



REVISTA ELETRÔNICA
CIENTÍFICA DA UERGS

Internet das Coisas Industrial: um ensaio de protocolos IoT para manufatura industrial

João Alvarez Peixoto

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS).

E-mail: joao-peixoto@uergs.edu.br, <https://lattes.cnpq.br/3242194031865969>

Vitor Macedo Ochôa

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS).

E-mail: vitor-ochoa@uergs.edu.br, <https://lattes.cnpq.br/7727234288040543>

André Borin Soares

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS).

E-mail: andre-soares@uergs.edu.br, <https://lattes.cnpq.br/3591334903964533>

ISSN 2448-0479. Submetido em: 20 jul. 2022. Aceito: 17 set. 2022.

DOI: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.83.178-187>

Resumo

Em meio às mudanças no mercado de bens e consumo, provocadas pela transformação digital, exige-se que as máquinas de manufaturas sejam mais interativas entre si e com os painéis de monitoramento em nuvem. As conexões via internet das coisas (IoT) promovem este grau de interação e mobilidade desejados. Contudo, o ambiente industrial reivindica melhor confiabilidade e segurança, visto que a Internet das Coisas Industrial (IIoT) apresenta-se com protocolos e plataformas para este fim. Portanto, conhecer as características de protocolos e plataformas, ante a manufatura, adquire importância. O objetivo deste estudo é caracterizar as funcionalidades dos protocolos MQTT, HTTP e CoAP como uma aplicação de manufatura industrial, com painel de monitoramento nas plataformas Adafruit.IO, Tago.IO e Thinger.IO. É proposto um método para a realização de estudos semelhantes, em sistemas de manufatura interativa, com uso de protocolos e plataformas IIoT. Como forma de conexão da máquina com a internet, é utilizado o módulo ESP8266 NodeMCU. Na aplicação, as plataformas IIoT obtiveram resultados muito semelhantes, podendo ser a elas atribuídas o mesmo grau de importância para o estudo. Os protocolos diferenciaram-se, sendo o protocolo MQTT o que melhor respondeu às funcionalidades do sistema de manufatura proposto, ao oferecer sua comunicação assíncrona, sem necessidade de que os equipamentos estejam constantemente interagindo. Já o protocolo HTTP apresentou melhores recursos em APIs, mas sua conexão síncrona demanda uma boa rede de dados em internet. Por fim, o protocolo CoAP apresentou documentação insuficiente para acesso às plataformas e bibliotecas para uso em módulos microcontroladores.

Palavras-chave: Protocolos; IIoT; plataformas; redes; indústria 4.0; programação.

Abstract

Industrial Internet of Things: a trial of IoT protocols for industrial manufacturing

Changes in the goods and consumption market, caused by digital transformation, require manufacturing machines to be more interactive, with each other and with cloud monitoring panels. Connections via the Internet of Things (IoT) promote this desired degree of interaction and mobility, but the industrial environment demands increased reliability and security. The Industrial Internet of Things (IIoT) presents itself with protocols and platforms for this purpose. Knowing the characteristics of protocols and platforms, facing the desired manufacturing, becomes important. The objective of this study is to characterize the functionalities of the MQTT, HTTP and CoAP protocols in an industrial manufacturing application, with a monitoring panel



on the Adafruit.IO, Tago.IO and Thinger.IO platforms. A method is proposed for carrying out similar studies in interactive manufacturing systems, using IIoT protocols and platforms. As a way of connecting the machine to the internet, the ESP8266 NodeMCU module is used. In the developed application, the IIoT platforms obtained very similar results, and they can be attributed the same degree of importance for the study. In the evaluation of the protocols, the MQTT protocol was the one that best met the functionalities of the proposed manufacturing system, providing its asynchronous communication, which does not requires the equipment to be constantly interacting. The HTTP protocol has better features in APIs, but its synchronous connection demands a good data network on the internet. The CoAP protocol presented insufficient documentation available for access to platforms and libraries, for use in microcontroller modules.

Keywords: Protocols; IIoT; platforms; networks; industry 4.0; programming.

