

IOT E COMPUTAÇÃO NA NUVEM: O APROVEITAMENTO DE SISTEMAS LEGADOS PARA INDÚSTRIA 4.0

IOT AND CLOUD COMPUTING: THE USE OF LEGACY SYSTEMS FOR INDUSTRY 4.0

IOT Y LA COMPUTACIÓN EN LA NUBE: APROVECHANDO SISTEMAS HEREDADOS PARA INDUSTRIA 4.0

Fabio Batista da Cruz¹
Marcio Nassif Maluf²
Ederson Cichaczewski³

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto com aplicação na Indústria 4.0. Foram selecionados dois dos principais motores dessa tecnologia: os famosos IOT e Cloud Computing, traduzidos como Internet das Coisas e Computação na Nuvem. Foi desenvolvida uma aplicação com essas tecnologias em sistemas legados, sem alteração de hardware, com adoção de um gateway de software. O protocolo MQTT também foi explorado neste trabalho; ele conta com apenas 17 bytes de mensagem padrão, baixo consumo de energia, baixa largura de banda, alta latência de rede e pouco poder de processamento e memória. Envia dados de qualquer lugar com segurança de certificados TLS de última geração e serviços de QoS para a Cloud. A aplicação consiste em uma caldeira que alimenta as linhas de vapor de uma fábrica e foi implementado o monitoramento dos dados de temperatura, pressão e consumo da caldeira via Internet, por meio de um dashboard.

Palavras-chave: indústria 4.0; IOT; computação em nuvem.

Abstract

This work presents the development of a project with application in Industry 4.0. Two of the main engines of this technology were selected: the famous IoT and Cloud Computing, translated as the Internet of things and Cloud Computing. An application with these technologies was developed in legacy systems, without changing the hardware, with the adoption of a software gateway. The MQTT protocol was also explored in this work; it has only 17 bytes of standard message, low power consumption, low bandwidth, high network latency, and little processing power and memory. It sends data from anywhere with the security of next-generation TLS certificates and QoS services for the Cloud. The application consists of a boiler that feeds the steam lines of a factory and monitoring of boiler temperature, pressure, and consumption data via the Internet was implemented, through a dashboard.

Keywords: industry 4.0; IoT; cloud computing.

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de un proyecto con aplicación en la Industria 4.0. Para ello, se seleccionaron dos de los principales motores de esa tecnología: los famosos IOT y el Cloud Computing, traducidos como el Internet de las Cosas y la Computación en la Nube. Se desarrolló una aplicación de esas tecnologías en sistemas heredados, sin alteración de hardware, con la adopción de un gateway de software. El protocolo MQTT también fue explorado en este trabajo; cuenta con solo 17 bytes de mensajes cortos, bajo consumo de energía, bajo ancho de banda, alta latencia de red y bajo poder de procesamiento y memoria. Envía datos de cualquier lugar con la seguridad de certificados TLS de última generación y servicios de QoS para la nube. La aplicación consiste en una caldera que alimenta las líneas de vapor de una fábrica y se implantó el monitoreo de los datos de temperatura, presión y consumo de la caldera vía Internet, por medio de un dashboard.

¹ Graduado em Engenharia de Computação na UNINTER. E-mail: fabio.otimize@gmail.com.

² Professor orientador, Mestre em Engenharia Elétrica. E-mail: marcionmaluf@gmail.com.

³ Professor de Engenharia de Computação da UNINTER. E-mail: ederson.c@uninter.com.

Palabras-clave: indústria 4.0; IOT; la computación en la nube.

1 Introdução

A indústria 4.0 veio para revolucionar a relação entre trabalho e consumo. Ela não vai apenas automatizar processos, mas todos os processos da cadeia de valor das indústrias, impactando em toda a sociedade.

Entre as tecnologias mais difundidas citam-se a Internet das Coisas (IOT), sistemas ciberfísicos (CPS), comunicação máquina-a-máquina (M2M), computação em nuvem e Big Data. Nesse universo — e na era chamada dos *Analytics* —, a atenção está voltada para os dados coletados do chão de fábrica, pois a partir deles é possível gerar informações estratégicas para as indústrias, resultando em redução de custo e melhor aproveitamento dos recursos e insumos e em gestão inteligente dos ativos industriais (GRUSCHKA; LÜSSEM, 2016).

Coletar dados é de importância central na Indústria 4.0. O aproveitamento das arquiteturas de automação existentes é fundamental para viabilização da indústria 4.0 no Brasil, vistas as limitações de recursos, os custos elevados para aquisição e implantação de equipamentos de tecnologia.

Este trabalho tem o objetivo de demonstrar o uso das tecnologias da Indústria 4.0, utilizando as tecnologias IOT e *Cloud Computing*. Também serão utilizados módulos de hardware industriais conectados a sistemas computacionais via Internet, para a coleta de dados e visualização das informações de temperatura, pressão e consumo de uma caldeira.

2 Fundamentação teórica

2.1 Indústria 4.0

A quarta revolução industrial, também chamada de indústria 4.0, foi apresentada pela primeira vez na feira de automação em Hannover, na Alemanha, em 2011. Um grupo de trabalho envolvendo empresas alemãs e o governo alemão, propôs os princípios essenciais do projeto. São eles (FIA, 2021):

- Operação em tempo real: Coleta e análises instantâneas de dados para tomadas de decisões.
- Virtualização: Cópias virtuais das fabricas também chamadas de Gêmeos Digitais, para simulações, rastreamento e monitoramento dos processos.
- Orientação a serviços: Arquiteturas de softwares voltadas a soluções e podendo ser consumidas sob demanda, também conhecidas por SaaS.

- Descentralização: A tomada de decisão partindo das máquinas que aprendem e se comunicam umas com as outras, conhecida por M2M e Deep Learning.
- Modularidade: Possibilidade de produção sob demanda, permitindo a entrada e saída de módulos do sistema de produção para otimizar o uso de recursos.
- Interoperabilidade: Comunicação constante entre máquinas, dispositivos e sistemas.

Kagermann; Wahlster e Helbig (2013) definem a indústria 4.0 como resultado de avanços tecnológicos possibilitados pela Internet e novas tecnologias sociais, que buscam integrar pessoas, objetos, máquinas e processos.

