

Sistema de Baixo Custo para Monitoramento de Temperatura como Complemento à Manutenção Preditiva 4.0

Tayane Alexandre Paulino

Estudante de Engenharia Mecânica, Recife, Brasil, tayaneallep@gmail.com

Vanessa Maria Santos do Nascimento

Estudante de Engenharia Mecânica, Recife, Brasil, vanessamaria1984@gmail.com

Rafael Coutinho Dutra

Professor Mestre do Curso de Engenharia Mecânica, UniFG, Recife, Brasil, rafael.dutra@unifg.edu.br

RESUMO: A chamada manutenção preditiva 4.0 integra uma série de tecnologias que permitem a análise de dados, possibilitado assim, a previsão acerca de futuras falhas enquanto se mostra eficiente, assertiva e econômica. Os sensores inteligentes são favoráveis no processo da manutenção preditiva na indústria 4.0 pois têm a capacidade de facilitar a assertividade na coleta de dados, gerando otimização do gerenciamento de energia e facilidade no processo de manutenção. O controle de temperatura é uma das técnicas mais consideráveis do processo industrial, monitorar a temperatura nos níveis adequados pode evitar o superaquecimento das máquinas, mantendo seu funcionamento eficiente, como também sua confiabilidade. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema de baixo custo para monitoramento dos parâmetros de temperatura visando a manutenção preditiva no contexto da indústria 4.0. Os materiais utilizados foram: sensor termopar tipo K para medição de temperatura, módulo ESP8266 o qual foi programado para transferir os dados coletados pelo sensor para planilha via Wi-Fi, display OLED 0.96" no qual é possível visualizar a medição de temperatura feita mais recente, bateria portátil power bank 2200mAh como fonte de energia para o dispositivo e uma mini protoboard de 170 pontos para auxiliar na conexão dos pinos. A metodologia utilizada no estudo foi a programação do dispositivo IoT para monitorar temperatura e transferir esses dados via Wi-Fi para o Google Sheets através do Apps Script.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção Preditiva, Indústria 4.0, Monitoramento de temperatura.

ABSTRACT: Predictive maintenance 4.0 integrates a series of technologies that allow data analysis, thus enabling a waiting wait forecast while proving efficient, assertive and economical. Smart sensors have energy management capacity and efficiency in the optimization process of the most considerable industrial maintenance techniques, agility that can avoid the overheating of machines, maintainance their efficiency, operation also their reliability. The context of the study was developed to develop a low cost system for monitoring temperature parameters aiming at predictive maintenance of Industry 4.0. K826 thermocouple materials: temperature sensor, ESP programmable module programmed to send the data used or qualifiable by the sensor have been configured for display through the temperature sensor configured for display 0.96 it is possible to view the most recent collected temperature , portable battery power bank 2200mAh as the device's power supply and a 170-point mini breadboard for auxiliary pin connection. The methodology used is the development for smart sensor of temperature and transfer of this data to the Google Apps Script.

KEYWORDS: Predictive Maintenance, Industry 4.0, Temperature Monitoring.

1 Introdução

A Quarta Revolução industrial, comumente chamada de indústria 4.0, inseriu no mercado uma série de novas tecnologias, qualidade e gestão, levando ao surgimento de novas estratégias para a indústria. Alinhado as demandas do cenário atual, as indústrias têm buscado cada vez mais reduzir os custos, aumentar a disponibilidade e prolongar a vida útil dos ativos. Esses objetivos tornaram a manutenção um dos pilares da indústria 4.0. Essa nova revolução industrial baseia-se na união de tecnologias de informação e comunicação, a qual possibilita atingir maior produtividade e flexibilidade. (SACOMANO et al., 2018)

Dispositivos como sensores, inteligência artificial, machine learning, nuvem, internet das coisas (IoT)

e big data revolucionaram a forma com as máquinas se comunicam (DILMEGANI, 2018).

Tais ferramentas objetivam a previsão e análise preditiva, de modo que os dados coletados são processados e analisados direcionando melhores tomadas de decisões (MOTAGHARE et al., 2018).

A manutenção preditiva, também conhecida como “condition monitoring”, objetiva estabelecer os limites e parâmetros a serem mensurados (BALDISSARELI; FABRO, 2019).

Dessa forma, a Manutenção Preditiva se configurou como um dos principais casos de uso da Indústria 4.0. Sua aplicação permite melhorar os cronogramas de manutenção, monitorar a performance do maquinário, receber avisos em tempo real de riscos nas operações e impulsionar o desenvolvimento técnico e intelectual de pessoas. Esses benefícios atendem as demandas atuais das organizações industriais, tornando possível o destaque destas no mercado (SOFFER, 2018).

Com o desenvolvimento de um sistema de monitoramento é possível ter acesso a dados em tempo real, tornando possível a supervisão das temperaturas do maquinário sempre que necessário. Esses dados auxiliam a equipe de manutenção, que poderá intervir de forma preventiva, caso os dados estejam divergentes dos parâmetros aceitáveis da máquina.

No entanto, para 66% das empresas o alto custo de implantação está destacado como a principal obstáculo quando se fala em aplicação de tecnologias digitais (CNI, 2016).

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema de baixo custo para monitoramento dos parâmetros de temperatura visando a manutenção preditiva no contexto da indústria 4.0, baseado nas estatísticas dos estudos citados para, quando utilizado: melhorar o tempo de atividade, reduzir os custos da empresa, reduzir os riscos de segurança, saúde, meio ambiente e qualidade e estende a vida útil do ativo.

2 Referencial Teórico

2.1 Manutenção

Desde o início do século XX a manutenção vem se destacando no setor produtivo e exercendo cada vez mais um papel estratégico e fundamental para uma elevada produtividade, podendo ser um ponto importante para bons resultados e sucesso de uma empresa. O impacto causado por uma manutenção ineficaz acarreta uma possível queda na lucratividade e uma baixa sobrevivência da empresa (KARDEC; NASCIF, 2009).

Manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (ABNT, 1994).

A manutenção pode ser descrita como um conjunto de precauções e métodos técnicos indispensáveis para atingir um bom desempenho e reparo de equipamentos, máquinas, moldes, peças e ferramentas (ALMEIDA, 2014).