Resumen

Internet Industrial de las Cosas: un ensayo de protocolos IoT para la fabricación industrial

En medio de los cambios en el mercado de bienes y de consumo provocados por la transformación digital, se requiere que las máquinas de fabricación sean más interactivas, tanto entre sí como con los paneles de control en la nube. Las conexiones de la Internet de las Cosas (IoT) promueven este grado deseado de interacción y movilidad, pero el entorno industrial exige una mayor fiabilidad y seguridad. La Internet Industrial de las Cosas (IIoT) se presenta con protocolos y plataformas para este fin. Conocer las características de los protocolos y las plataformas relacionados a la fabricación cobra importancia. El objetivo de este estudio es caracterizar las funcionalidades de los protocolos MQTT, HTTP y CoAP en una aplicación de fabricación industrial, con panel de control en las plataformas Adafruit.IO, Tago.IO y Thinger.IO. Se propone un método para realizar estudios similares, en sistemas de fabricación interactivos, utilizando protocolos y plataformas IIoT. Como forma de conectar la máquina a internet, se utiliza el módulo ESP8266 NodeMCU. En la aplicación, las plataformas IIoT obtuvieron resultados muy similares, pudiendo asignarles el mismo grado de importancia para el estudio. Los protocolos, en cambio, se mostraron diferentes, siendo el MQTT el que mejor respondió a las funcionalidades del sistema de fabricación propuesto, ofreciendo su comunicación asíncrona, no requiriendo que los equipos estén constantemente interactuando. El protocolo HTTP presentaba mejores recursos en las API, pero su conexión sincrónica exige una buena red de datos de internet. Por último, el protocolo CoAP presentó una documentación insuficiente para el acceso a las plataformas y bibliotecas, para su uso en módulos de microcontroladores.

Palabras clave: Protocolos; IIoT; plataformas; redes; industria 4.0; programa.

Introdução

Com o advento da transformação digital, torna-se cada vez mais necessária a conexão entre dispositivos e pessoas que disponibilize dados e informações, possibilite interação e proporcione ferramentas de monitoramento e comandos, tudo isso através da rede de internet. Desta feita, a mobilidade é garantida, diante da facilidade com que hoje, computadores e dispositivos de telefonia móveis se conectam na internet. O caminho para que aplicativos de troca de dados possam interagir é a Internet das Coisas (IoT), a qual deixa de ser um meio de interação entre pessoas e atinge o patamar de interação entre coisas. A Internet das Coisas (IoT) é a rede de objetos físicos, dispositivos, instrumentos, veículos, eletrodomésticos, edifícios e outros itens, incorporados com circuitos eletrônicos, *software*, sensores e conectividade de rede, que permite que esses objetos colem e troquem dados (MUNIRATHINAM, 2020).

Na interação entre equipamentos e dispositivos, com um forte foco na comunicação máquina à máquina (*Machine to Machine - M2M*) (VERMA *et al.*, 2016), é exigida uma melhor eficiência e confiabilidade. Neste ponto surge a Internet das Coisas Industrial (IIoT), que agrega protocolos e plataformas para este fim. A IIoT está conectando o mundo físico, o chão de fábrica, à internet, transformando dados massivos em oportunidades, gerando uma cultura de administração e tomadas de decisão, orientadas aos dados. Acredita-se que a Internet das Coisas Industrial (IIoT) terá um papel importante na emergente indústria 4.0 (PIVOTO *et al.*, 2021).

Propiciar que uma máquina interaja com outras máquinas ou interaja com um sistema SCADA, requer a

capacidade dela se comunicar em um protocolo IIoT com outras máquinas ou com sistemas de supervisão, tidos como plataformas IIoT (AGHENTA; IQBAL, 2019). São os protocolos que geram a comunicação confiável, as plataformas estimulam a interação com o usuário (ser humano).

Saber o que se pode esperar de protocolos ou plataformas IIoT é de grande valia para tomada de decisão. A implementação de um sistema de manufatura interativa, por exemplo, com uso de protocolo e plataforma IIoT não adequado à aplicação, dispensará tempo e investimento na construção, visto que só será percebida após sua execução total. Assim, o problema de pesquisa que surge é definir com exatidão qual protocolo ou plataforma IIoT utilizar, em virtude de suas características e funcionalidades distintas.

Este estudo apresenta como hipótese que a implementação de um sistema de manufatura, ao utilizar protocolos distintos e plataformas distintas, pode servir para caracterizar as funcionalidades desses, segundo a aplicação proposta, servindo, então, como base para tomada de decisão no tocante à escolha a ser realizada em outras aplicações.

O objetivo propõe-se à escolha de três protocolos de comunicação em IIoT e três plataformas de IIoT, para realizar uma implementação de um sistema de manufatura simulado, ao utilizar-se de cada um dos protocolos em cada uma das plataformas, caracterizando, deste modo, suas funcionalidades.

