnologia do vapor em 1769 e logo esta tecnologia foi empregada inicialmente por Edmund Cartwright na invenção do primeiro tear mecânico, sendo considerado este o marco da Primeira Revolução Industrial (1784). Surge assim o conceito de manufatura e de classe operária. A Segunda Revolução Industrial (1870) foi marcada pela evolução no processo produtivo do aço e através da introdução da energia elétrica como força motriz, iniciando assim a produção de equipamentos mais robustos. Surge também os conceitos de produção racionalizada e manufatura em massa. O período pós-segunda Guerra Mundial foi caracterizado por um momento de países em estado de devastação e com pouco recursos para um reinício de sua economia. Surge assim no Japão os conceitos da Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing) e o sistema Toyota de produção. Posteriormente, nos anos 60, crescem os conceitos de utilização de equipamentos e sistemas automáticos através da utilização de CLP (comando lógico programável) e sistemas integradores de controle de produção ERP (Enterprise Resources Planning), sendo estes os marcos da Terceira Revolução Industrial (1969). (SACOMANO et al, 2018).

Segundo Silveira (2016), a Indústria 4.0 (ou Quarta Revolução Industrial) foi assim denominada após o surgimento do termo durante a Feira de Hannover, Alemanha, em 2011. Seu objetivo principal é a conectividade de máquinas, ativos, processos, utilizando informação para criar manufaturas inteligentes e autônomas. Tem como princípios aquisição de dados em tempo real, melhorias de processos através de virtualizações e simulações, descentralização de decisões (que poderão ser tomadas por máquinas), sistema modulares e orientação a serviços (Internet of Services). Pode-se observar o resumo histórico na Figura 2 - Resumo de Conceito das Revoluções Industriais.

Figura 2 - Resumo de Conceito das Revoluções Industriais



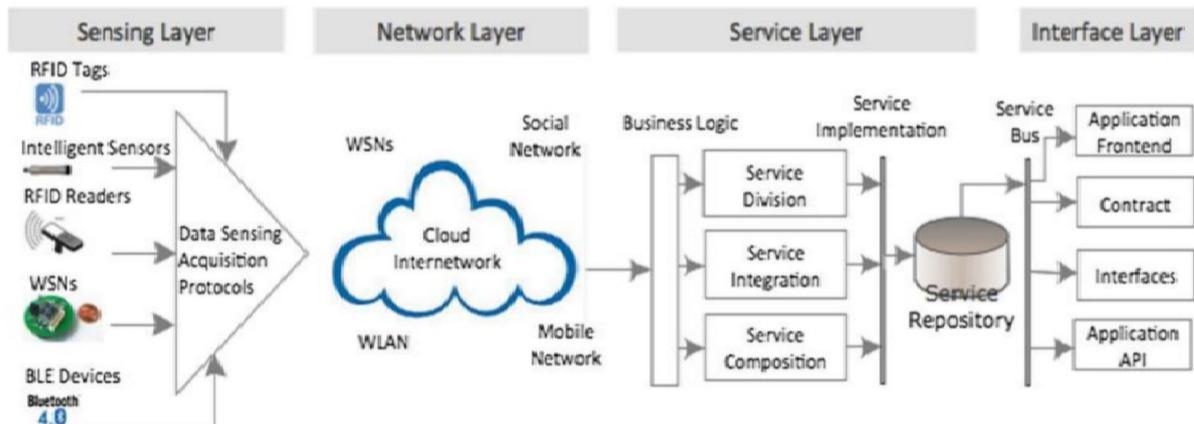
Fonte: Silveira (2016).

Conforme a publicação “Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries” de Rüßmann et al (2015), a Indústria 4.0 é impulsionada por 9 pilares: IoT (Internet das Coisas), Manufatura Aditiva, Integração de Sistemas, Cibersegurança, Computação em Nuvem, Big Data, Simulação, Realidade Aumentada, Robôs Autônomos.

2.2 O conceito de IoT (Internet das Coisas)

A Internet das Coisas é uma rede de objetos físicos com identificação única e conectados em tempo real através da rede mundial de computadores, possibilitando coleta e troca de informações, e assim, permitindo oportunidades de integração ao seu meio. As aplicações são diversificadas, em setores como Transporte, Saúde, Indústria, Moda, Moradia e Agricultura. Diversas tecnologias são envolvidas, como sensores (analógicos e digitais), códigos de barra, QR-Codes, RFID, NFCs, câmeras, entre outros. A Arquitetura de Sistemas garante o funcionamento das inter-conexões dos dispositivos, e usualmente é do tipo SoA (Arquitetura orientada a serviços). As camadas de conexões e funcionamento dos dispositivos são mostradas na Figura 3 - Layers de dispositivos IoT. (GOKHALE, BHAT, O.; BHAT, S., 2018).

Figura 3 - Layers de dispositivos IoT



Fonte: Gokhale, Bhat, O.; Bhat, S. (2018)

Atualmente existem diversos hardwares para realização de aquisição de dados (Sensing Layer), sendo os principais fabricantes a Adafruit, Espressif (fabricante do hardware ESP8266 utilizado neste projeto), SparkFun, Particle, Arduino, Raspberry PI, os quais usualmente permitem conexões (Network Layer) através de wi-fi ou GPRS/GSM. (LEE, 2021).

Para as camadas de Serviço e Interface, segundo Sakovich (2021) as plataformas IoT mais populares são: Google Cloud IoT, Cisco IoT Cloud Connect, Salesforce IoT Cloud, IRI Voracity, Particle, IBM Watson IoT, ThingWorx, Amazon AWS IoT, Microsoft Azure IoT, Oracle IoT. Adicionais a esta lista citada temos a plataforma Blynk, utilizada neste projeto.

2.3 Conceito de Manufatura Aditiva

Segundo Rüßmann et al. (2015), a Manufatura Aditiva é um dos pilares da Indústria 4.0 e segundo Munhoz et al (2017), este método de fabricação consiste na adição sucessiva de material na forma de camadas, com instruções baseadas em um modelo CAD-3D. Como vantagens, este processo tem baixo desperdício, baixo consumo de energia e atualmente é largamente utilizado para produção de componentes plásticos de baixa escala produtiva. Este processo foi utilizado neste projeto para viabilizar a manufatura do case que acomodou todo o hardware desenvolvido.