2.1.1 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é uma manutenção de controle e monitoramento efetuada em intervalos predeterminados, com o intuito de diminuir falhas e evitar a disfuncionalidade do equipamento, garantindo assim maior confiabilidade e eficiência na produção (Kardec, 2009).

O principal objetivo dessa manutenção é prevenir paradas inesperadas nos equipamentos, evitar o desgaste da mecânica e prolongar a vida útil do mesmo, pois é uma manutenção programada que se baseia em adotar períodos pré-determinados.

Segundo Gregório et al., 2018, esse tipo de manutenção tem como característica a substituição da peça no período pré-determinado, não levando em consideração o estado em que a peça se encontra. Esse fator é uma porta de entrada para questionamentos quanto à eficiência da manutenção preditiva, visto que há chances de acontecer uma troca de peças mesmo com essa em bom estado, gerando custos desnecessários à empresa.

2.1.2 Manutenção corretiva

É definida como a manutenção que só é realizada após a quebra ou falha do equipamento, objetivando dar ao equipamento suas condições iniciais. É o processo de manutenção mais caro pois há baixo número de disponibilidade dos ativos, visto que muitas peças terão que ser trocadas e o tempo de parada da produção é longo, trazendo prejuízos financeiros e de produtividade para as empresas.

Segundo Seleme (2015), esse tipo de manutenção é considerado uma ação não-programada, vindo a

ocorrer em situações urgentes e imprevisíveis. O setor de manutenção é convocado para essa ação e deve estar, a qualquer momento, preparada para efetuar a manutenção, com equipe técnica, instrumentos de manutenção e substituição. O procedimento necessário pode ser composto por corrigir mal funcionamento detectado durante a operação da máquina e por realizações de correção devido a acidentes.

2.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva se configura como um conjunto de métodos empregados para identificar anomalias no equipamento, ocasionadas por avarias ou falhas, objetivando melhorias nos trabalhos de manutenção e consequentemente a performance dos equipamentos (LEE et al., 2017).

Essa manutenção é realizada através de dados coletados dos equipamentos, com esses dados é possível medir e analisar as variáveis dos equipamentos. Esses dados permitem medir a temperatura, vibração, a termográfica, ultra-som e efetuar uma análise físico-química de óleos com o objetivo de encontrar a raiz do problema, antecipando assim paradas nas produções e prolongando a vida útil dos maquinários em tempo real, através de tecnologias avançadas, uso de informações atuais e prognósticos. Dessa forma, ela se distingue da manutenção que se baseia nas condições e utiliza somente as informações dos estados das peças.

A manutenção preditiva é impulsionada pelo desenvolvimento tecnológico, dessa forma, o custo da sua implantação se torna elevado já que os equipamentos possuem tecnologias avançadas e que necessitam de constantes atualizações (GOMES, 2021).

No entanto a aplicação dessas tecnologias tem impactos significativos nos índices de desempenho e no tempo de vida útil das máquinas e consequentemente na redução dos custos, dessa forma o capital investido é justificado pelos benefícios da sua implantação.

2.2 Evolução da manutenção

A primeira evolução se deu antes da primeira e da segunda guerra mundial, naquela época a manutenção não era vista com a sua devida importância pelas indústrias, sendo considerada como secundária no processo de produção, e a manutenção que predominava na época era a corretiva, com poucas técnicas como serviços de limpeza, lubrificação e reparos após quebra.

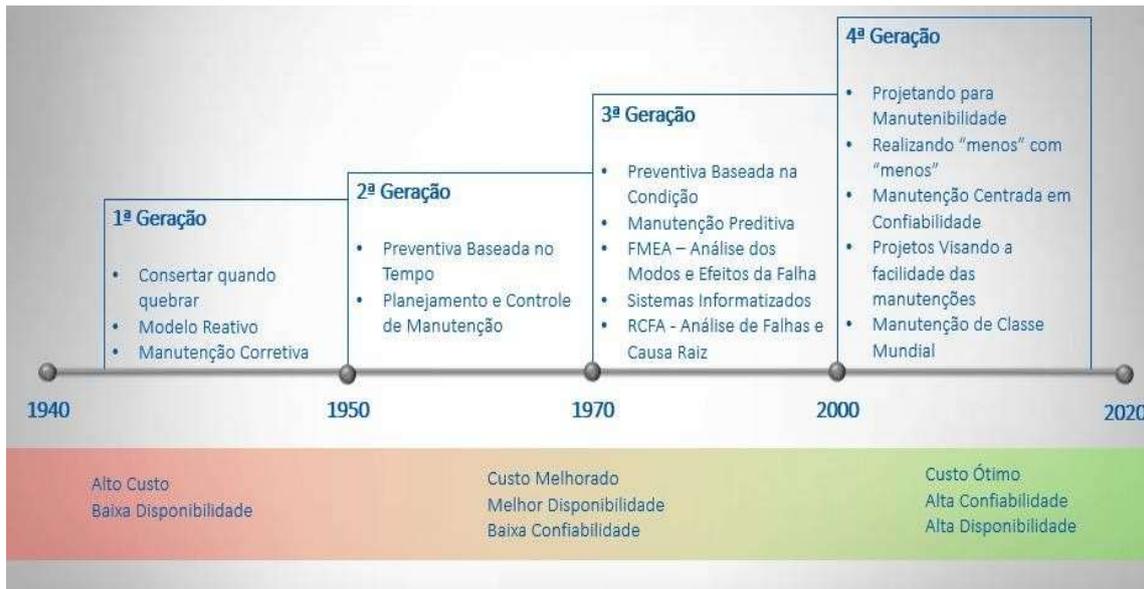
O objetivo, a princípio, era fazer manutenção corretiva dos equipamentos exclusivamente quando os equipamentos, por algum motivo, quebrassem ou parassem de produzir. Dessa forma a manutenção era realizada de modo a reparar o equipamento e com isso voltar ao processo produtivo, o que era suficiente para as indústrias nessa época.