Esse artigo aponta uma avaliação de três protocolos de mensagens: *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), *Constrained Application Protocol* (CoAP), e *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), de forma a apresentar a comparação geral entre esses protocolos e revelar suas características. Para facilitar essa análise relativa, é realizado um experimento utilizando cada um dos protocolos cuja função é simular uma planta industrial conectada à internet. Essa planta, por sua vez, envia dados de supervisão para uma interface com o usuário (dashboard). Assim, o usuário pode decidir seu uso relevante em sistemas IIoT, com base em seus requisitos e adequações.

As plataformas de IIoT escolhidas para visualização e manipulação de dados transmitidos, via protocolos de comunicação, são: Tago.IO, Adafruit.IO e Thinger.IO.

Protocolos de comunicação IIoT

A IIoT está relacionada diretamente à conexão de sensores e atuadores de máquinas industriais à Internet, os quais podem gerar informações de forma independente. Um dos principais fatores que determinam o desempenho dessa comunicação M2M é o protocolo de mensagens, projetado para comunicações dentro dos aplicativos IIoT (VERMA *et al.*, 2016). A escolha de um protocolo de mensagens pode variar de acordo com a finalidade da aplicação a ser implementada e com os recursos disponíveis.

Para Naik e Jenkins (2016) a IIoT possui diferentes protocolos de comunicação, em que cada um possui particularidades, atendendo aos requisitos de um sistema IIoT. O AMQP, por exemplo, foi projetado para transações rápidas e confiáveis de negócios. Outros foram projetados para atender a aplicações que exigem coleta de dados (por exemplo, atualizações de sensores) em redes restritas, como MQTT e CoAP. Muitos deles foram projetados para atender a aplicações que exigem mensagens instantâneas e detecção de presença *online*, como XMPP.

Alguns protocolos foram projetados para abordar aplicações web, que requerem comunicação pela rede internet, como protocolos cliente/servidor RESTful, HTTP e CoAP.

Essa gama de protocolos e funcionalidades demonstram que o futuro da IIoT está em vários protocolos de mensagens, pois apenas um protocolo não pode lidar com todos os casos de uso possíveis da IIoT (NAIK; JENKINS, 2016). Consequentemente, faz-se necessário investigar os protocolos de mensagens amplamente aceitos e emergentes para sistemas IIoT, com o objetivo de determinar seus cenários mais adequados.

O protocolo de comunicação MQTT é utilizado em sistemas IIoT, originalmente voltado para sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). É um dos protocolos IIoT muito utilizados, por conta da sua simplicidade de implementação, qualidade de serviço e segurança. O MQTT é um forte candidato para implementações em sistemas embarcados e ambientes restritos. O padrão de troca de mensagens no MQTT é o *publish/subscriber* (publicador/assinante). Neste padrão, quando um elemento da rede deseja receber uma determinada informação, ele a subscreve, fazendo uma requisição para um outro elemento da rede capaz de gerir as publicações e assinaturas. Na rede MQTT, este elemento centralizador é conhecido como *broker*, o intermediário no processo de comunicação (MISHRA; KERTESZ, 2020).

Elementos que desejam publicar informações o fazem também através do *broker*, enviando-lhes as informações que possuem. É um dos protocolos mais utilizados em infraestrutura de IloT, devido ao suporte a dispositivos que exigem recursos mínimos e largura de banda de rede, além de sua capacidade de conectar milhões de dispositivos (MISHRA; KERTESZ, 2020; KANG *et al.*, 2017).

O protocolo CoAP possui similaridades com o protocolo HTTP. Inclui uma de suas principais características é a utilização da arquitetura REST (*Representational State Transfer*) de onde os recursos são identificados pelo *Universal Resource Identifier* (URI). A arquitetura REST permite que os aplicativos IloT sejam desenvolvidos de forma adjacentes aos serviços WEB (CASTRO; JARA; SKARMETA, 2016).

A arquitetura REST é comumente utilizada com o protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), mas o HTTP não é adequado para redes sem fio restritas, devido ao excessivo uso de recursos de rede. O CoAP é especificado pelo grupo de trabalho *Constrained RESTful environment* (CoRE) para superar alguns problemas relacionados ao HTTP (UGRENOVIC; GARDASEVIC, 2015).

As funcionalidades do protocolo HTTP foram redesenhadas para CoAP, porém os princípios permanecem os mesmos. A principal diferença entre HTTP e CoAP está relacionada à camada de transporte. O HTTP depende do protocolo TCP, orientado à conexão, enquanto o CoAP é construído sobre o protocolo UDP, sem conexão (CASTRO; JARA; SKARMETA, 2016).