Lee, Kao e Yang (2014) definem que o foco da indústria 4.0 é a personalização em massa e o custo mínimo do processo produtivo.

Na busca dos princípios essenciais da indústria 4.0, existem algumas tecnologias habilitadoras que, em conjunto, capacitam a indústria para o conceito da quarta revolução industrial. As principais ferramentas são (RIGOTTI, 2021):

- Internet Industrial das Coisas: responsável por conectar o mundo físico ao mundo digital; através dela são geradas as informações para que o *Big Data* possa realizar suas análises com grande volume de informações; suas principais funções são a automação, o acesso remoto e as informações em tempo real.
- Computação em Nuvem: é uma solução de infraestrutura de TI, possibilitando mobilidade, escalabilidade e segurança aos processos, pois utiliza servidores virtuais, que permitem a conectividade e o acesso de qualquer lugar do mundo.
- Sistemas Ciberfísicos e Gêmeos Digitais: trata da fusão entre o mundo físico e digital; de todos os processos, máquinas e ações da planta industrial deve ser criado o seu irmão gêmeo digital. Isso proporciona a implementação de protótipos análogos aos físicos por meio de simulação, com um custo mais acessível e possibilitando a integração de equipes em vários locais do mundo ao mesmo tempo.
- Impressão 3D: também conhecida como manufatura aditiva; se dá por meio de fabricação de objetos com adição de materiais e não pela subtração, como a manufatura tradicional, que gera mais resíduos.
- Segurança Cibernética: como a indústria 4.0, baseia-se em uma plataforma hiperconectada à segurança da informação; é um ponto chave e até uma barreira para aceitação da tecnologia 4.0.
- Big Data e Analytics: com grande volume de dados sendo gerados em tempo real por todos os dispositivos conectados e tendo que servir como base de informação para várias

ferramentas da indústria 4.0, novos formatos de bancos não relacionais e para dados estruturados e não estruturados estão sendo criados para viabilizar os processos da quarta revolução industrial.

A adoção de um conjunto dessas tecnologias possibilitará ganhos significativos em produtividade, qualidade, sustentabilidade, além da redução do custo de operação e manutenção das empresas. Com isso podemos afirmar que, se realizada uma análise baseada em Custo Total de Operação, uma fábrica com as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 pode produzir itens de maior qualidade a custos reduzidos, quando comparada com uma que não adota tais tecnologias (RIGOTTI, 2021).

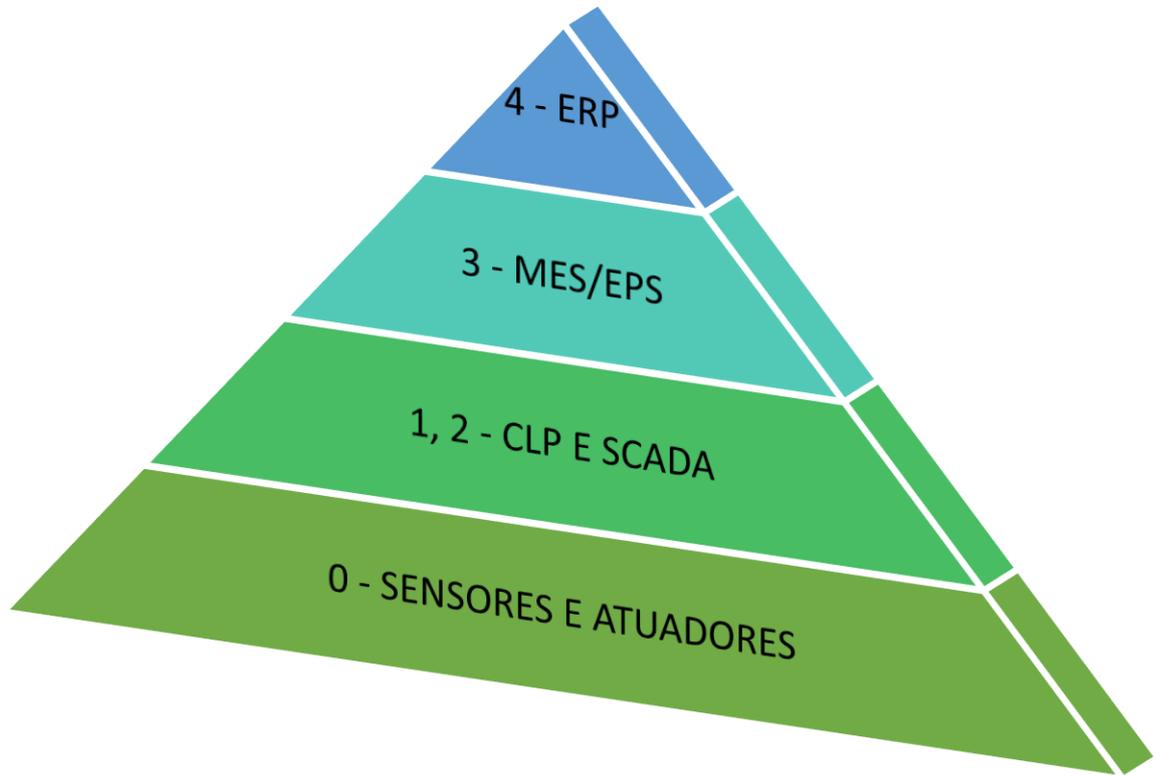
Os impactos da Indústria 4.0 sobre a produtividade, com redução de custos, controle sobre os processos produtivos e customização da produção apontam para uma transformação profunda. Segundo levantamento da ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial), a estimativa anual de redução de custos industriais no Brasil, com a migração para esse novo modelo, será de ao menos R\$73 bilhões ao ano (SIEMENS, 2021).

2.2 Sistemas legados

Sistemas legados são ferramentas computacionais que, mesmo trabalhando com tecnologias obsoletas, de hardware e software, fornecem serviços importantes para o ecossistema de tecnologia de uma organização. São ferramentas vitais, cuja substituição muitas vezes é inviável, em paralelo com a inserção de novos sistemas, com novas tecnologias.

Os sistemas legados da indústria até o nível de TA (Tecnologia da Automação) partem de 3 níveis que, antes do conceito da indústria 4.0, norteavam os analistas e arquitetos de sistemas para a indústrias de manufatura e processos. O padrão ISA-95 classifica os sistemas em 5 níveis, conforme a Figura 1.