A segunda evolução veio após a segunda guerra mundial, quando as empresas sentiram a necessidade do aumento e aceleração da produção, e com isso decidiram criar departamentos de manutenção para começar a fazer as manutenções com programações, para que a preocupação maior não tivesse só em concertar após a falha, mais sim fazer o possível para evitá-las, e com isso aperfeiçoar a produção. Através dessa necessidade surgiu o conceito da manutenção preventiva, que veio com o intuito de trabalhar de forma padronizada, fazendo com que as paradas não programadas dos ativos diminuíssem. Só que com mais paradas programadas, houve a necessidade de muitas trocas de peças, o custo aumentou, veio à preocupação de diminuir os custos e prolongar a vida útil dos equipamentos. Nesta fase foi introduzido o questionamento de como fariam para manter o setor daí em diante, ou seja, como a manutenção devia fazer para que as máquinas produzissem o maior número de peças (KARDEC; NASCIF, 2009).

A terceira evolução deu-se entre os anos 1970 e 2000, fase em que foi possível uma manutenção com maior qualidade, com surgimento de novas técnicas que deram uma função maior na qualidade de reparar os equipamentos, tornando os critérios e técnicas da manutenção preventiva mais estratégica e complexa, como técnicas de análise de falhas, colocando em prática os sistemas como Just-in-time. Aumentando a eficiência, diminuição dos gastos, paradas não programadas, reduzindo assim os desperdícios. Foi nessa que surgiram os primeiros computadores, internet ganhando o valor, deram base para o surgimento das técnicas da manutenção preditiva (KARDEC; NASCIF, 2009).

Na quarta evolução as indústrias se expandiram ainda mais, pois com o surgimento da manutenção preditiva e suas novas tecnologias, com softwares cada vez mais avançados e potentes, fizeram com que essa manutenção estivesse inserida nos processos mais sofisticados das indústrias, com análise e monitoramento online dos equipamentos, todo isso em tempo real, garantindo menos paradas inesperadas, baixo custo de manutenção, baixa necessidade de intervenções, com alto nível de confiabilidade e disponibilidade e aumento da vida útil dos ativos (KARDEC; NASCIF, 2009). A figura 1 mostra a evolução das quatro gerações apresentadas.

Figura 1: Evolução da manutenção



Fonte: Site da Engeteles, 2018.

2.3 Indústria 4.0

O termo indústria 4.0 surgiu a partir de um projeto da indústria alemã, denominado Plattform Industrie 4.0, apresentado na Feira de Hannover, em 2011. Esse novo modelo industrial fundamenta-se na inserção de novas tecnologias que urgem a comunicação e informação objetivando melhorias nos processos e estratégias, em busca de resultados mais satisfatórios (SACOMANO, 2018).

A integração efetiva das estruturas físicas, virtuais e biológicas proposta pela Quarta Revolução Industrial estrutura uma cadeia de inovação e uma produção mais eficiente, rápida e inteligente (MAURA, 2019).

Em uma indústria 4.0, as máquinas se comunicam e formam uma comunidade colaborativa através do uso de ferramentas como, computação em nuvem, Big Data, Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial (MAURA, 2019).

As tecnologias associadas a esta indústria possibilitam a criação de novos produtos e serviços. Sensores, dispositivos portáteis, a Análise de Dados e a Robótica, são utilizados nesta revolução motivam melhorias em diversos setores, a partir da elaboração de protótipos até à conectividade dos sistemas antes desconectados (FERNANDES, 2020).

Em geral, a Indústria 4.0 viabiliza a criação de Fábricas Inteligentes por meio da conexão e comunicação dos processos, permitindo assim a previsão e o acesso a informações futuras. Através destas tecnologias as Indústrias Inteligentes serão capazes de prever possíveis falhas nas máquinas e nos processos, e, dessa forma, adequar-se a essa realidade (FERNANDES, 2020).

2.3.1 Manutenção preditiva no contexto da indústria 4.0

A globalização e a inserção de nova tecnologia no cenário indústria ocasionaram inúmeras mudanças para as organizações. Para se manterem competitivas, as organizações voltaram sua atenção para o investimento tecnológico, para gestão da qualidade, segurança e questões ambientais (MOYA, 2004)

A manutenção preditiva atualmente objetiva evitar danos no maquinário industrial a partir de técnicas que buscam monitorar a saúde e a condição dos ativos em tempo real. Esse processo protege as máquinas de quebras catastróficas e paradas inesperadas. As principais técnicas utilizadas são: análise de vibração; ultrassom; análise de óleo; termografia; análise de trincas. Os resultados demonstram impactos positivos como antecipar a necessidade de serviços de manutenção, diminuir as paradas forçadas, elevar a confiabilidade dos equipamentos, prolongando o tempo de vida útil dos equipamentos.

Para Sacomano (2018, P. 14): “As tecnologias digitais, como IoT, big data, analytics, cloud computing, robótica avançada e colaborativa, novos materiais (como fibras de carbono e grafeno), manufatura aditiva e híbrida, realidade aumentada e realidade virtual, o ciberespaço, sensores em rede, entre outras, combinadas com a automação industrial, conectando mundo real e virtual, proporcionam a melhoria da produtividade pela otimização de processos e novos modelos de negócios”.

2.4 Sensores inteligentes

São dispositivos com capacidade de captar entrada de dados referente a algum parâmetro físico presente no mesmo ambiente, por meio de softwares, sendo os dados processados e transmitidos a um dispositivo em seguida. Esses sensores facilitam a assertividade da coleta de dados com uma leitura mais exata, pois são dispositivos que processam de forma distribuída, coleta de parâmetros distintos feita paralelamente, proteção à ruídos que eventualmente possa aparecer nos dados a serem coletados.

Atualmente, a indústria é atraída pelos sensores sem fio pois gera redução de custos, otimização do gerenciamento de energia, facilidade do processo de manutenção, fácil implantação em áreas distantes e de difícil acesso. Eles obtiveram sucesso quando introduzidos em processos industriais como manutenção, monitoramento, controle e segurança (MARTINS; FABRO, 2019).

Com o desenvolvimento dessa tecnologia, o sistema de monitoramento toma forma de um sistema aberto, incluindo monitoramento de condição e tomada de decisão.