O protocolo HTTP é predominantemente um protocolo de mensagens web, pois suporta a arquitetura da *Web RESTful* de solicitação/resposta. Análogo ao CoAP, o HTTP usa o *Universal Resource Identifier* (URI), em vez de tópicos. O servidor envia os dados através do URI e o cliente recebe os dados através de outro URI. O protocolo HTTP é baseado em texto e não define o tamanho das cargas de cabeçalho e mensagem, mas depende do servidor *web* ou da tecnologia de programação (NAIK; JENKINS, 2016).

Há outros protocolos de IloT, tais como: AMQP (VINOSKI, 2006), DDS (YONG *et al.*, 2016) e XMPP (KIRSCHER; KLAUCK, 2012). Entretanto, não serão abordados neste trabalho, pelo fato de que os protocolos MQTT, HTTP e CoAP apresentam-se como os mais recorrentes em aplicações industriais.

Plataformas IoT

A função das plataformas IloT é facilitar a visualização e manipulação de dados transmitidos, via protocolos de comunicação. Sendo assim, nesta seção serão abordadas as características de três plataformas IoT escolhidas para o estudo: Tago.IO, Adafruit.IO e Thinger.IO.

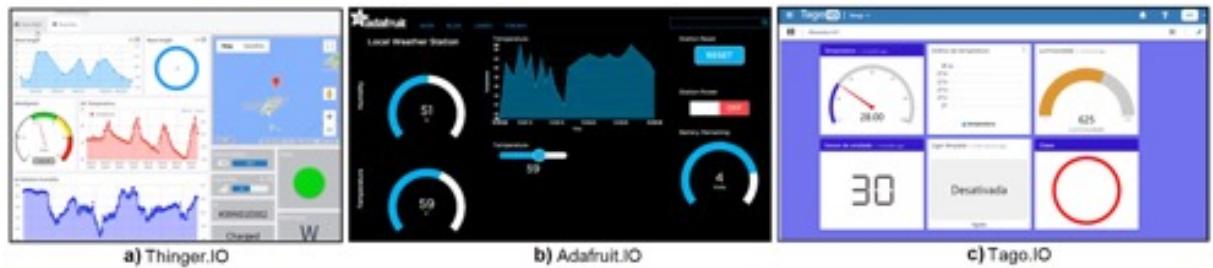
A plataforma Tago.IO (TAGOIO, 2022) possui uma grande variedade de funcionalidades, como a título de exemplo, conectar com diferentes protocolos e diferentes dispositivos. Para o caso do protocolo MQTT, possui um *broker* MQTT próprio, que requer autenticação na forma de *token* (chave digital de acesso). Isto intensifica a segurança na troca de dados, pois somente o dispositivo que tem o *token* disponibilizado pela plataforma é que pode acessá-la. Além disso, a criação de interfaces com o usuário (*dashboards*) é facilitada pelo modelo “arrastar/soltar”, em que os *widgets* (objetos gráficos parametrizáveis) são alocados no painel.

Após consolidação no mercado de *hardware* e sistemas embarcados, a empresa Adafruit entrou no mercado de IloT com a plataforma Adafruit.IO (ADAFRUIT, 2022). Ela contém similaridades com a plataforma Tago.IO, como a criação de *dashboards*, com variados *widgets*. A plataforma Adafruit.IO é executada em nuvem, o que possibilita manipular e visualizar dados em *dashboard* dinâmicos. Ademais, possui uma biblioteca própria para conexão MQTT e desenvolvimento nos módulos microcontroladores Arduino e ESP8266 NodeMCU. Como exemplo: `Adafruit_MCP9808_Library` e `Adafruit_MQTT_Library`.

Outra plataforma utilizada em aplicações de IloT é a Thinger.IO (THINGER, 2022), que busca facilitar a montagem de interfaces com o usuário e implementar conexões IloT, com dispositivos externos. Oferece suporte para conexões em protocolo MQTT, HTTP e outros. Fornece infraestrutura de conexão segura e escalável, desde o processo de design até a produção e operação. Permite a conectividade de maquinários e infraestrutura industrial, com mínimo impacto nas operações diárias, por meio da integração de sistemas SCADA e MES (AGHENTA; IQBAL, 2019).

A Figura 1 ilustra a tela de interfaces com o usuário (*dashboards*) criados a partir das plataformas IloT Thinger.IO, Adafruit.IO e Tago.IO.