Figura 1: Pirâmide da automação.



Fonte: O autor. Adaptado de www.isa.org.

Como se vê na Figura 1, existem 5 níveis. Isso porque o nível ERP é totalmente tratado dentro da área de Tecnologia da Informação (TI); o nível MES/EPS é a interface dos mundos informação e automação, conforme a descrição abaixo (GIACOMIN, 2017):

- **Nível 0:** sensores e atuadores. Esse nível concentra os motores elétricos, válvulas e sensores, em circuitos elétricos de controle, ou equipamentos eletrônicos dedicados, que não utilizam nenhum tipo de interface para controle.
- **Níveis 1 e 2:** CLP (Controlador Lógico Programável) e SCADA (Supervisão Controle e Aquisição de Dados). Esse nível apresenta um controle de processo ou de máquina customizado por integradores de sistemas de automação; permite alteração do seu funcionamento lógico e tem um sistema de interface com usuário que permite o controle dos dispositivos do nível 0, como ligar e desligar um motor, e a aquisição de dados de sensores em tempo real, possibilitando o arquivamento em banco de dados relacionais e geração de relatórios, todos voltados para o nível operacional da planta industrial.
- **Nível 3:** MES/EPS (Sistema de Gerenciamento de Produção). Nele, toda a malha de sistemas do nível 2 está conectada e possibilita uma interface com ordens de produção, gerenciamento de matérias-primas e estoque. Busca fazer aquisição de dados

estratégicos como custos operacionais, entre outros KPIs específicos de cada processo; a ligação entre o mundo operacional com o mundo gerencial.

- Nível 4, ERP (Sistema de Gerenciamento da Empresa). Esse sistema é uma plataforma que possibilita a gestão de todas as áreas de uma organização em um único ecossistema. Engloba desde RH, contabilidade, financeiro, comercial, entre outras áreas de gestão, só fica limitado a não controlar processos operacionais da indústria. Esse ecossistema é todo gerido pela TI e não tem conexão com os profissionais de TA.

A maioria das automações das indústrias brasileiras se concentra no nível 0 e 1 da pirâmide, sempre levando em consideração que o nível 4 não tem conexão direta com a automação da indústria.

2.3 Aproveitamento dos sistemas legados

Toda alteração ou atualização de um sistema legado de automação industrial é complexa, pois envolve o controle da produção das indústrias, envolve matérias interdisciplinares, tais como mecânica, elétrica, eletrônica, processos de fabricação e softwares. Geralmente, em todo o ecossistema de automação, existem vários fabricantes de tecnologias proprietárias, de diversos países envolvidos no processo, e nem sempre existe documentação suficiente para que os integradores possam realizar as atualizações e alterações com domínio de todos os pontos afetados.

Constata-se um alto custo dessas operações para indústria. Fica clara a inviabilidade de chegar e adotar o conceito 4.0 substituindo toda a tecnologia existente por equipamentos que suportem a nova tecnologia.

A tecnologia 4.0 é disruptiva; simplesmente negligenciá-la provavelmente vai fadar o declínio da organização, pois em níveis de concorrências globais, não há espaço para altos custos, produção engessada e falta de gestão completa da organização.

Para aproveitar os sistemas legados, com as tecnologias de IOT e Computação na Nuvem, foi desenvolvido um *gateway* para coletar informações de sistemas legados e enviar para a *Cloud* nos protocolos usados pelos novos equipamentos IOT.

2.4 Gateway entre sistemas legados e computação na nuvem

Para viabilizar o acesso a tecnologias da indústria 4.0, é necessário integrar os sistemas legados com a computação na nuvem, respeitando seus paradigmas e protocolos de

comunicação, e com o menor custo possível. Entre os dados desejados estão os sensores — de temperatura, pressão —, informação dos ativos da planta industrial, dados da última manutenção, dados de consumo de energia, entre outros.

Nos sistemas legados em plataformas com CLP e SCADA, a grande maioria dessas informações estão disponíveis, não sendo necessária a substituição de sensores e atuadores “comuns” por equipamentos modernos com recursos de IOT incorporados, pois além do custo da aquisição desses dispositivos, a sua instalação mecânica requer ações invasivas e que necessitam de parada de máquina e processo por períodos consideráveis de tempo.

O tratamento de software é menos invasivo e de mais fácil aplicação, teste e comissionamento; se bem gerido não necessita parar a máquina e o processo; ainda, existe economia de aquisição e instalação de novos dispositivos.

Assim o desenvolvimento de uma ferramenta de *gateway*, que nada mais é que um tradutor capaz de conectar dois ou mais protocolos diferentes, faz com que os sistemas legados possam ser aproveitados na indústria 4.0.

3 Metodologia

A pesquisa para este estudo foi realizada por meio de análise bibliográfica, fazendo uso de fontes secundárias tais como livros, pesquisas na Internet e artigos. Baseou-se também no método empírico; portanto, nesta seção, serão apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento e implementação do projeto.

O foco da pesquisa é o funcionamento dos sistemas IOT, protocolos de comunicação e seus benefícios para aplicação da indústria 4.0; também estuda como aplicar um sistema IOT com um sistema legado.

O estudo foi feito em portais dos principais fabricantes de tecnologia para indústria, tais como *Siemens*, *Schneider* e *Rockwell*, assim como pelo contato com seus especialistas em IOT, por intermédio da empresa integradora de sistemas de automação *Otimize*. Foram realizados os seguintes estudos:

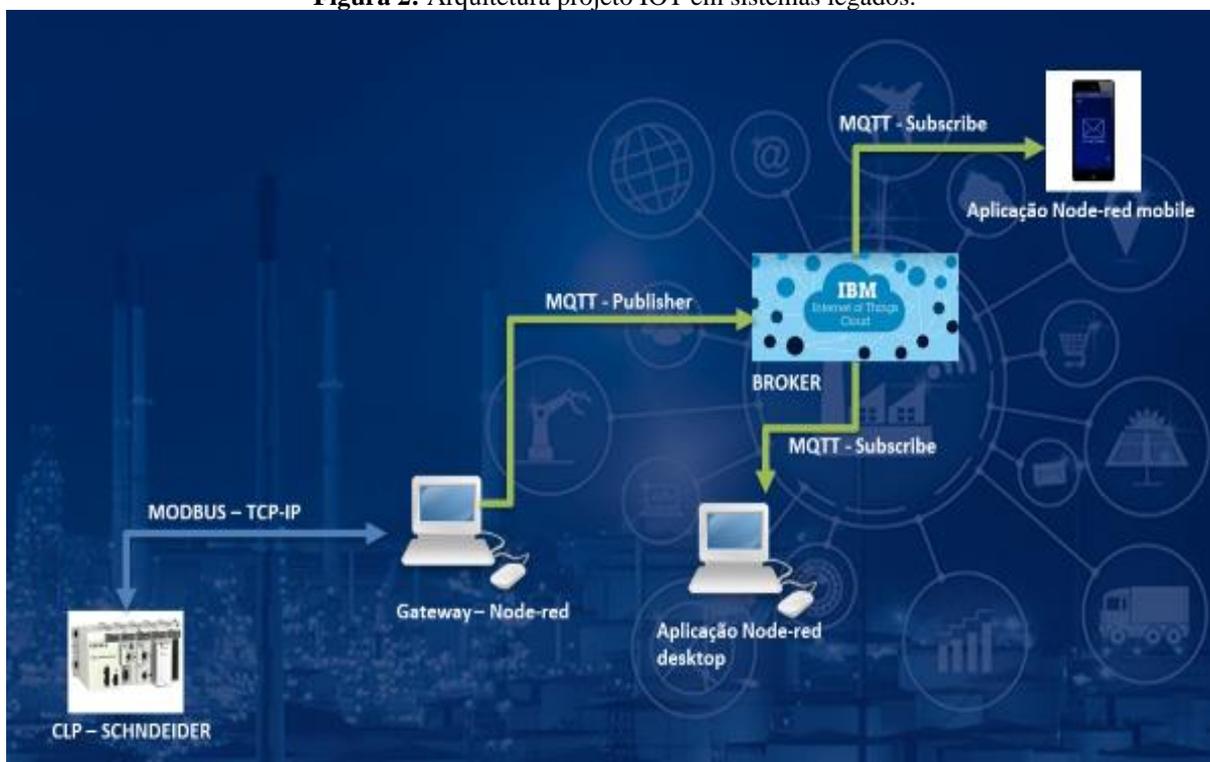
- Estudo sobre as arquiteturas e tecnologias propostas nos dispositivos IOT disponíveis no mercado.
- Estudo dos protocolos disponibilizados pelos equipamentos IOT.
- Estudo sobre o funcionamento de dispositivos IOT.
- Desenvolvimento de aplicação para tratamento dos dados de sistemas legados e disponibilização desses dados em nuvem no formato de IOT.

Para aplicação dos conceitos desta pesquisa foi utilizada uma arquitetura de automação até o nível 2 – CLP e SCADA. O CLP utilizado no projeto foi o modelo M221 da *Schneider*, que foi programado com a ferramenta *EcoStruxure Machine Expert – Basic*, para simular sinais do chão de fábrica.

Para o sistema SCADA foi utilizada a plataforma *Node-RED*, na qual foi desenvolvida uma aplicação para coleta dos dados gerados pelo CLP; a plataforma comunica com o CLP via o protocolo *Modbus -TCP-IP* sobre o meio físico *Ethernet*.

Para o sistema de IOT na nuvem foi utilizado o *Broker* da *IBM CLOUD*. A Figura 2 ilustra a arquitetura completa do sistema do projeto.

Figura 2: Arquitetura projeto IOT em sistemas legados.



Fonte: O autor.

3.1 Projeto de IOT em plataforma de sistema legado

Durante a pesquisa observou-se que os procedimentos para aquisição de dados de IOT são totalmente diferentes do conceito de aquisição e armazenamento de dados em tempo real, em arquiteturas cliente/servidor com *polls* periódicos para envio de dados em comunicação síncrona, pois para o IOT adota-se uma comunicação assíncrona baseada em eventos.

Um projeto de IOT envolve basicamente três elementos principais e indispensáveis para a aplicação, são eles:

- Sensor, equipamento de campo, a “coisa” propriamente dita, que terá os dados que gostaríamos de compartilhar e arquivar.
- *Broker*, que é o gerenciador e roteador de todas as mensagens.
- Aplicativo clientes, os assinantes das informações e dados fornecidos pelas “coisas”.

3.2 Protocolos de IOT

Os protocolos para IOT têm particularidades que devem ser observadas, tais como baixo consumo de energia, baixa largura de rede, alta latência de rede e pouco recurso de memória e processamento.

Para atender a esses requisitos foi escolhido o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), criado pela IBM, em meados de 1990. Um protocolo assíncrono, que roda sobre TCP/IP, baseado em *publish*, *topic*, *broker* e *subscribe*:

- *Publish* é o ato de enviar a mensagem baseado em evento; ou seja, toda a vez que a variável mudar de valor, o dado é enviado para um *broker*.
- *Broker* é o roteador das mensagens; ele faz o recebimento das mensagens de todos os equipamentos que estão publicando, e envia para os equipamentos que estão assinando o tópico.
- *Topic* é o assunto; faz parte do cabeçalho que os equipamentos enviam, e recebem os dados.
- *Subscribe* é o ato de assinar um tópico, para receber os dados do *broker*.

O MQTT é um protocolo aberto, criado pela IBM e hoje mantido pela Eclipse Foundation. Em 2014, foi aceito como padrão pela OASIS e, em 2016, pela ISO/IEC 20922:2016. O MQTT não é o único que se destaca nas aplicações de IOT; principalmente no IIOT (Internet das Coisas Industrial), onde rivaliza com OPC UA, que insere vários recursos ausentes no MQTT.

Com OPC UA é possível mapear todos os equipamentos na rede, gerenciar e definir os formatos para mensagens. Porém, o custo do OPC UA se deve ao fato de que sua mensagem padrão tem por volta de 600 bytes, e o MQTT 17 bytes, além de um consumo maior de processamento e banda de rede. Esses não são os únicos protocolos, existem vários outros, criados para aplicações específicas, ou não adotados em larga escala, tais como LoRaWAN, SigFox, Zigbee, etc.