2.4 O modelo de Eficiência Energética atrelado à redução de pressão de ar comprimido

Segundo Atlas Copco (2021), o ar comprimido é aplicado à indústria como fonte de energia motriz (energia pneumática). A sua produção é realizada através de compressores que comprimem o ar ambiente e o armazenam em vasos de pressão, utilizando para isso a energia elétrica. Os custos relacionados ao consumo de energia elétrica podem representar até 70% dos custos de ciclo de vida de uma instalação de ar comprimido e, com foco em Eficiência Energética, diversas soluções de melhorias, incluindo monitoramentos, podem ser adotadas para reduzir consumos energéticos.

Segundo Martins et al (2010), quanto menor a pressão de operação do sistema de ar comprimido, menor o gasto energético para geração e menores as perdas por vazamentos indesejados. Esta correlação é determinada pela Equação 1. Este trabalho implementa um IoT para monitorar em tempo real a pressão de ar comprimido, possibilitando a sua redução até o menor nível aceitável para que não cause paradas de processo produtivo por baixa pressão de ar comprimido. Os ganhos financeiros deste projeto são baseados na Equação 1, na potência instalada de compressores da empresa e nas tarifas de energia.

$$P_{\%} = \left[1 - \frac{(\sqrt[n]{r'_p})^{\frac{k-1}{k}} - 1}{(\sqrt[n]{r_p})^{\frac{k-1}{k}} - 1} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

$$r_p = \frac{P_1 + P_{atm}}{P_{atm}} ; r'_p = \frac{P'_1 + P_{atm}}{P_{atm}}$$

Onde:

- $P_{\%}$ [%] - Percentual de perdas devido à pressão elevada
- r_p [-] - Relação de compressão original
- r'_p [-] - Relação de compressão pós-otimização
- n [-] - Número de estágios de compressão
- k [-] - Coeficiente adiabático (isentrópico), em CNTP adotar 1,41
- P_{atm} - Pressão Atmosférica
- P_1 [bar] - Pressão máxima
- P'_1 [bar] - Pressão otimizada

3 METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como um artigo científico original e apresenta um Estudo de Caso Prático, embasado no estudo das fundamentações teóricas disponíveis para solucionar a problemática apresentada.

4 ESTUDO DE CASO: DESENVOLVIMENTO DE IOT PARA MONITORAMENTO DE PRESSÃO EM SISTEMA DE GERAÇÃO DE AR COMPRIMIDO

4.1 Planejamento para desenvolvimento do dispositivo IoT

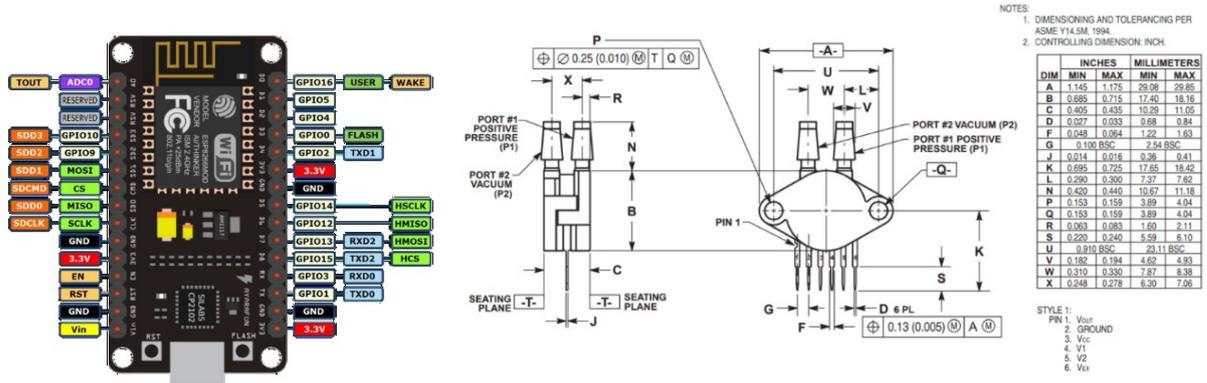
Para início do desenvolvimento do dispositivo foi realizado o planejamento da implementação, prezando por soluções que estivessem alinhadas com as seguintes premissas: um dispositivo com baixo custo de implementação, que as necessidades de infraestrutura já estivessem disponíveis no local planejado de instalação (ponto de energia elétrica 127v-220v, conexão Wi-Fi e um ponto de ar comprimido), que o processo de implementação fosse ágil para profissional não oriundo de área de TI (com utilização de plataformas *low-code*, por exemplo) e que a montagem do dispositivo final não dependesse de processos de manufatura complexos. Quanto aos conceitos de UX (*User Experience*), as premissas foram de que os usuários finais tivessem fácil acesso aos dados e em tempo real (prezando por uma solução *mobile* em *smartphones*), que a interface com o usuário seja simples, amigável e contendo: *gauge*, tela de status e log de eventos, medição de variação instantânea, possibilidade de exportação de dados e disponibilidade de notificações condicionadas diretamente no *smartphone*. Desta forma foram escolhidos os hardwares a serem utilizados (ESP8266 NodeMCU e sensor analógico de pressão NXP® MPX5700DP) devidamente acondicionados em uma case projetada para esta aplicação e construída utilizando o conceito de Manufatura Aditiva (impressão 3D). Por fim as informações estarão centralizadas por meio da plataforma IoT (Blynk®).

4.2 Desenvolvimento do dispositivo IoT

4.2.1 Hardware

A seleção do hardware necessário seguiu as premissas declaradas anteriormente, sendo selecionado o microcontrolador ESP8266 NodeMCU devido suas capacidades de processamento, ter um baixo custo e facilidade de aquisição, ter um baixo consumo de energia, comunicar com plataformas através de Wi-Fi embarcado e disponibilizar ao menos um pino para entrada de dados analógicos, como podemos notar na Figura 4a.

Figura 4 - Detalhes de seleção de hardware



Para realizar o *input* do valor de pressão de ar comprimido foi selecionado um sensor analógico (Conversor A/D) compatível com a aplicação e com o hardware escolhido, conforme detalhado na Figura 4b.

Os demais itens físicos utilizados no desenvolvimento envolvem acessórios para conexões (mangueira e conector pneumático 6mm) e parafusos M4 para fechamento do *case*.

4.2.2 Desenvolvimento de Softwares

Para o desenvolvimento além do *hardware* precisamos desenvolver um código e integrar com a ferramenta *on-line*. Utilizamos uma interface para o desenvolvimento do código e outra interface para fazer trabalhar como *front-end*.