Figura 1 - Interfaces com o usuário das plataformas IIoT: em a) Plataforma Thinger.IO, em b) Plataforma Adafruit.IO e em c) Plataforma Tago.IO.



Fonte: Autores (2022).

Materiais e Métodos

Quando se trata de manufatura industrial, dispor de máquinas ou equipamentos que possuam conexão à rede de internet, que suportem protocolos IIoT, ainda não é uma realidade nas empresas. Por este motivo faz mais sentido realizar ensaios para validação de metodologias, que utilizam este tipo de maquinário, pois é nesse que será realizada a implantação final (PEIXOTO; PEREIRA, 2018).

Com a realização de experimentação de laboratório como método, é possível identificar as funcionalidades de que cada protocolo dispõe, em um contexto de manufatura industrial.

Na experimentação laboratorial se conecta um módulo microcontrolador, com conectividade à rede de internet, à uma plataforma IIoT, com a utilização de um protocolo de comunicação para este fim. Estabelece-se uma comunicação entre o módulo microcontrolador com o controlador da máquina ou equipamento que se pretende interagir. Esta conexão pode ser por rede industrial de comunicação ou até mesmo por interfacamento de entradas e saídas. As informações da máquina e os comandos para a mesma são compartilhados com o módulo microcontrolador. Este módulo microcontrolador, por sua vez, irá se conectar à rede internet e acessar a plataforma IIoT, com o protocolo definido. Compartilha-se, assim, as informações trazidas da máquina de manufatura e leva-se à ela informações e comandos (PEIXOTO *et al.*, 2015).

Metodologia

O objetivo deste estudo é caracterizar implementação de sistema de manufatura interativa, através de protocolos e plataformas IIoT selecionadas pelo pesquisador. Desta forma, cabe ao pesquisador relacionar protocolos e plataforma em pares e executar a metodologia proposta, descrita como:

- a) selecionar um protocolo e uma plataforma IIoT;
- b) definir um sistema de manufatura a ser operado, com suas variáveis a serem compartilhadas e comandos a serem executados no controlador da máquina;
- c) definir um módulo microcontrolador, para se comunicar com o controlador da máquina, que possua bibliotecas disponíveis para comunicação nos protocolos IIoT definidos;
- d) implementar o programa para execução de cada máquina de manufatura;
- e) editar a plataforma IIoT, com cada componente relevante da manufatura em seu painel;
- f) programar os módulos microcontroladores para se comunicar com a máquina de manufatura e interagir com a plataforma IIoT, através do protocolo selecionado;
- g) registrar os resultados da implementação.

Esta metodologia é executada para cada conjunto de protocolo e plataforma, sendo os resultados registrado para posterior análise.

Materiais

Por conta da literatura disponível, em comparação com os demais protocolos apresentados neste estudo, os protocolos de comunicação MQTT, CoAP e HTTP foram os escolhidos. Aliados a esses protocolos, as seguintes plataformas IIoT irão auxiliar na visualização e manipulação dos dados, sendo selecionadas as plata-

formas Tago.IO, Thinger.IO e Adafruit.IO.

O ambiente de manufatura definido foi a simulação de duas esteiras selecionadoras, que atuam de maneira independente, simulando variáveis geradas em um ambiente industrial, as quais são:

- a) Temperatura: um potenciômetro que envia dados numéricos de 0 a 1.024, que serão convertidos para uma escala de 0°C a 100°C, a fim de que se possa simular uma temperatura e registrá-la ao longo do tempo, na forma de gráfico;
- b) Ligada: botão que, ao pressionar, será enviado um dado booleano, notificando ao painel de monitoramento que a máquina está ligada, ou seja, energizada e aguardando a manufatura começar;
- c) Operando: botão que, ao pressionar, será enviado um dado booleano, notificando ao painel de monitoramento que a máquina está operando, isto é, em processo de manufatura;
- d) Manutenção: botão que, ao pressionar, será enviado um dado booleano, notificando ao painel de monitoramento que a máquina entrou em estado de manutenção;
- e) Intervenção: LED indicador, que ficará iluminado quando o painel de monitoramento enviar um comando de intervenção, solicitando que a máquina pare, assim que terminar o processo vigente.