3.3 Computação na nuvem e serviços de broker

Uma vez que os equipamentos de IOT enviam dados para um *broker*, é importante que esse esteja hospedado na nuvem, para que *subscribers* possam acessá-lo fora da intranet da empresa, provendo a mobilidade e acessibilidade que as aplicações da indústria 4.0 exigem.

Diante disso, inúmeras empresas de tecnologia disponibilizam serviços de *broker* na nuvem, os quais podem ser adicionados a outros serviços, como aplicações de IA. Entre os serviços de *broker* na nuvem, podemos citar AZURE (Microsoft), IBM Cloud, Google One, Amazon AWS e MindSphere (Siemens).

Um dos *brokers* mais utilizados em IOT é o Mosquitto. Para fazer uso dele na Internet, necessita-se de algumas configurações adicionais, de provedor de Internet, acesso e autenticação do servidor.

Para esta aplicação, optou-se pelo *broker* da IBM, por estar diretamente na nuvem e disponibilizar integrações com os serviços de IA, como o Watson, a IA da IBM.

3.4 Sistema IOT para monitoramento de caldeira

O sistema simula um caso comum em muitas plantas industriais: uma caldeira que alimenta as linhas de vapor da fábrica, que são utilizadas para as mais diversas aplicações, dentro do processo produtivo. Esse equipamento, classificado no setor de utilidades, tem um alto custo de consumo de insumos, para transformar energia primária em vapor; por outro lado, é um equipamento que não pode parar, sua vazão deve ser monitorada, para não haver desperdícios. É preciso também atentar sobre possíveis falhas nas tubulações de distribuição, que venham a comprometer seu funcionamento. Outro ponto importante, é a sua temperatura, que deve ficar em uma faixa de controle, para não comprometer a performance e a segurança do equipamento.

É possível identificar três *stakeholders*, que gostariam de monitorar essas variáveis em uma fábrica, em busca de informações estratégicas. O gerente de produção, pois não pode parar, e a temperatura pode comprometer a qualidade do processo. O gerente da manutenção, que precisa estar atento, pois seu dever é manter a caldeira funcionando, e em segurança. O responsável pelo setor de custos, que certamente tem na caldeira um bom valor do seu orçamento.

Uma solução de IOT pode enviar essas informações para a nuvem — onde todos os interessados possam acessá-las —, e criar métricas de consumo, performance e manutenção. Haveria um investimento em softwares para aplicar essa tecnologia. Ao adicionar sensores inteligentes, com funções de IOT, estima-se que o custo de aquisição e instalação desses

equipamentos seria em torno de 80% do custo do projeto, sem contar as paradas necessárias para implantação. Como a maioria das caldeiras já contam com um CLP, este foi transformado em um equipamento IOT.

Como provedor das informações, que devem ser publicadas — ou seja, o primeiro elemento —, foi utilizado um CLP modelo M221 da Schneider, sem recursos nativos de serviços de IOT. Ele envia informações para um sistema de *gateway*, desenvolvido em uma plataforma aberta, chamada Node-RED, através de um protocolo de comunicação, Modbus TCP/IP. O Node-RED envia as informações recebidas do CLP para a nuvem IBM CLOUD, que disponibiliza o serviço de *broker*, e vai receber as informações no protocolo MQTT, através do *publisher* feito pelo sistema de *gateway*.

Uma vez que as informações estão no *broker*, na nuvem desenvolvemos uma aplicação, também com a ferramenta Node-RED, para acesso via Android e navegador de Internet de computadores, sobre o uso do recurso *subscriber* do *broker*, que possibilita o acesso às informações do CLP, de qualquer lugar, com uma conexão à Internet.

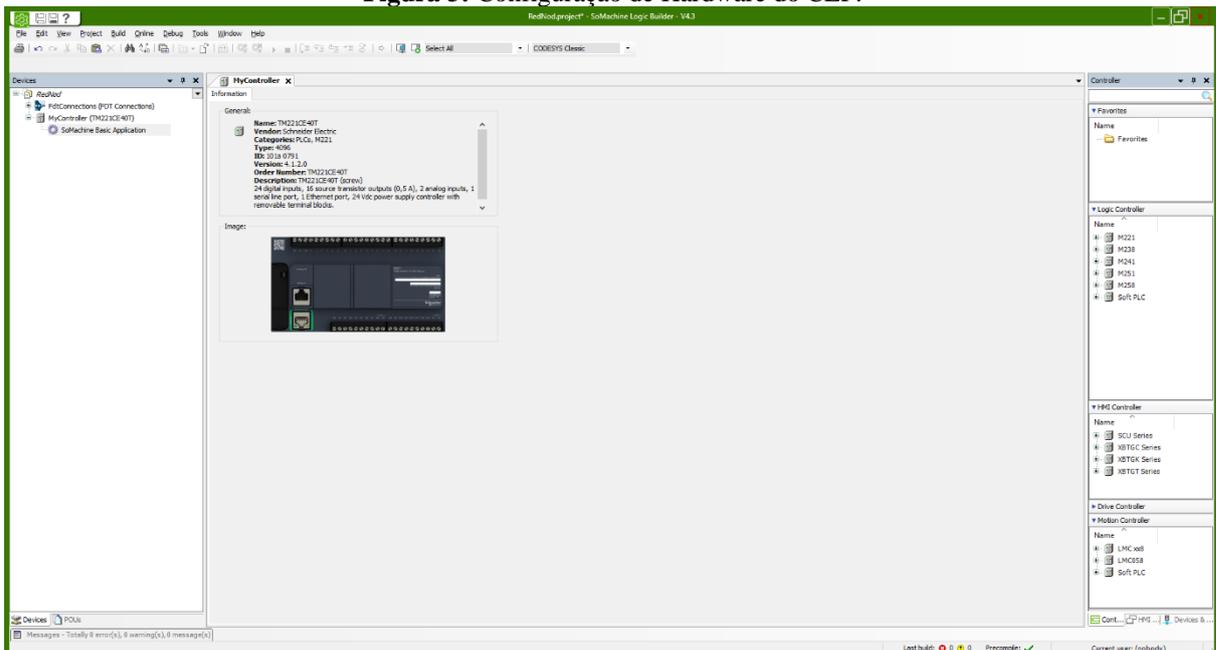
Sobre segurança, o protocolo MQTT tem suporte de TLS; sobre qualidade, tem recurso de QoS, tratando questões de qualidade e segurança da aplicação.