2.5 Monitoramento de Temperatura

O controle de temperatura é uma das técnicas mais consideráveis do processo industrial pois monitorar a temperatura nos níveis adequados pode evitar o superaquecimento das máquinas e manter seu funcionamento eficiente, como também sua confiabilidade. Tem a vantagem de permitir o uso de peças e componentes até o ponto em que não geram riscos de paradas não programadas, protegendo as máquina e equipamentos contra corrosão e ferrugem, evitando a oxidação em dispositivos elétricos e eletrônicos, preservar a qualidade dos produtos, aumentando a lucratividade dos negócios, a redução do custo do ciclo de vida, o prolongamento da vida útil do ativo.

3 Metodologia

A metodologia utilizada nesse trabalho foi o método estudo de caso. Este se baseia em avaliar um fenômeno ou grupos dentro do mesmo, intencionando analisar o cenário e etapas presentes no objeto de estudo, aprofundando o conhecimento sobre o tema e, dessa forma, abrir espaço para hipóteses e futuras pesquisas (MIGUEL, 2009). O objeto de estudo desse trabalho foi um sistema IoT de baixo custo para monitorar parâmetros de temperatura. A escolha se deu com base nas pesquisas feitas e descritas ao longo do referencial teórico, tópico 2 do trabalho.

4 Materiais

4.1 Sensor

O sensor termopar tipo K e um módulo de leitura MAX6675 foram utilizados para medição da temperatura. Sendo um sistema composto por dois fios de materiais metálicos diferentes, unidos mutuamente nas extremidades, integrados e conectados a um dispositivo com capacidade de leitura de termopares. Esse dispositivo funciona de modo que quando os fios são conectados um ao outro e há um aumento de temperatura nas extremidades, gerando uma capacidade de fluidez de corrente contínua. O mecanismo da tensão Seebeck é responsável por gerar uma diferença de potencial entre as junções envolvidas e continuar o processo, caso a corrente contínua seja perdida. O termopar utilizado no presente estudo tem capacidade de realizar medições entre 0°C a 800°C sob uma tensão de trabalho entre 3,3 a 5V.

A medição das altas temperaturas é possível por meio da blindagem que a sonda possui em sua ponta, sendo envolvida por inteiro em aço inox, contendo uma rosca do tipo M8 para fixação nos mais diversos locais. Podendo ser utilizado em aplicações industriais, em aparelhos eletrônicos ou em projetos pessoais.

Figura 2: termopar tipo K e módulo de leitura MAX6675



Fonte: Site da Recicomp, 2022.

4.2 Módulo Wi-Fi ESP8266 NodeMcu ESP-12

O módulo ESP8266 é um dispositivo que tem a placa composta por um chip ESP32 com combinação de Wi-Fi e Bluetooth, uma interface usb-serial e regulador de tensão 3.3V e funciona de acordo com a programação, que pode ser feita em LUA ou por IDE do Arduino. A sua composição permite que atue em alto desempenho para projetos envolvendo Wi-Fi enquanto consome baixa energia.

Wi-Fi NodeMcu ESP-12E é uma placa de desenvolvimento que combina o chip ESP8266 (ESP-12E), que é um SoC (System-on-a-Chip ou Sistema-em-um-Chip) com a pilha do protocolo TCP/IP integrada, que permite se implementar o acesso a rede Wi-Fi com qualquer microcontrolador, inclusive da linha Arduino, pois possui uma interface usb-serial, onde a programação pode ser feita usando LUA ou a própria IDE do Arduino, utilizando da comunicação via cabo Micro-USB conectado diretamente no computador.

O módulo Wi-Fi ESP8266 NodeMcu ESP-12E possui internamente um microcontrolador de 32bits, rodando a 80MHz e memória para cache, melhorando a performance dos sistemas/circuitos minimizando a necessidade de grande quantidade de memória dos microcontroladores. O módulo possui também Wi-Fi front-end total, como uma pilha completa de TCP/IP com o DNS.

Figura 3: Módulo Wi-Fi ESP8266 NodeMcu ESP-12

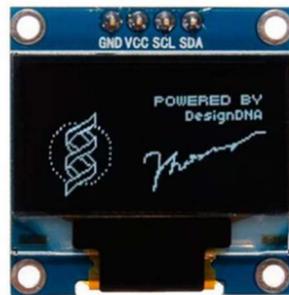


Fonte: Site da Recicomp, 2022.

4.3 Display OLED 0.96" 128x64 I2C

Dispositivo capaz de proporcionar conexão entre o microcontrolador e o display a partir dos pinos SDA e SCL, proporcionando maior aproveitamento das outras portas que ficarão livres. Opera funcionalmente na tensão de 5V. Composto por um adaptador display I2C integrado, potenciômetro para ajuste do contraste e pinos SDA, SCL, Vcc e GND. Tendo funcionalidade em projetos com Arduino ou plataformas microcontroladas onde se é necessário exibir informações em tempo real, como temperatura, umidade, valor de tensão ou corrente, mensagens de erro.

Figura 4: Display OLED 0.96" 128x64 I2C



Fonte: Site da Recicomp, 2022.

4.4 Bateria Portátil Externa Power Bank 2200mAh CB097

O power bank é o tipo de carregador portátil, sendo um dos mais conhecidos com capacidade de carregamento total uma ou mais vezes o seu dispositivo. A bateria portátil Power Bank de 2200mAh CB097 é uma bateria externa com tamanho compacto, tornando-se fácil de ser transportada, criada com a finalidade de fornecer energia a alguns aparelhos como o smartphone, tablet, Mp3, Mp4, PSP. Possuindo uma bateria de alto desempenho, de polímero de lítio que torna a power bank mais compacta, com uma saída USB de 1A, o que significa que ele é capaz de carregar um dispositivo até o limite da carga existente.

Figura 5: Bateria Portátil Externa Power Bank 2200mAh CB097

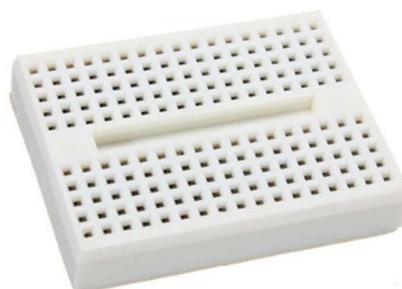


Fonte: Site da Multilaser, 2022.