4.2.2.1 Desenvolvimento do Software de controle do IoT

O software do microcontrolador foi escrito no ambiente de desenvolvimento integrado Arduino IDE, com a responsabilidade de receber e tratar o dado de pressão (fornecido pelo sensor analógico), calcular variáveis desejadas (como média móvel, por exemplo), realizar o registro de *timestamp* dos dados, exibir instruções baseadas em condições e criação de log de eventos, conforme Figura 5 - Arduino IDE com código-fonte de programação do microcontrolador. Além disso, o microcontrolador tem a função de enviar estes resultados à plataforma em nuvem (Blynk®), para exibição ao usuário final em solução *front-end* (aplicativo *mobile*). Vale salientar a importância de que sejam seguidas as boas práticas de programação, com código segmentado e comentado para auxiliar a manutenção do código e desenvolvimento de melhorias por outros desenvolvedores.

Figura 5 - Arduino IDE com código-fonte de programação do microcontrolador

```

//--- DECLARAÇÃO DE PINOS E VARIÁVEIS GLOBAIS ---
int analogPin = A0; // Pino Analógico de Medição de Pressão
//V1 Blynk - Valor analógico de 0 a 1023 (10bits ESP8266 / 0 a 4095 para ESP32 12bits)
//V2 Blynk - Valor de pressão corrigido em BAR para 10bits (0-1023) - ESP8266
//V3 Blynk - Dedicado para LCD
//V4 Blynk - Média Móvel (VAR: average)
//V5 Blynk - Tendência (pressão atual / média móvel de pressão - >100% pressão subindo / <100% pressão descendo)
//V6 Blynk - RTC Hora
//V7 Blynk - RTC Data
//V8 Blynk - Terminal

const int numReadings = 10; // Número de Médias
int readings[numReadings]; // the readings from the analog input
int readIndex = 0; // the index of the current reading
int totalizador = 0; // the running totalizador
int average = 0; // the average

float analisadorAtual;
float analisadorMedia;
float tendencia;
float estado = 0;

String currentTime;
String currentDate;

//--- REALTIME CLOCK ---

WidgetRTC rtc;

void clockDisplay()
{
  String currentTime = String(hour()) + ":" + minute() + ":" + second();
  String currentDate = String(day()) + "/" + month() + "/" + year();
}

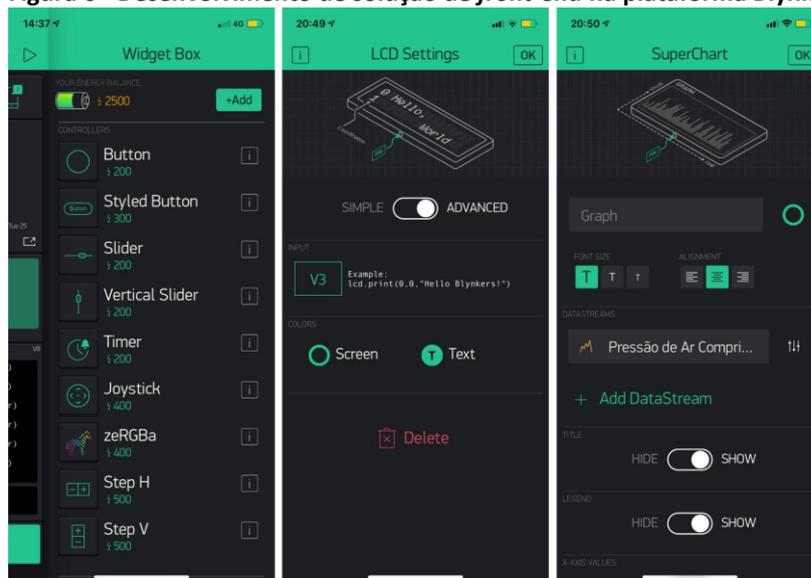
```

Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

4.2.2.2 Desenvolvimento da plataforma para o usuário final (Mobile)

A plataforma escolhida para desenvolvimento da interface com um usuário final (*front-end*) foi a plataforma IoT Blynk®, devido atender as premissas de fácil distribuição dos dados coletados pelo IoT a todos *stakeholders*, por não ter custos mensais (apenas custo baixo para aquisição de “*widgets*” no momento da criação da interface) e por ser caracterizada como uma plataforma *low-code*, possibilitando a construção da interface *front-end* através do conceito adições e configuração de funcionalidades (Figura 6), posteriormente conectadas às variáveis enviadas à nuvem pelo microcontrolador.

Figura 6 - Desenvolvimento de solução de *front-end* na plataforma Blynk®



Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

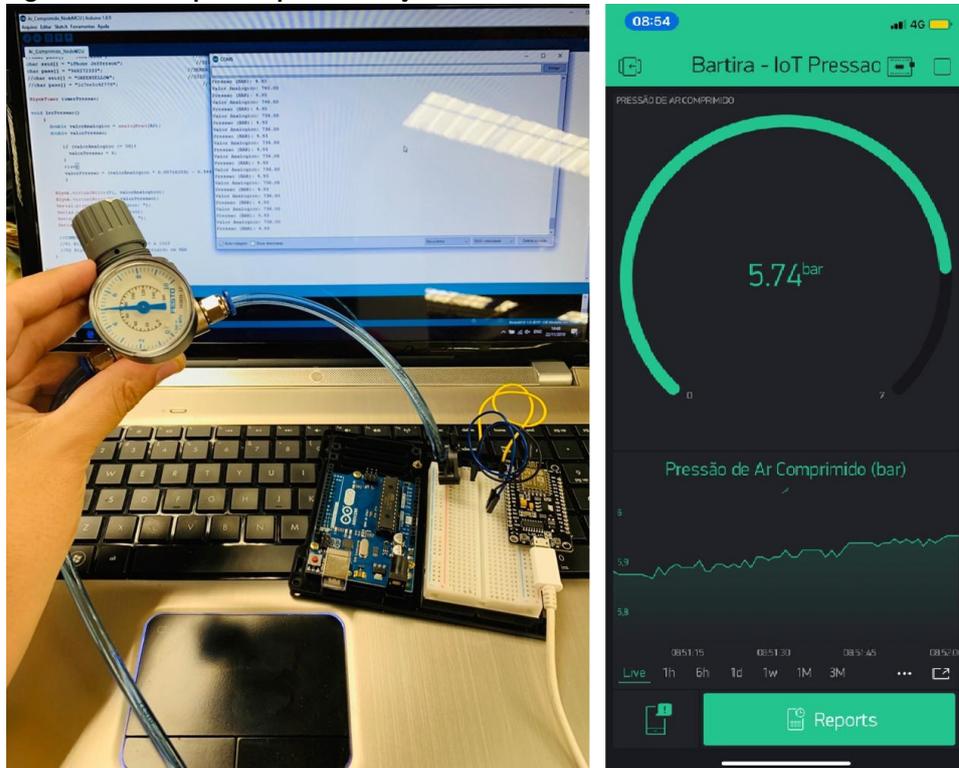
4.3 Protótipo para validação de conceito

Após a seleção de hardware e desenvolvimento inicial dos softwares (microcontrolador e aplicativo *mobile* para *front-end*), foi realizada a montagem de um

protótipo real conectado à rede de ar comprimido para validação do conceito (Figura 7). Posteriormente o *front-end* foi atualizado com novas funcionalidades.