Todos os recursos utilizados foram ferramentas de código fonte aberto, ou ferramentas gratuitas.

Primeiro, criou-se a aplicação para o CLP, que simula dados de temperatura, pressão e consumo de um sistema de caldeira, que alimenta a linha de vapor de uma indústria. A Figura 3 demonstra a IDE de configuração do CLP, enquanto a Figura 4 apresenta a programação em Ladder para a simulação dos valores.

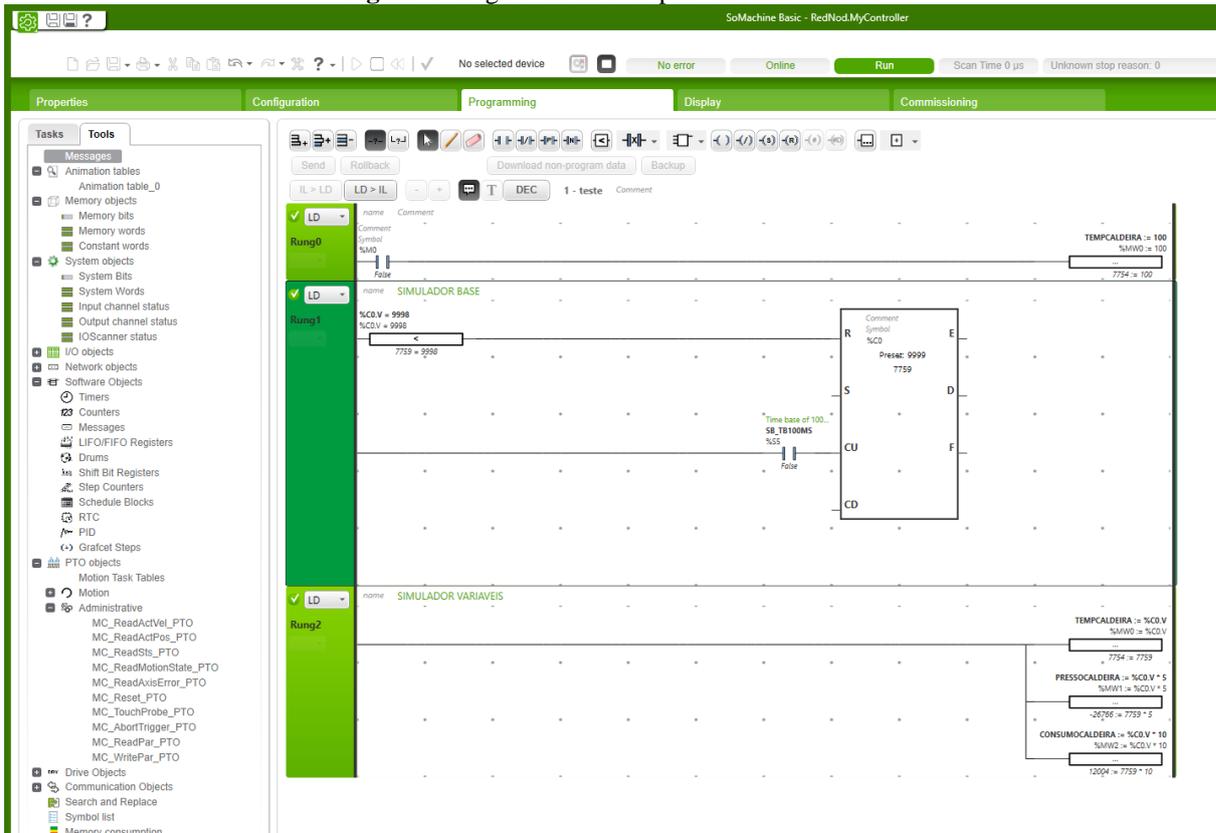
Tendo uma aplicação de CLP padrão, que é ponto base de um sistema legado, foi desenvolvida uma aplicação de *gateway*, para fazer o envio das informações até o *broker*, da IBM CLOUD.

Figura 3: Configuração de Hardware do CLP.



Fonte: O autor.

Figura 4: Lógica em Ladder para simular valores.

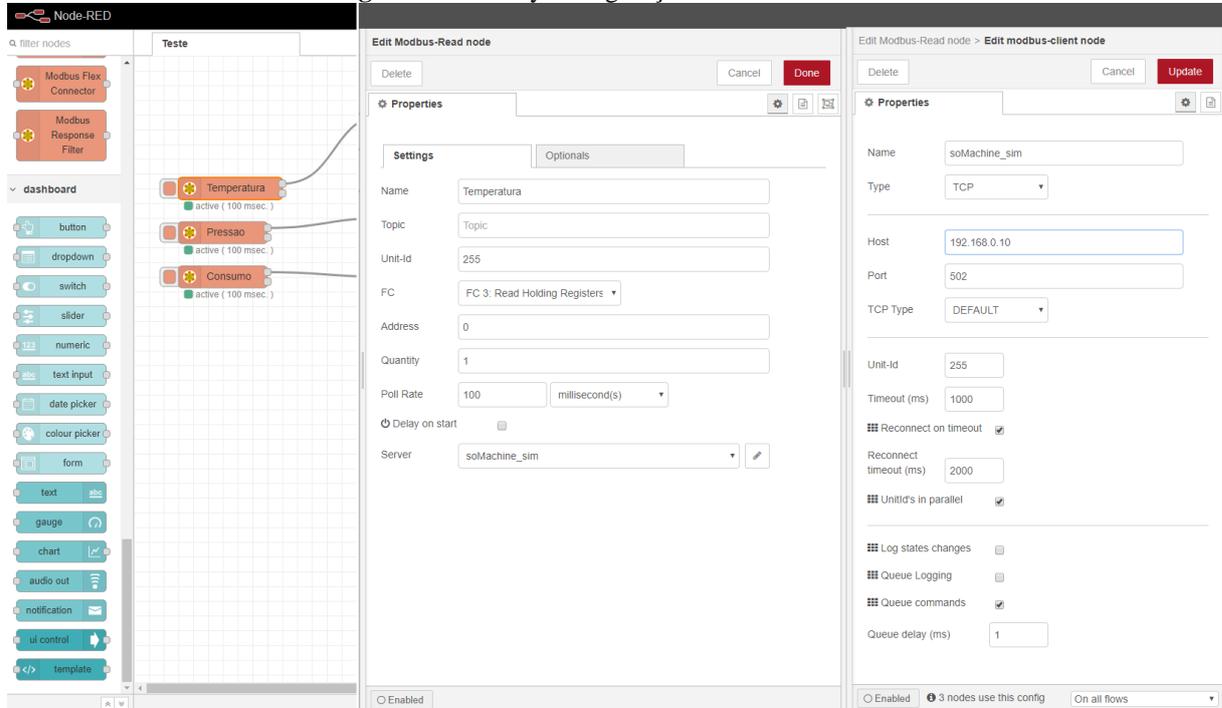


Fonte: O autor.