4.5 Mini Protoboard 170 Pontos

Protoboard é uma excelente ferramenta para a montagem de circuitos eletrônicos, resistente e possui um adesivo na parte posterior. Sendo uma maneira rápida, fácil e limpa que permite montar protótipos de projetos repetidas vezes, muito usada em projetos que demandem poucas conexões na protoboard, como em experiências simples em conjunto Arduino, ESP e Raspberry PI, possui 170 pontos, tendo um pequeno formato que o torna muito flexível em projetos.

Figura 6: Mini protoboard



Fonte: Site da Recicomp, 2022

4.6 Chave Gangorra KCD1-101 L/D 2 Terminais

Figura 7: Chave Gangorra



Fonte: Site da Recicomp, 2022

A chave gangorra KCD1-101 possui 2 posições (liga/desliga) e 2 terminais. Atrvés dela é possível controlar o fluxo de corrente elétrica possibilitando ou não a passagem; ligando ou desligando cargas e circuitos elétricos. Essa chave possui simbolos no botão que indicam a posição de ligado ou desligado.

5 Desenvolvimento do projeto

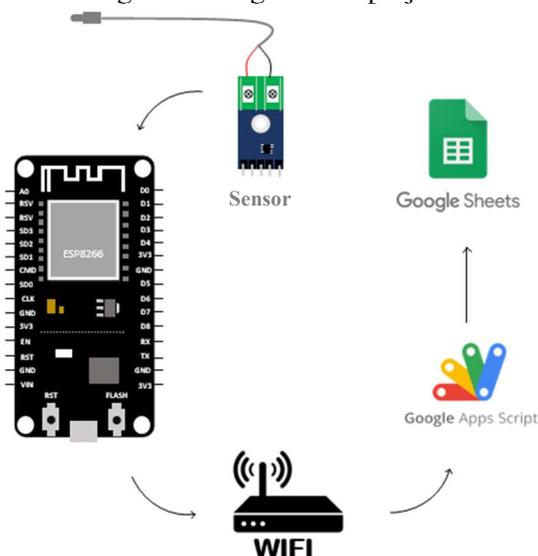
O sistema IoT proposto foi desenvolvido com foco na leitura e análise de dados, na qual é possível se antecipar e tomar medidas preventivas. Sua elaboração foi dividida em três etapas.

- Modelagem do sistema;
- Montagem do dispositivo;
- Programação do sistema.

5.1 Modelagem do sistema

Os dados do sensor serão enviados pelo módulo ESP8266 via Wi-Fi utilizando o Google Apps Script para configurar o Google Sheets para aceitar os dados. O Google Sheets, que é um recurso gratuito do google, funcionará como plataforma onde é possível visualizar os dados de temperatura, assim como a data e hora da leitura. É possível também estabelecer notificações para limites máximos e mínimos de temperatura, salvar relatórios diários e visualizar os gráficos gerados a partir dos dados coletados.

Figura 8: Diagrama do projeto

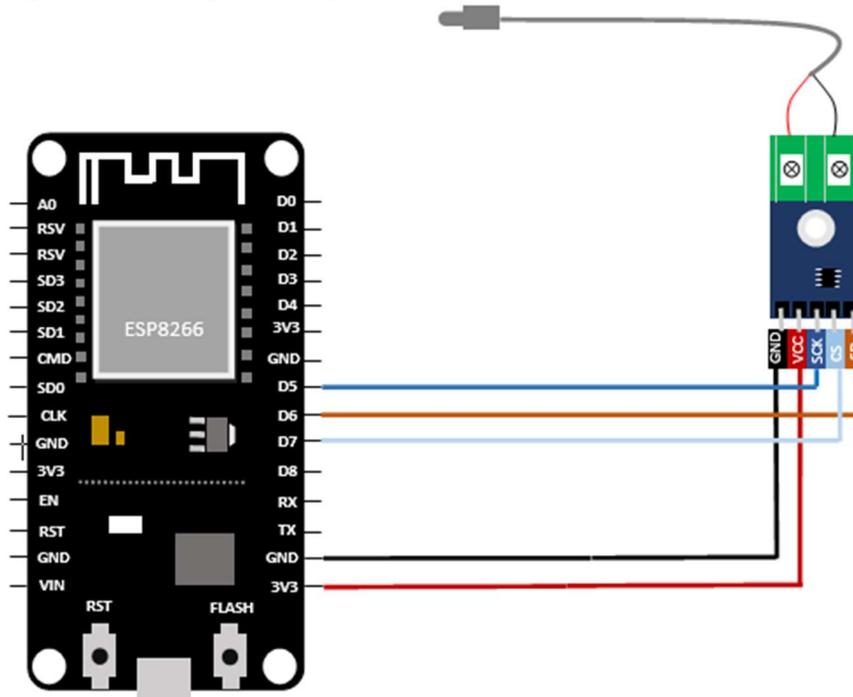


Fonte: elaborado pelo autor.

5.2 Montagem do dispositivo

Para coletar as informações do sensor de temperatura, o pino SCK, CS & SO da placa MAX6675 é conectado a D5, D7 e D6 da placa NodeMcu. O MAX6675 opera entre 3,3 V e 5 V. Desta forma, o pino VCC foi conectado ao 3,3 V e o GND ao GND. O circuito montado é demonstrado no esquema da figura 9 abaixo.