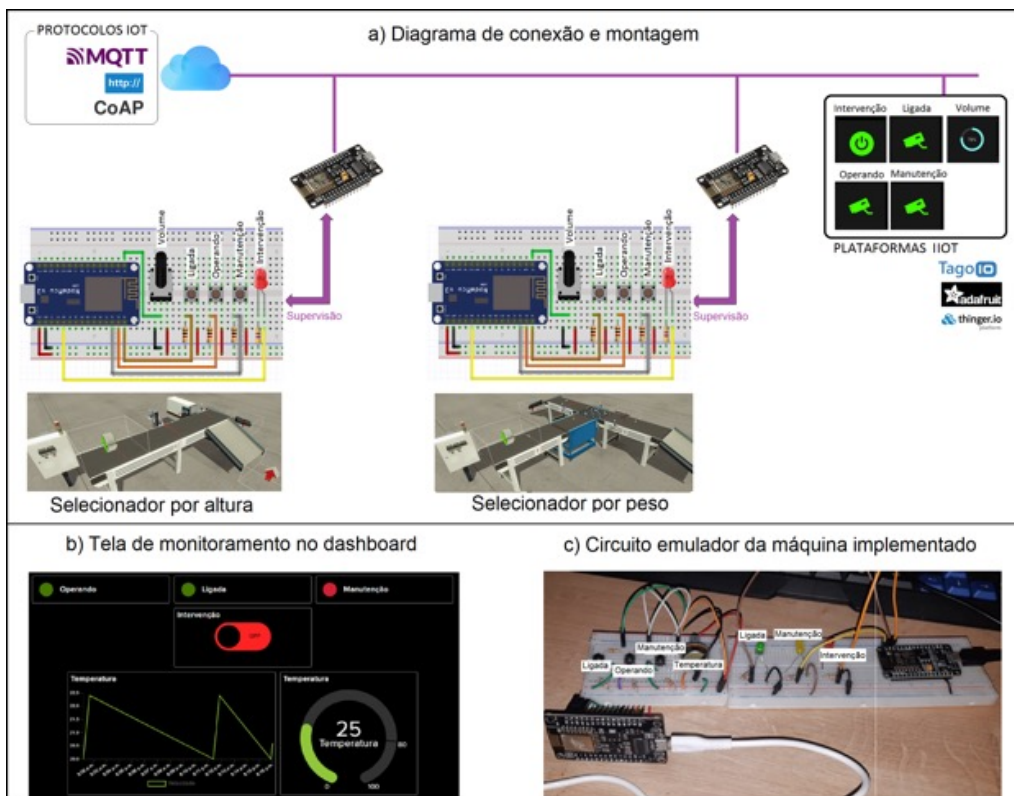
Como módulo microcontrolador, é utilizado o módulo ESP8266 NodeMCU, que possui comunicação WiFi com rede internet e suporta protocolos de comunicação IloT, a partir de bibliotecas específicas para cada protocolo escolhido (PEIXOTO, 2021).

Além da troca de mensagens com a plataforma IloT, os módulos ESP8266 NodeMCU também trocam pacote de mensagens entre si, manifestando o estado de cada uma de suas variáveis de interesse ao outro.

Resultados e Discussões

Uma vez realizada a implementação do sistema de manufatura interativa, foram então realizados os testes com cada conjunto de protocolo e plataforma IloT, onde foi implementado o painel de monitoramento em cada uma das plataformas selecionadas. A Figura 2 apresenta a planta piloto e um dos painéis de monitoramento editados, segundo variáveis do processo fabril modelado.

Figura II - Planta piloto e interface com o usuário criados para prova de conceito deste estudo: em a) diagrama de conexão e montagem, em b) a tela de monitoramento na plataforma IloT, em c) a implementação física do simulador de manufatura



Fonte: Autores (2022).

A partir da planta piloto, foi programado o módulo ESP8266 NodeMCU para comunicar em cada um dos três protocolos IIoT definidos. Também foram editados painéis de monitoramento em cada uma das três plataformas de IIoT selecionadas, primando pelo mesmo leiaute de tela. As características observadas em cada conjunto de protocolo e plataforma IIoT constam no Quadro I.

Quadro I – Funcionalidades que cada protocolo fornece em função da plataforma IoT utilizada, considerando uma manufatura industrial.