Vale comentar sobre a importância das medições iniciais para elaboração da curva de calibração do instrumento, correlacionando o valor medido após conversão digital versus o manômetro analógico, encontrando assim equação de reta a ser utilizada pelo microcontrolador para exibição da pressão em unidade desejada (bar).

Figura 7 - Protótipo real para validação de conceito

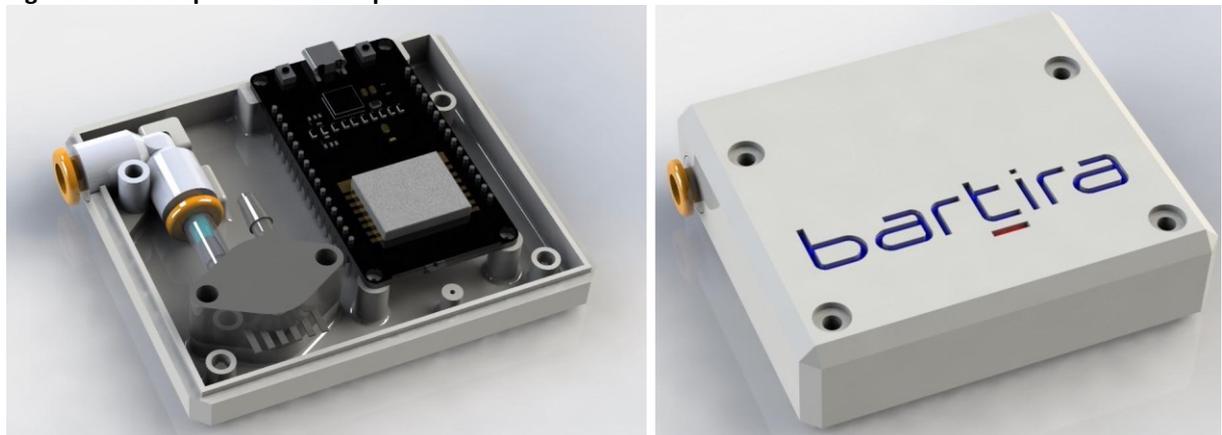


Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

4.4 Protótipo virtual e Desenvolvimento do Case

Após as definições e validações de conceito, foi desenvolvido, foi elaborado em software CAD3D o protótipo virtual do produto final e modelado a *case* para acomodação do *hardware*, conforme Figura 8.

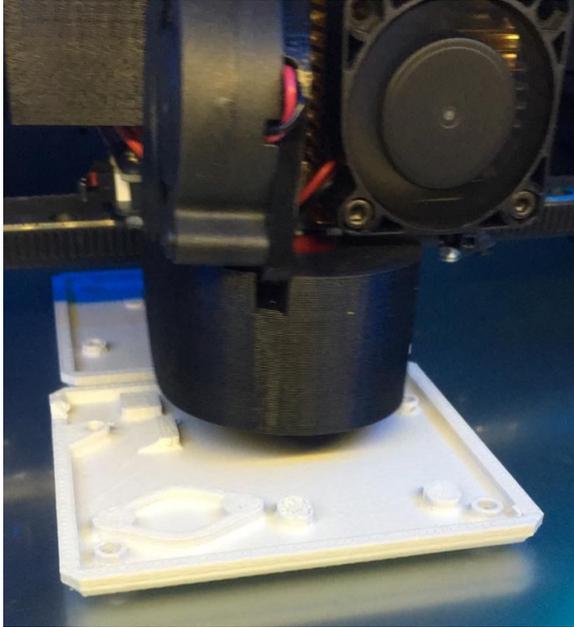
Figura 8 - Protótipo virtual do dispositivo IoT



Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

Utilizando os benefícios do pilar da Manufatura Aditiva da Indústria 4.0, o projeto CAD3D do case foi exportado (extensão .STL) e manufaturado através de impressora 3D, conforme Figura 9 - Impressão 3D do Case.

Figura 9 - Impressão 3D do Case



Fonte: Elaborada pela Autor (2021)

4.5 Custos de desenvolvimento

Como o tema e o objetivo principal deste trabalho adotam como premissa o baixo custo de desenvolvimento do dispositivo IoT, segue a Tabela 1 demonstrando os custos envolvidos no desenvolvimento do dispositivo IoT (valores de mercado em maio/2021):

Tabela 1 - Custos de desenvolvimento do dispositivo IoT

Item	Valor	
Sensor de Pressão NPX® MPX5700DP	R\$	120,00
Impressão 3D do case	R\$	80,00
NodeMCU ESP8266	R\$	35,00
Fonte micro-usb 5v 3A	R\$	35,00
Pacote adicional de widgets da plataforma Blynk (5000un)	R\$	39,90
Outros (conectores, parafusos e tinta)	R\$	30,00
TOTAL	R\$	339,90

Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

5 RESULTADOS

5.1 Dispositivo IoT e aplicativo mobile (*front-end*)

Todo processo de planejamento, aquisições, desenvolvimento e manufatura foram executados em um prazo de 3 semanas, atendendo a necessidade de que a solução fosse implementada em pouco tempo (conforme premissas de Melhoria Contínua – *Yellowbelt*). A montagem final do dispositivo ocorreu conforme planejado (Figura 10).