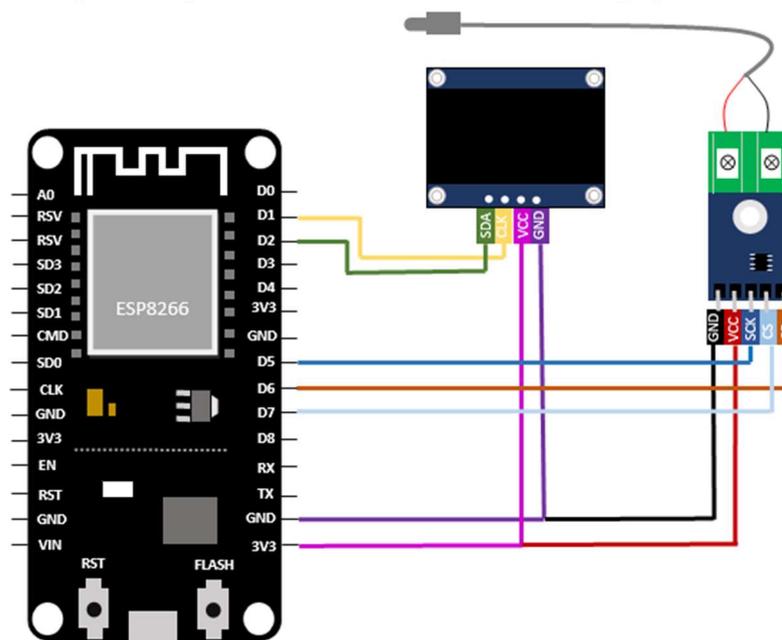
Figura 9: Modelagem da ligação do sensor MAX6675 com o Node MCU



Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados de temperatura serão visualizados em tempo real através de um display OLED de 0,96". Para esse fim os pinos SDA e SCL do display foram conectados ao D2 e D1 do NodeMCU. O Display OLED, assim como o MAX6675, opera entre 3,3 V e 5 V. Portanto, o pino VCC também foi conectado ao 3,3 V e o GND ao GND.

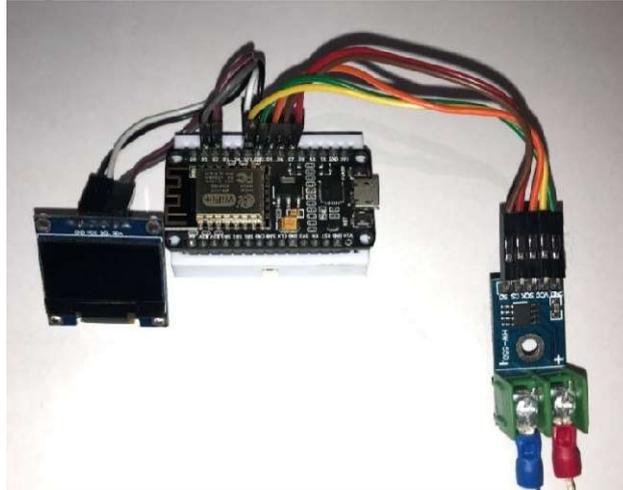
Figura 10: Modelagem da ligação do sensor MAX6675 e DO display OLED com o Node MCU



Fonte: elaborado pelo autor.

Após a modelagem, para conectar os pinos do MAX6675 ao display OLED foi utilizado uma mini protoboard de 170 pinos.

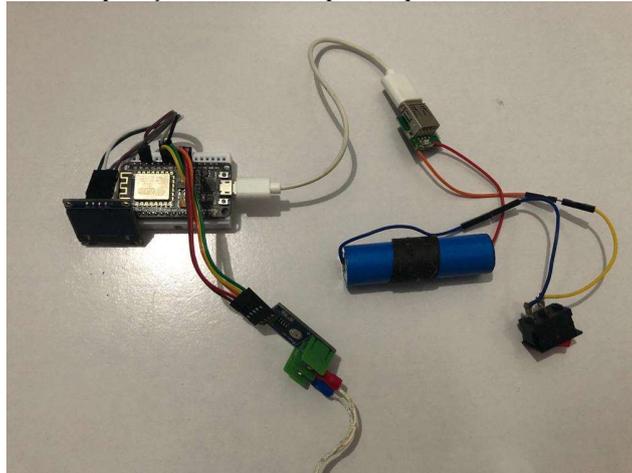
Figura 11: Protótipo do sensor MAX6675 e DO display OLED com o Node MCU



Fonte: elaborado pelo autor.

Para assegurar uma certa autonomia do sistema, uma bateria foi integrada ao sistema como fonte de alimentação e um botão de liga e desliga para manter o sistema funcionando apenas quando acionado.

Figura 12: Composição interna do protótipo do sensor de temperatura



Fonte: elaborada pelo autor.

5.3 Programação do sistema

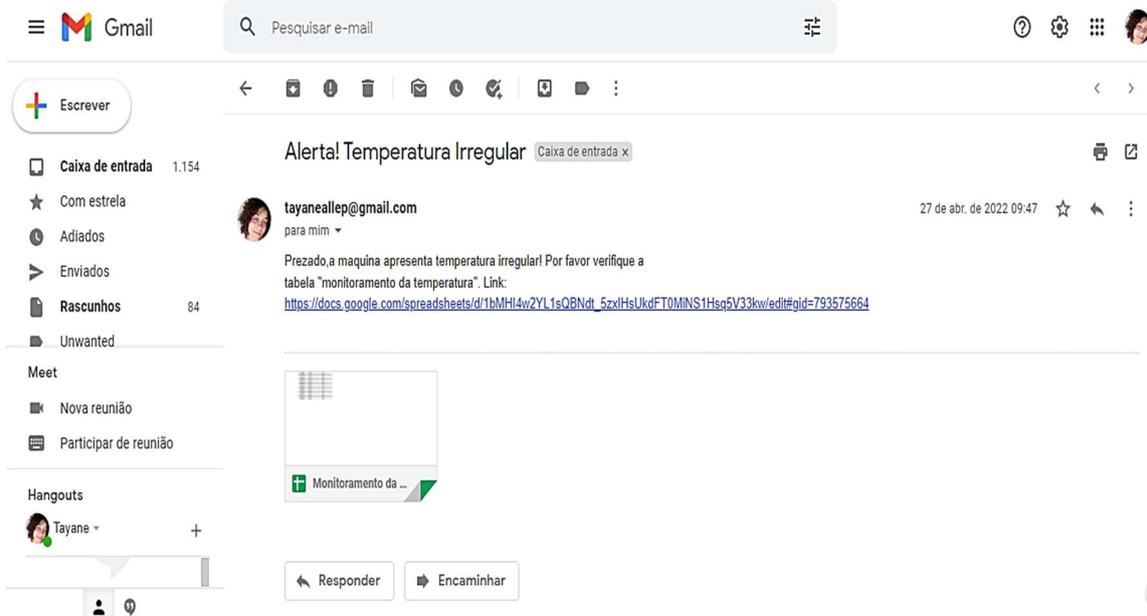
A plataforma escolhida para a análise e banco de dados foi o Google Sheets que é uma ferramenta de fácil operação. Essa ferramenta foi projetada para atender os interesses das organizações, dessa forma, dispõe de planilhas colaborativas, onde se pode criar, editar e compartilhar dados com mais agilidade e segurança. As planilhas do google aceitam até 10 milhões de células ou 18.278 colunas. Para acessar o Google Sheets é necessário ter ou criar um cadastro no google. Após o cadastro foi criada uma tabela e através do Apps Script foi possível automatizá-la para receber os dados do NodeMcu. O Google Apps Script é uma plataforma que utiliza a linguagem de programação JavaScript baseada em nuvem onde é possível a integração e automatização de tarefas de produtos do Google. A programação foi realizada para que a planilha mostrasse os dados de temperatura, data e horário da leitura. A planilha também foi configurada para mandar um alerta via e-mail caso a temperatura estabelecida como limite fosse ultrapassada, para salvar o relatório diário em pdf no google Drive e reiniciar a planilha após o relatório ser enviado. A programação do Node Mcu foi realizada no software Arduino (IDE), uma plataforma gratuita, de fácil usabilidade e que possui biblioteca, a qual facilita as programações.