Protocolos	Tago.IO	Adafruit.IO	Thinger.IO
MQTT	Possui <i>broker</i> próprio com autenticação; Possibilidade de criação de dispositivo específico MQTT; Exige formato específico de mensagem (JSON) para ocorrer a interpretação pelos <i>widgets</i> .	Possui biblioteca específica para conexão com um módulo controlador ESP8266; Autenticação a partir do usuário da plataforma.	Plataforma <i>Open Source</i> ; Controle de geolocalização; Controle de <i>bytes</i> enviados e recebidos.
HTTP	APIs próprias para integração com outras APIs e com microcontroladores; Criação de dispositivo específico HTTP; Baixa latência, com atualização instantânea nos <i>widgets</i> .	Como a Tago.IO, também possui APIs próprias que facilitam a integração com outras aplicações.	Apresenta fácil integração com o módulo ESP8266, a partir da sua biblioteca própria para microcontroladores e também com manuais para conexão.
CoAP	Por conta da grande semelhança com o HTTP, foi possível realizar conexões nas APIs; Também apresentou baixa latência e rápida atualização no <i>widgets</i> ; Não possui documentação específica para conexões CoAP.	Foi utilizado uma biblioteca externa para realizar a conexão com as APIs; Não possui documentação específica para conexões CoAP; Adaptação aos pacotes de mensagens enviados pelo CoAP, em formato JSON	Também houve conexão com as APIs utilizadas na conexão com o HTTP; Não possui documentação específica para conexões CoAP; Baixa latência e consumo de <i>bytes</i> , comparado ao HTTP.

Resultados e Discussões

A partir dos experimentos realizados, pode-se observar as características individuais de cada protocolo. Os três protocolos analisados possuem bibliotecas específicas para o módulo controlador ESP8266 NodeMCU, o que facilitou a implementação de diferentes casos e testes.

Ao analisar o protocolo MQTT, este mostrou-se um protocolo leve e de entrega de dados quase instantânea, pois conseguiu realizar a comunicação tanto com o dashboard quanto com o outro Módulo ESP8266 NodeMCU. Porém, se um dos *subscribers* está *offline*, a mensagem é sobrescrita no *broker*, que após receber uma nova mensagem, a anterior é perdida. Isso se deve ao fato de que o MQTT tem como princípio ser assíncrono, portanto, o publisher não garante que o *subscriber* irá receber a mensagem. Sendo assim, justifica-se o uso do MQTT para comunicação e coleta de dados em sensores de redes industriais, visto que os mesmos produzem uma massa muito grande de dados e nem todos precisam ser registrados.

Diferente de MQTT, o protocolo HTTP possui como princípio a comunicação cliente/servidor, onde cada comando *request* deve existir um comando *response*, tornando a comunicação síncrona. Ele é menos utilizado para comunicação M2M e coleta sensorial, por conta do consumo excessivo de energia e recursos de internet.

O protocolo CoAP surge para concorrer com o MQTT na coleta de dados em ambientes restritos de

energia. O protocolo CoAP segue o padrão do HTTP, contudo realiza requisições com uma taxa de consumo de energia menor. Por conseguinte, verifica-se a eficácia para coleta de dados e pleno funcionamento em ambientes industriais.

Considerações Finais

Como há vários protocolos e plataformas IIoT no mercado de tecnologias, conhecer previamente as características de cada um, em face às aplicações a que se destina, torna-se cada vez mais importante, como uma estratégia para tomada de decisão quanto a investimentos em sistemas de manufatura industrial interativa.

Com este propósito, o estudo objetivou caracterizar as funcionalidades dos protocolos MQTT, HTTP e CoAP em uma aplicação de manufatura industrial, com painel de monitoramento editado nas plataformas Adafruit.IO, Tago.IO e Thinger.IO.

O método proposto se mostrou eficaz, pois conduziu corretamente a implementação da planta piloto, que deu origem aos resultados apresentados.

A utilização do módulo ESP8266 NodeMCU foi assertiva, já que além de ser um recurso de baixo custo, possui funcionalidades de conectividade à rede internet, permitindo comunicação em protocolos IIoT distintos, com o mesmo componente, bastando trocar a programação.

Durante os ensaios, as plataformas IIoT obtiveram resultados muito semelhantes, podendo-lhes ser atribuídas o mesmo grau de importância para no estudo. Em alguma, há um recurso mais específico, em outra, um outro recurso, mas para o atendimento da manufatura proposta, as três plataformas atenderam a contento.

Já os protocolos IIoT se diferenciaram. O protocolo MQTT foi o que melhor atendeu às funcionalidades do sistema de manufatura proposto, oferecendo sua comunicação assíncrona, não necessitando que os equipamentos estejam constantemente interagindo. Também se apresentou com a maior quantidade de documentação, em relação a dispositivos e bibliotecas disponíveis para implementações em módulos microcontroladores.