Após a instalação da ferramenta Node-Red, que funciona como um node.js, foi instalado um recurso para comunicar com o CLP, via protocolo MODBUS TCP/IP, e sobre o meio físico Ethernet. Com isso, foi possível acessar, em tempo real, os dados de temperatura, pressão e

consumo da caldeira. A Figura 5 demonstra a configuração da leitura de dados do CLP na IDE do Node-RED.

Figura 5: Gateway configuração leitura dados CLP.



Fonte: O autor.

Com o acesso dos dados de temperatura, pressão e vazão da caldeira, pelo *gateway*, foi criado o acesso ao *broker*, para enviar os dados até a IBM CLOUD.

Criado o acesso à IBM CLOUD, uma série de serviços são disponibilizados, todos na nuvem, com acesso de qualquer lugar, bastando uma conexão com Internet.

Feito isso, no serviço de *broker*, configura-se um dispositivo para monitoramento, bem como um acesso para gerar uma chave e senha do tipo API.

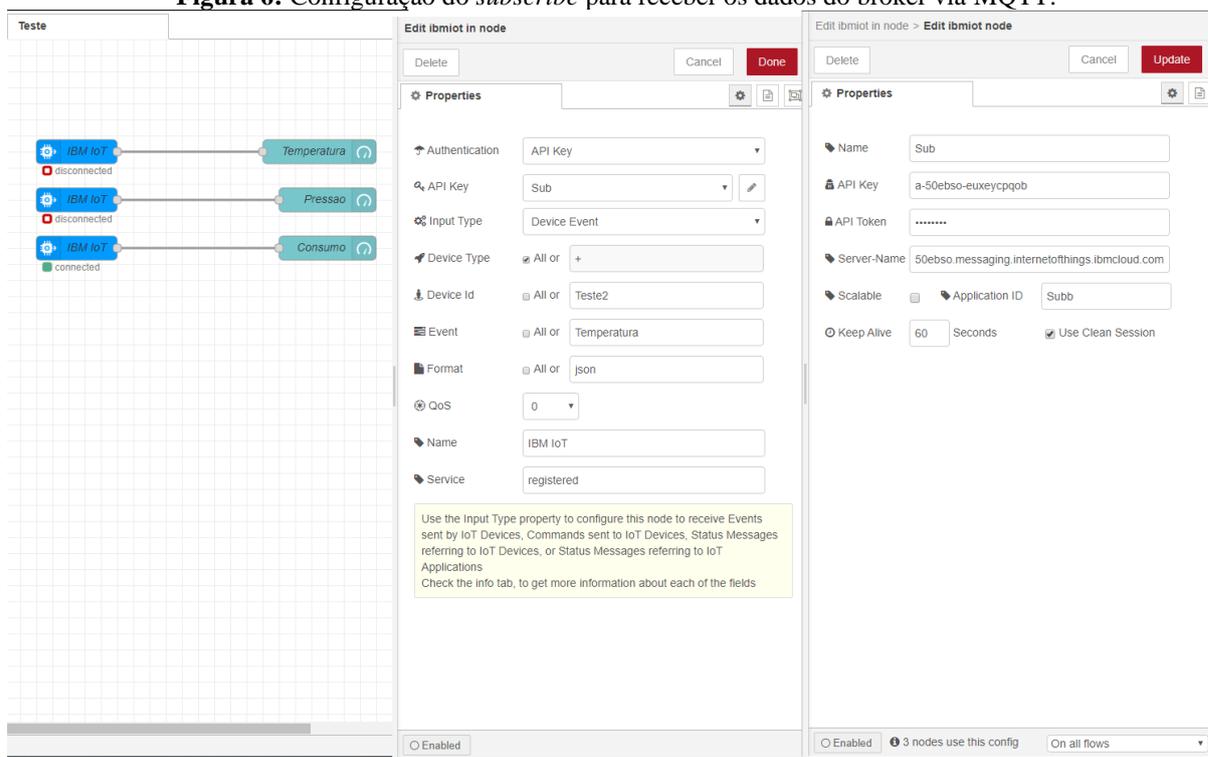
Após criar a conexão do dispositivo e gerar a chave de acesso, é necessário criar as funções de *publish e subscribe no gateway*, para enviar os dados de temperatura, pressão e consumo, para o *broker* na nuvem.

Nessa etapa, os dados do sistema da caldeira já estão disponíveis na nuvem da IBM, possibilitando o uso de vários recursos de IA, para o tratamento dos dados. Para esta aplicação, foi possível acessar esses dados, de forma segura, por um número ilimitado de dispositivos, a partir de um simples navegador de Internet, ou um dispositivo móvel, como um smartphone, por exemplo.

Para finalizar o projeto, é necessário liberar o acesso desses dados por uma aplicação, via navegador de Internet e/ou dispositivo móvel do tipo smartphone.

Com a ferramenta Node-RED, foram desenvolvidos os objetos de tela gráfica, para mostrar os valores de uma forma acessível a todos os usuários. Com o uso do recurso *subscribe*, do protocolo MQTT, são recebidos os dados da nuvem da IBM. A Figura 6 demonstra a configuração do *subscribe* para receber os dados da nuvem.

Figura 6: Configuração do *subscribe* para receber os dados do broker via MQTT.



Fonte: O autor.