6 Resultados e Discussão

Após o desenvolvimento e programação do protótipo, os testes foram realizados e levaram ao resultado esperado, obtendo um sistema de monitoramento da temperatura em tempo real. Dessa forma, o sistema pode agir de forma complementar a manutenção preditiva em conjunto com outros tipos de sensores.

Os alertas são enviados, assim que a temperatura atinge o limite estabelecido, automaticamente para o email cadastrado.

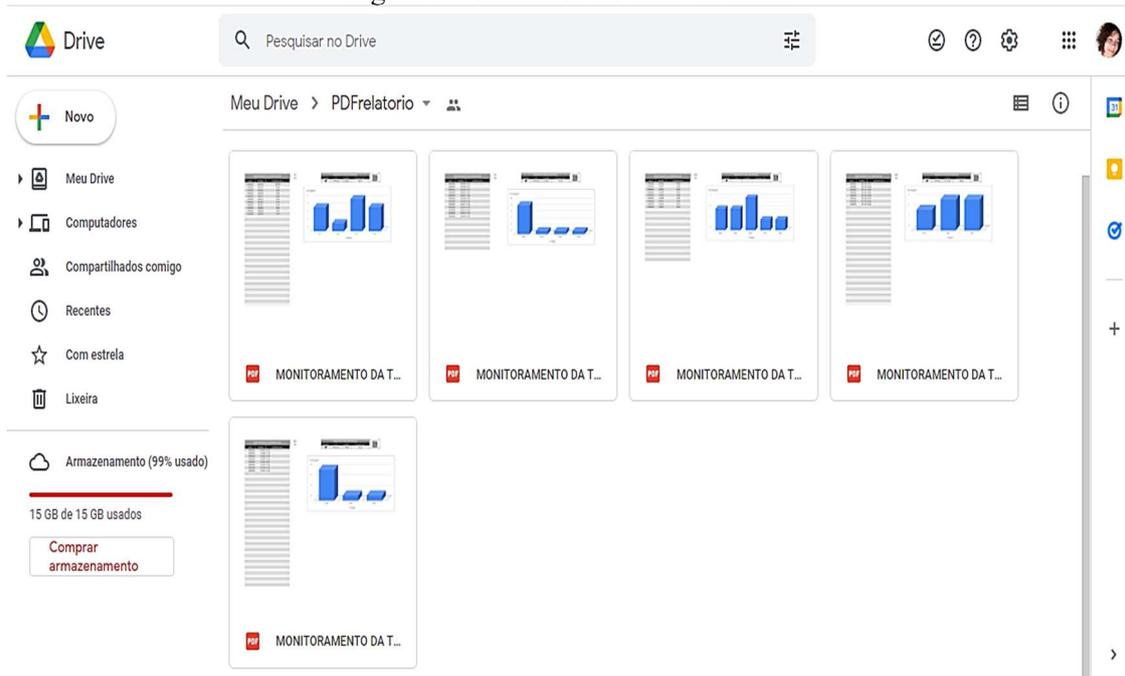
Figura 13: Alerta enviado ao email



Fonte: elaborada pelo autor.

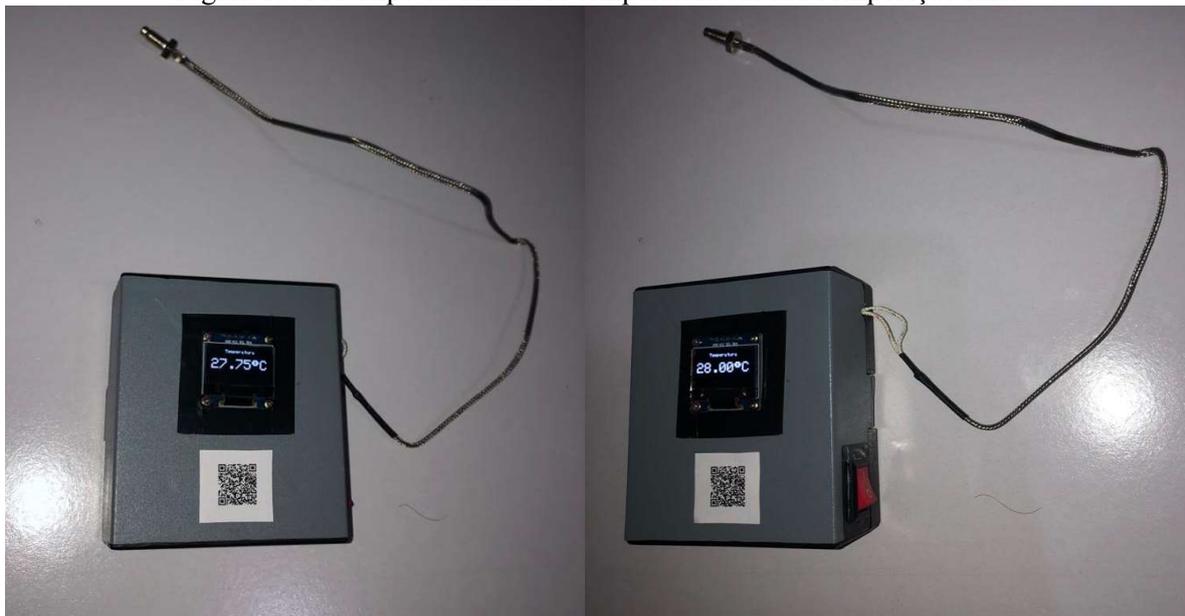
O relatório diário também é enviado e salvo de forma automática no google Drive em formato PDF, assim que uma célula estabelecida da planilha é preenchida.