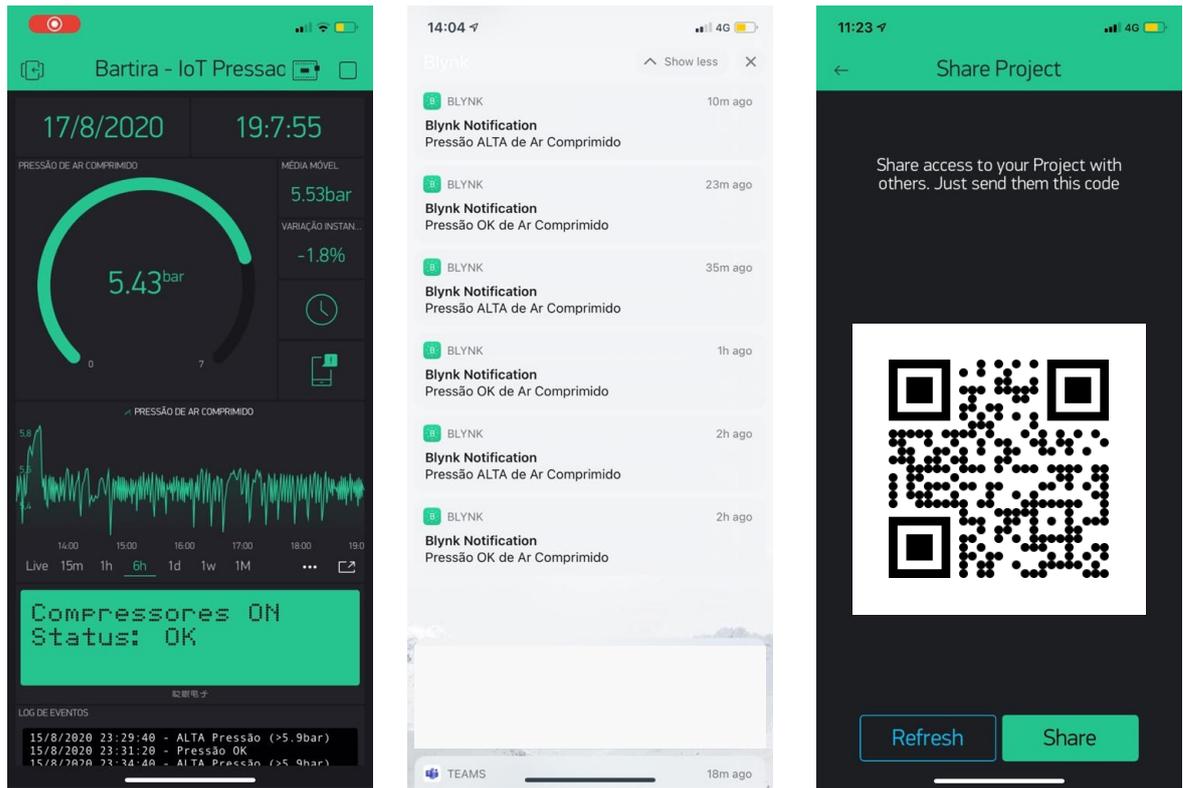
Figura 10 - Dispositivo IoT



Fonte: Elaborada pelo Autor (2021).

O desenvolvimento do aplicativo *mobile* atendeu as premissas pré-estabelecidas de *UX* (*User Experience*), contendo o *front-end* com *gauge* de medição, tela de status e log de eventos, medição de variação instantânea, possibilidade de exportação de dados (Figura 11a), disponibilidade de notificações condicionadas diretamente no smartphone (Figura 11b) e que o aplicativo seja de fácil distribuição entre os usuários (Figura 11c).

Figura 11 - Desenvolvimento da aplicação mobile



(a) Aplicação mobile

(b) Notificações no smartphone

(c) QR-Code para compartilhamento⁷

Fonte: Elaborada pelo Autor (2021).

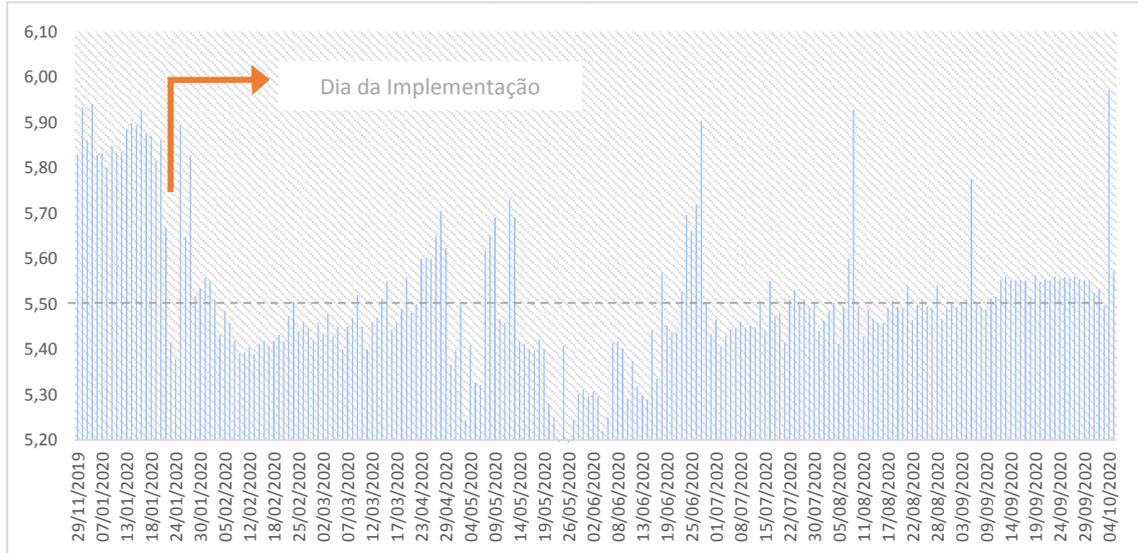
5.2 Redução da pressão de operação do sistema de geração de ar comprimido

O dispositivo IoT foi instalado em um local o qual oferecia as condições de infraestrutura necessárias, sendo um ponto de alimentação de ar comprimido direto do anel de distribuição, um ponto de energia elétrica (127v-220v) e a disponibilidade de conexão Wi-Fi. A pressão medida inicialmente foi de 5,9bar. Como meta de projeto, o objetivo foi reduzir a pressão de ar comprimido ao limite de 5,5bar.