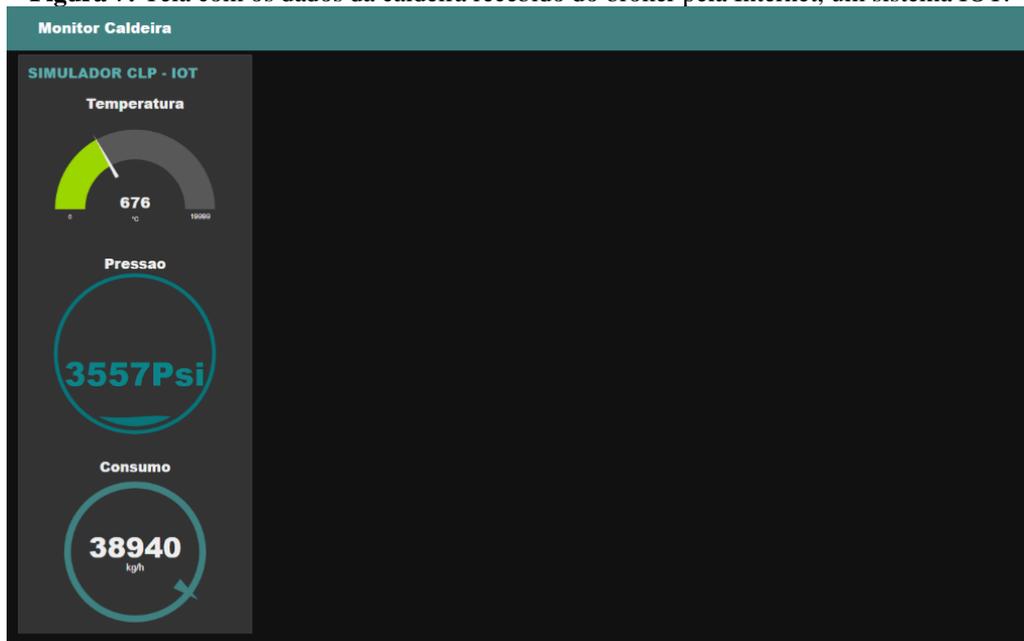
4 Resultados

Com a configuração do *subscribe* do protocolo MQTT e dos elementos gráficos para os valores de temperatura, pressão e consumo da caldeira, foi possível visualizar os dados com a aplicação final desenvolvida por meio de um navegador, que roda em um computador ou smartphone conectado à Internet, conforme apresentado na Figura 7.

A aplicação consiste em um dashboard com os dados de temperatura em graus Celsius, pressão em libra-força por polegada quadrada (Psi) e consumo em kg/h de vapor de um sistema de caldeira, que alimenta a linha de vapor de uma indústria.

Os dados dos sensores são simulados, contudo, a conexão entre o simulador do CLP e a ferramenta Node-RED utiliza o meio TCP/IP com o protocolo MODBUS de forma real, assim como a conexão de Internet para comunicação com o *broker* da IBM CLOUD.

Figura 7: Tela com os dados da caldeira recebido do broker pela Internet, um sistema IOT.



Fonte: O autor.

5 Considerações finais

O presente projeto demonstrou como é possível migrar sistemas legados para as tecnologias mais recentes da Indústria 4.0, sem necessidade de substituí-los por versões mais atuais. Realizou-se a medição de temperatura, pressão e consumo de uma caldeira, conforme proposto, contribuindo para a viabilização da transformação digital das indústrias.

Com o funcionamento dos equipamentos IOT, observamos a simplicidade com que, com um novo paradigma de comunicação baseado em publicação, roteador e assinaturas de modo assíncrono, esses equipamentos conseguem enviar dados valiosos para a nuvem. Com a nuvem, é possível acesso aos mais avançados recursos de tecnologia, em termos de Big Data e IA. Sendo esses serviços consumidos sob demanda, democratizam o uso da tecnologia, e colocam empresas de todos os portes na mesma faixa da pirâmide de tecnologia.

É evidente a importância do aproveitamento e integração das bases instaladas nas indústrias, para a viabilização da quarta revolução no parque fabril brasileiro.

Como trabalhos futuros, dando continuidade ao projeto, visto que os dados dos sensores foram simulados, o próximo passo é realizar a leitura de sensores reais da fábrica para validar a solução no contexto diário de uma indústria.

Referências

FIA. Indústria 4.0: o que é, consequências, impactos positivos e negativos [Guia Completo]. *In: Blog Fundação Instituto de Administração*, São Paulo, 23 ago. 2021. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/industria-4-0/>. Acesso em: jul. 2021.

GIACOMIN, Ricardo. A revolução dos sistemas industriais e o colapso de uma pirâmide. *In: Viridis Blog*, Belo Horizonte, 03 fev. 2017. Disponível em: <https://viridis.energy/pt/blog/revolucao-dos-sistemas-industriais-e-o-colapso-de-uma-piramide>. Acesso em: jul. 2021.

GRUSCHKA, N.; LÜSSEM, J. Information Quality Challenges in Industry 4.0. *In: ICIQ*, 21., 2016, Ciudad Real (Spain). **Proceedings** [...]. Ciudad Real: Escuela Superior de Informática, 2016.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry**: Recommendations for implementing the strategic initiative Industries 4.0. Frankfurt: Acatech, 2013.

LEE, J.; KAO, H.A.; YANG, S.H. Cyber-Physical Systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, Netherlands, v. 3, p. 18-23, Dec. 2014.

MITTAL, A. Trustworthiness of Big Data. **International Journal of Computer Applications**, [s. l.], v. 8, n. 9, p. 0975 – 8887, 2013.

REIS, M. S.; KENETT, R. Assessing the Value of Information of Data-Centric Activities in the Chemical Processing Industry 4.0. **AIChE Journal**, New York, v. 64, n. 11, Nov. 2018.

RIGOTTI, Genara. Conheça as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e algumas aplicações. *In: ABII*, Joinvile – SC, 06 out. 2020. Disponível em: <https://www.abii.com.br/single-post/conheça-as-tecnologias-habilitadoras-da-indústria-4-0-e-algumas-aplicações>. Acesso em: jul. 2021.

SIEMENS. **Um guia prático sobre a Indústria 4.0**. Disponível em: <https://new.siemens.com/br/pt/empresa/stories/industria-4-0/industria-4-0.html>. Acesso em: jul. 2021.