Figura 14: Relatório enviado ao email



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 15: Protótipo do sensor de temperatura em sua composição final.



Fonte: elaborada pelo autor.

7 Considerações Finais

A utilização de um dispositivo IoT de baixo custo para monitoramento de temperatura como complemento à manutenção preditiva pode se tornar essencial para evitar variáveis indesejadas como baixas na confiabilidade e disponibilidade de uma máquina, além de custos referente a manutenções dispensáveis. Em virtude dos fatos mencionados, observa-se que os objetivos da pesquisa foram alcançados e um dispositivo de monitoramento de temperatura foi desenvolvido. A metodologia e materiais utilizados foram suficientes para alcançar os objetivos. A pesquisa teve como limitação a falta de testes em maquinário industrial e conclui-se que novos estudos com testes, experimentos e resultados estatísticos são necessários para interpretação de dados e futuras intervenções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, P. S. de. **Manutenção Mecânica Industrial - Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. São Paulo: Érica, 2014.
- BALDISSARELLI, L.; FABRO, E. Manutenção Preditiva na indústria 4.0. **Scientia Cum Industria**, Caxias do Sul, v. 7, n. 2, p. 12-22, 01 abr. 2019. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/index>. Acesso em: 28 nov. 2021.
- CARDOSO, D. E. R. **Aplicação de conceitos de manutenção preditiva com aplicação de ferramentas de Inteligência Artificial**. 2020. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2020.
- CRIATIVAS, DYNAMOX SOLUÇÕES. O que é e qual a importância do monitoramento contínuo de ativos. **Ind 4.0**, 18 dez. 2018. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/17425-o-que-e-e-qual-a-importancia-do-monitoramento-continuo-de-ativos>. Acesso em: 25 maio 2022.
- ÇINAR, Z. M. *et al.* Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4.0. **Sustainability**. Famagusta, p. 1-42. out. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>. Acesso em: 24 out. 2021.
- DILMEGANI, C. Predictive Maintenance: In-depth Guide. **AI Multiple**, [S.I.], 9 ago. 2017. Disponível em: <https://blog.aimultiple.com/predictive-maintenance/>. Acesso em: 22 out. 2021.

- ESPINDULA, L.G. **Manutenção preditiva e a indústria 4.0: um estudo de caso da implementação de um sistema de monitoramento on-line de ativos**. TCC (Graduação) - Curso Engenharia mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2021.
- FERNANDES, D. F. F. D. **Uma Abordagem para Manutenção Preditiva baseada em Sistemas Multiagente e Machine Learning**. 2020. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2020.
- GONÇALEZ, F. G. **Estudo do motor de indução trifásico e desenvolvimento de um dispositivo de proteção efetiva de motor e operando em condições anormais: rotor bloqueado e falta de fase**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- GONÇALVES, H. R. D. **Gestão Da Manutenção Na Indústria 4.0**. 2020. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, Portugal, 2020.
- GREGÓRIO, G. F. P.; SANTOS, D. F.; PRATA, A. B. **Engenharia de manutenção**. Grupo A, 2018. 9788595025493. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025493/>. Acesso em: 30 Nov 2021.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2009.
- LEE, J., BAGHERI, B., & KAO, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18–23, jan 2015. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>.
- MARTINS, F. J. *et al.* Uso do sensor inteligente na manutenção preditiva do motor de uma extrusora. **Scientia Cum Industria**, Caxias do Sul, v. 8, n. 2, p. 1-9, 31 mar. 2020. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/index;>. Acesso em: 28 nov. 2021.
- MAURA, S. Os caminhos para a transformação das empresas no futuro. **Ind 4.0**, 12 out. 2019. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/18906-industria-40-os-caminhospara-a-transformacao-das-empresas-para-o-futuro>. Acesso em: 26 nov. 2021
- MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, 2007, v. 17, n. 1. pp. 216-229. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132007000100015>. Acesso em: 28 maio 2022.
- MOTAGHARE, O.; PILLAI, A. S.; RAMACHANDRAN, K. I. **Predictive Maintenance Architecture, 2018. IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)**, Madurai, India, 2018, pp. 1-4.
- MOYA, M. C. C. The control of the setting up of a predictive maintenance programme using a system of indicators. **Omega: The International Journal of Management Science**, Volume 32, Issue 1, February 2004, pp. 57–75.
- PWC. Predictive Maintenance 4.0. In: **Predictive Maintenance 4.0 - Predict the unpredictable**. [S.I.], set. 2018. Disponível em: <https://www.pwc.be/en/news-publications/publications/2018/predictive-maintenance-4-0-beyond-the-hype.html>. Acesso em: 22 out. 2021.
- RIGHETTO, S. B. **Manutenção Preditiva 4.0: Conceito, Arquitetura e Estratégias de Implementação**. 2020. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- SACOMANO, J. B.; GONÇALVES, R. F.; BONILLA, S. H. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. Editora Blu-cher, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521213710/>. Acesso em: 25 nov. 2021.

SELEME, R. **Manutenção industrial**: mantendo a fábrica em funcionamento. Curitiba: Intersaberes, 2015. 148 p. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/37148/epub/0>. Acesso em: 30 nov. 2021.

SOFFER, A. How the Precision of Process-Based Machine Learning Solves Manufacturing Disruptions. In: Industry 4.0 **Insights**, 17 dez. 2018. Disponível em: <https://blog.seebo.com/process-based-machine-learning/> Acesso em: 30 nov. 2021.