A efetiva redução de pressão de ar comprimido à 5,5 bar na central de geração ocorreu em 23/01/2020, conforme Figura 12, porém não foi possível obter sucesso inicial pois dois equipamentos produtivos deixaram de realizar a sua função devido à baixa pressão de ar comprimido (uma Seccionadora e um Robô Industrial). Como ação voltou-se o sistema à condição inicial e foi realizada uma análise de falha destes casos, onde foram identificadas possibilidade de melhorias pontuais para que estes equipamentos operassem corretamente a uma pressão reduzida de ar comprimido. Após estas ações foi possível operacionalizar o processo produtivo com uma pressão de ar comprimido de 5,5 bar, conforme planejado inicialmente.

⁷ O QR-Code de compartilhamento foi suprimido desta obra, sendo este apenas demonstrativo com direcionamento para o site da plataforma Blynk®: <https://blynk.io/>

Figura 12 - Média diária de Pressão de Ar Comprimido (bar)



Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

5.3 Análise de redução de despesas industriais em Energia Elétrica

O dispositivo IoT foi projetado de forma que seja possível a extração de dados em formato .csv, possibilitando a tratativa dos dados em Microsoft Excel. Como dados de saída do IoT, temos a média de pressão de ar comprimido em 1 minuto, possibilitando o cálculo de ganho financeiro médio para cada minuto de operação do sistema em relação ao *Baseline* (pressão de operação antes da redução) - Figura 13. Desta forma, se a pressão de ar comprimido for menor que o *Baseline*, há redução de despesas operacionais com Energia, e se for maior, há aumento de despesas operacionais. As reduções ou aumentos de despesas operacionais são consolidadas ao final do dia, mês ou ano, a depender do resumo executivo que se deseja verificar, calculado conforme apresentado na Equação (1) da fundamentação teórica deste trabalho.

Figura 13 - Dados de saída do IoT (Pressão)

P81649 =SE(G81649="Sistema em Operação";8*160*0,8*(1-(((F81649+0,9342)/0,9342)^(1,4-1/1,4))-1)/(((5,9+0,9342)/0,9342)^(1,4-1/1,4))-1))*0,353/60,000))

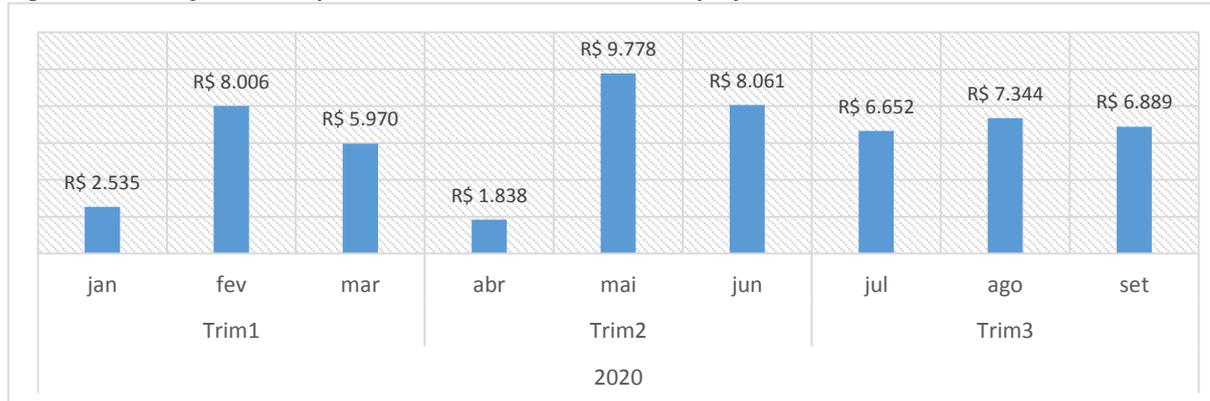
1	Descrição2	Valor Blynk	Timestamp Corrigido	Valor Pressão OFICIAL	Status Sistema de Ar Comprimido	Semana	DIA	MÊS	ANO	Data Completa	Tendência Pressão	Hora Completa	Status Fábrica	Saving de Energia
1851	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.293.683.333.333.330	29/02/2020 08:27	5,29	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	98%	8:27	Fábrica em Operação	R\$ 0,31
1852	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	53.900.333.333.333.300	29/02/2020 08:28	5,33	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:28	Fábrica em Operação	R\$ 0,34
1853	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.439.999.999.999.990	29/02/2020 08:29	5,43	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	102%	8:29	Fábrica em Operação	R\$ 0,28
1854	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.507.866.666.666.660	29/02/2020 08:30	5,50	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:30	Fábrica em Operação	R\$ 0,34
1855	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.388.457.827.118.640	29/02/2020 08:31	5,38	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	98%	8:31	Fábrica em Operação	R\$ 0,31
1856	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.385.409.836.065.570	29/02/2020 08:32	5,38	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	98%	8:32	Fábrica em Operação	R\$ 0,37
1857	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.361.050.000.000.000	29/02/2020 08:33	5,36	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	102%	8:33	Fábrica em Operação	R\$ 0,32
1858	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.432.783.333.333.330	29/02/2020 08:34	5,43	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:34	Fábrica em Operação	R\$ 0,38
1859	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.485.627.118.646.040	29/02/2020 08:35	5,48	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:35	Fábrica em Operação	R\$ 0,25
1860	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.484.491.803.278.690	29/02/2020 08:36	5,48	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	100%	8:36	Fábrica em Operação	R\$ 0,25
1861	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.340.203.389.830.310	29/02/2020 08:37	5,34	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	97%	8:37	Fábrica em Operação	R\$ 0,34
1862	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.286.036.393.442.030	29/02/2020 08:38	5,28	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	99%	8:38	Fábrica em Operação	R\$ 0,37
1863	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.374.533.333.333.330	29/02/2020 08:39	5,37	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	102%	8:39	Fábrica em Operação	R\$ 0,32
1864	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.439.038.949.132.540	29/02/2020 08:40	5,43	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:40	Fábrica em Operação	R\$ 0,28
1865	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.481.336.666.666.660	29/02/2020 08:41	5,48	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:41	Fábrica em Operação	R\$ 0,25
1866	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.470.038.393.442.030	29/02/2020 08:42	5,47	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	100%	8:42	Fábrica em Operação	R\$ 0,28
1867	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.241.636.666.666.660	29/02/2020 08:43	5,24	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	98%	8:43	Fábrica em Operação	R\$ 0,34
1868	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.421.644.967.796.610	29/02/2020 08:44	5,42	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:44	Fábrica em Operação	R\$ 0,29
1869	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.508.389.830.508.470	29/02/2020 08:45	5,50	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:45	Fábrica em Operação	R\$ 0,24
1870	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.385.693.548.387.090	29/02/2020 08:46	5,38	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	98%	8:46	Fábrica em Operação	R\$ 0,31
1871	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	53.926.166.666.666.600	29/02/2020 08:47	5,29	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	98%	8:47	Fábrica em Operação	R\$ 0,37
1872	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.427.283.333.333.330	29/02/2020 08:48	5,42	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	102%	8:48	Fábrica em Operação	R\$ 0,29
1873	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	53.028.333.333.333.200	29/02/2020 08:49	5,30	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:49	Fábrica em Operação	R\$ 0,24
1874	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.434.836.666.666.660	29/02/2020 08:50	5,43	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	99%	8:50	Fábrica em Operação	R\$ 0,28
1875	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.320.849.999.999.990	29/02/2020 08:51	5,32	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	98%	8:51	Fábrica em Operação	R\$ 0,36
1876	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.293.899.999.999.990	29/02/2020 08:52	5,29	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	99%	8:52	Fábrica em Operação	R\$ 0,37
1877	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.364.633.333.333.330	29/02/2020 08:53	5,36	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:53	Fábrica em Operação	R\$ 0,32
1878	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.425.733.333.333.330	29/02/2020 08:54	5,42	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:54	Fábrica em Operação	R\$ 0,29
1879	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	54.990.666.666.666.600	29/02/2020 08:55	5,45	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	101%	8:55	Fábrica em Operação	R\$ 0,27
1880	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	54.712.833.333.333.300	29/02/2020 08:56	5,47	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	100%	8:56	Fábrica em Operação	R\$ 0,25
1881	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.471.866.666.666.660	29/02/2020 08:57	5,47	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	100%	8:57	Fábrica em Operação	R\$ 0,26
1882	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.484.136.666.666.660	29/02/2020 08:58	5,48	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	100%	8:58	Fábrica em Operação	R\$ 0,25
1883	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.480.086.345.762.740	29/02/2020 08:59	5,48	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	100%	8:59	Fábrica em Operação	R\$ 0,25
1884	Bateria - Pressão de Ar Comprimido	5.492.473.409.836.090	29/02/2020 09:00	5,48	Sistema em Operação	9	29	2	2020	29/02/2020	100%	9:00	Fábrica em Operação	R\$ 0,24

Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

A Figura 14 representa o resumo dos ganhos financeiros obtidos do início da operação (23/01/2020) até setembro/2020, totalizados em R\$57.702,00, considerando 18hrs/dia produtivas (2 turnos). Como comentário, os relativos baixos ganhos de abril/2020 devem-se aos períodos de interrupções fabris causadas pela COVID-19 e os ganhos maiores de maio/2020 refere-se a dias em que houveram a necessidade de funcionamento do processo fabril em horas extras. O potencial de economia financeira anual desta ação é de R\$93.985,52

sob as seguintes condições: redução de meta de pressão de 5,9bar para 5,5bar, 11 meses produtivos, 24hrs/dia (cenário real a partir de setembro/2020), tarifa de energia ao valor de R\$353/MWh (Tarifa real de Energia e TUSD em 2020) e média de 80% de carga dos compressores. A quantidade total economizada de energia elétrica será de aproximadamente 24,2MWh/mês, equivalente ao consumo mensal de 149 residências brasileiras, segundo referência de consumo médio residencial citado por Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2020).

Figura 14 - Reduções de despesas mensais como resultado do projeto



Fonte: Elaborada pelo Autor (2021)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado, o objetivo geral de se realizar o desenvolvimento rápido (em 3 semanas) e a baixo custo (R\$339,90) de um dispositivo IoT para coleta de dados de pressão de ar comprimido foi concluído com êxito. Da mesma forma, os objetivos específicos para que os dados fossem de fácil distribuição (via smartphone) e que possibilitassem a gestão do sistema de geração de ar comprimido para realização de redução de despesas operacionais foram concluídos com êxito, com potencial de reduções equivalentes a R\$93.985,52/ano nas despesas de Energia Elétrica. Como pontos de melhorias para trabalhos futuros temos: melhorar a gestão de dados para possibilitar a utilização de conceitos de *Analytics* em plataforma dedicada, hardware com conectividade GSM e integração ao MES existente na empresa (PPI-Multitask PC-Factory®), inclusão de visor LCD no dispositivo IoT para informações e status operacionais, inclusão de funcionalidade para reter dados em momentos de ausência de conectividade do dispositivo à rede, desenvolvimento de plataforma funcional em navegador de internet (aos usuários que não desejarem utilizar a versão mobile) e inclusão de soluções personalizadas e dedicadas quanto a *cybersecurity*.

7 REFERÊNCIAS

ATLAS COPCO. **O que é ar comprimido?** Disponível em: <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-compressed-air>. 2021. Acesso em: 20 jul. 2021.

ATLAS COPCO. **Maximize a eficiência da sua instalação de ar comprimido.** Disponível em: <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/service/efficiency>. 2021. Acesso em: 20 jul. 2021.

BLYNK. **IoT Platform.** 2021. Disponível em: <https://blynk.io/>. Acesso em: 11 ago. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**, ano 13. n. 48. 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-510/Resenha%20Mensal%20-%20Janeiro%202020_v4.pdf. Acesso em: 17 ago. 2021.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP8266X Datasheet**. 2020. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266x_datasheet_en.pdf. Acesso em: 11 ago. 2021.

GOKHALE, P.; BHAT, O.; BHAT, S. Introduction to IOT. **IARJSET**, v. 5, n. 1, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Omkar-Bhat/publication/330114646_Introduction_to_IOT/links/5c2e31cf299bf12be3ab21eb/Introduction-to-IOT.pdf. Acesso em: 13 jul. 2021.

HARDY, C.; CLEGG, S. R. **Alguns ousam chama-lo de poder**. In: CLEGG, S. R. et al. (org.). *Handbook de estudos organizacionais: reflexões novas direções*. v.2. São Paulo: Atlas, 2001. p. 260-292.

LEE, J. The 6 best IoT hardware plataformas. **Blog Particle**. 02 January 2021. Disponível em: <https://blog.particle.io/iot-hardware-comparison-guide/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

MARTINS, A. et al. **Análise de eficiência energética em sistemas de ar comprimido**. In: CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 8, 25 a 29 de outubro de 2010. Uberlândia. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2010. Disponível em: https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2010/ceel2010_02.pdf. Acesso em: 11/08/2021.

MUNHOZ, A et al. **Manufatura Aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. 1ed. São Paulo: Blucher, 2017.

NXP. **MPX5700DP**: integrated silicon pressure sensor on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. Rev. 10. 2012. Disponível em: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX5700.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2021.

Rüßmann, M et al. Boston Consulting Group. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. Disponível em: https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries. Acesso em: 13 jul. 2021.

SACOMANO, J. et al. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2018.

SAKOVICH, N. 10 best IoT Plataformas for 2021. **Blog Sam Solutions**. 2021. Disponível em: <https://www.sam-solutions.com/blog/top-iot-platforms/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

SILVEIRA, C. B. **Indústria 4.0: o que é, e como ela vai impactar o mundo**. **Citysystem**. 2016. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais José Maria e Maria por “colocarem a escadinha de pé” e pela vida. À Laura por me apoiar em todos os desafios. Agradeço também ao time de gestores que lançaram o desafio profissional deste Estudo de Caso e aos professores do SENAI São Caetano do Sul que mostraram o caminho para um novo mundo, em especial o Prof. Me. Daniel Bruno por ter ministrado a disciplina base para este trabalho e ao Prof. Esp. José Roberto orientador deste artigo.

Sobre os autores:

ⁱ JEFFERSON RODRIGO AVILA PELOI



Engenheiro Mecânico pela Universidade Estadual de Maringá - UEM (2011), especialista em Gerenciamento de Projetos (MBA) pela Fundação Getúlio Vargas (2019) e pós-graduando em Indústria 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2021). Tem experiência na área de Gestão de Manutenção e Projetos, atuando por 10 anos na indústria nos setores alimentar e varejista. Atualmente é Coordenador de Manutenção e Projetos na empresa Via Varejo, atuando na Indústria de Móveis Bartira.



ⁱⁱ JOSÉ ROBERTO DOS SANTOS - Orientador



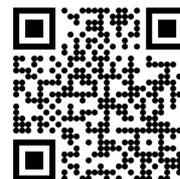
Atualmente ministra aulas na pós-graduação de Indústria 4.0 e na graduação em Tecnologia em Mecatrônica na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, que fica no SENAI Armando de Arruda Pereira. Assessora também o Instituto SENAI de Tecnologia Metalmeccânica em projetos industriais com foco na Indústria 4.0. Durante 9 anos ministrou aulas pelo SENAI-SP, nos cursos de técnico em eletroeletrônica, cursos de aprendizagem industrial eletricitista de manutenção e mecânico de usinagem, além de Formação Inicial e Continuada (FIC) com cursos voltados a área de redes de computadores e programação, possui treinamento de Linux, Cisco e Microsoft. Possui Pós-graduação na área de segurança da informação pela Uninove (2016), graduação em Tecnologia da Informação e bacharel em Sistema da Informação (2009), além de superior em Automação Industrial. Tem experiência na área de Segurança da informação, administração de ambientes de redes Windows e Linux, automação industrial.



iii DANIEL CAMUSSO



Mestrando Profissional pela Universidade de Taubaté - UNITAU (previsão de término 2021). Pós-Graduado em Industrial 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (previsão de término 2021). Pós-Graduado em Engenharia Automotivística pela Faculdade de Engenharia Industrial - FEI (2000). Aperfeiçoamento em CAD/CAM/CAE pela Dassault Systemes em Paris - França. Graduado em Engenharia Mecânica Plena pela FEI (1996). Atualmente é docente no curso Técnico em Mecatrônica pela Escola SENAI Armando de Arruda Pereira. Foi docente do curso Superior "Tecnologia Mecatrônica Industrial" pela Faculdade SENAI e do curso de "Pós-Graduação em Projetos, Manufatura e Análise de Engenharia. Também docente do curso de especialização de CAD/CAE para Engenheiros de Países da América Latina (Convênio Brasil JICA Japan International Cooperation Agency). Participação no projeto Bleriot, um trabalho colaborativo entre Brasil, França e Índia e apresentado em 2009 na Feira Internacional de Aviação em Le Borget (França). Possui experiência como engenheiro na área de desenvolvimento de novos projetos para a indústria automobilística, utilizando o software CATIA e NX.
CV: <http://lattes.cnpq.br/7303249573994245>



iv DANIEL OTÁVIO TAMBASCO BRUNO



Doutorando em Engenharia da Informação na Universidade Federal do ABC (2016), Mestre em Engenharia da Informação pela Universidade Federal do ABC (2013), Especialista em Banco de Dados pela Universidade de Ribeirão Preto (2007) e Especialista em Educação à Distância pela Universidade Paulista (2012). Possui graduação em Análise de Sistemas pela Universidade Paulista (2003). Revisor do Periódico IEEE Transactions on Medical Imaging. Co-editor, editor de área e revisor da Revista Brasileira de Mecatrônica. É Revisor do periódico ForScience do Instituto Federal de Minas Gerais. Atualmente é Técnico em Manufatura Digital e professor da Escola Senai "Eng. Octávio Marcondes Ferraz e Professor de ensino superior na Universidade Paulista. Tem experiência na área de Inteligência Artificial, Desenvolvimento de Sistemas de Informação, Processamento de imagens, Implantação e Administração de sistemas Product Lifecycle Management (PLM), Segurança de redes e Internet das Coisas.

CV: <http://lattes.cnpq.br/3491851270517427>



✓ CLÁUDIO LUÍS MAGALHÃES FERNANDES

Possui graduação em Engenharia Elétrica Modalidade Eletrônica com Ênfase em Computação pela Universidade Santa Cecília (2006), Pós-graduação Lato Senso em Automação Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2010), Pós-Graduação Lato Sensu em Docência na Educação Profissional, pelo SENAI CETIQT (2015) e Mestrado Profissionalizante em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Cecília (2012). Atualmente é Diretor Acadêmico do Ensino Superior, no SENAI São Paulo, Professor da Faculdade de Tecnologia São Vicente dos cursos Tecnólogo em Automação Industrial, Bacharelado em Sistemas de Informação, Engenharia Elétrica. Atua na Universidade Santa Cecília - UNISANTA como docente e pesquisador de técnicas de Inteligência Artificial que fazem uso dos conceitos das Lógicas Não-Clássicas, com ênfase na LPA2V (Lógica Paraconsistente Anotada de dois Valores) e Lógica Fuzzy, aplicadas a sistemas Robóticos e no Controle de Processos Industriais.

<http://lattes.cnpq.br/8652248955686624>