Os protocolos HTTP e CoAP tiveram resultados funcionais muito parecidos, ambos com comunicação síncrona. O protocolo HTTP apresentou mais recursos em APIs do que CoAP, no entanto sua conexão síncrona demanda uma rede de dados em internet com maior tamanho de carga, maior velocidade e mais tolerância a falhas. Já o protocolo COAP apresentou pouca documentação disponível para acesso às plataformas e bibliotecas, para uso em módulos microcontroladores.

Como trabalho futuro, cabe uma investigação mais ampla, que utilize-se de outros protocolos de IIoT e de outras plataformas, optando também por outras manufaturas, com a hipótese de obter-se uma caracterização de mais recursos disponíveis no mercado para comunicação em IIoT; assim como a medição de latência, carga da rede e demais parâmetros relativos à comunicação.

Agradecimentos

Nosso agradecimento a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS, que patrocinou o bolsista de iniciação científica para atuar no projeto e apresentar os resultados neste artigo. Agradecimentos também a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UERGS, que acolheu o projeto e seus resultados em seu portfólio.

Referências

ADAFRUIT. **The internet of things for everyone**. 2022. Disponível em: <https://io.adafruit.com/>. Acesso em: 30 de jun. 2022.

AGHENTA, Lawrence Oriaghe; IQBAL, Mohammad Tariq. Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Design Using Thinger.IO and ESP32 Thing. **Electronics**, [S.L.], v. 8, n. 8, p. 1-24, 24 jul. 2019. <https://doi.org/10.3390/electronics8080822>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/8/8/822/html>. Acesso em: 7 de jun. 2022.

CASTRO, Miguel; JARA, Antonio J.; SKARMETA, Antonio F. Enabling end-to-end CoAP-based communications for the Web of Things. **Journal Of Network And Computer Applications**, [S.L.], v. 59, p. 230-236, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2014.09.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084804514002264>. Acesso em: 23 de mai. 2022.

KANG, Do-Hun; PARK, Min-Sung; KIM, Hyoung-Sub; KIM, Da-Young; KIM, Sang-Hui; SON, Hyeon-Ju; LEE, Sang-Gon. Room Temperature Control and Fire Alarm/Suppression IoT Service Using MQTT on AWS. **2017 International Conference On Platform Technology And Service (Platcon)**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-5, fev. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/platcon.2017.7883724>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7883724>. Acesso em: 1 de mai. 2022.

KIRSCHKE, Michael; KLAUCK, Ronny. Unify to bridge gaps: bringing xmpp into the internet of things. **2012 Ieee International Conference On Pervasive Computing And Communications Workshops**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 455-458, mar. 2012. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/percomw.2012.6197534>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6197534>. Acesso em: 9 de mar. 2022.

MISHRA, Biswajeeban; KERTESZ, Attila. The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: a survey. **Ieee Access**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 201071-201086, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.3035849>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9247996>. Acesso em: 21 de abr. 2022.

MUNIRATHINAM, Sathyan. Industry 4.0: industrial internet of things (IIoT). **Advances In Computers**, [S.L.], v. 117, n. 1, p. 129-164, 2020. ISBN: 978-0-12-818756-2. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065245819300634>. Acesso em: 4 de mai. 2022.

NAIK, Nitin; JENKINS, Paul. Web protocols and challenges of Web latency in the Web of Things. **2016 Eighth International Conference On Ubiquitous And Future Networks (Icufn)**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 845-850, jul. 2016. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icufn.2016.7537156>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7537156>. Acesso em: 7 de abr. 2022.

PEIXOTO, João Alvarez; OLIVEIRA, José Antonio Barata; ROCHA, André Dionísio; PEREIRA, Carlos Eduardo. The Migration from Conventional Manufacturing Systems for Multi-Agent Paradigm: the first step. **Ifip Advances In Information And Communication Technology**, [S.L.], v. 450, p. 111-118, 2015. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-16766-4_12. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16766-4_12. Acesso em: 4 de mar. 2022.

PEIXOTO, João Alvarez; PEREIRA, Luisa Muller. Industria 4.0 na auto-organização dos sistemas produtivos. **Revista Eletrônica Científica da Uergs**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 525-538, 23 out. 2018. Revista Eletronica Científica da UERGS. <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.43.525-538>. Disponível em: <http://pev-proex.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/1557>. Acesso em: 23 de mai. 2022.

PEIXOTO, João Alvarez. **ESP8266 NodeMCU**: do pisca led à internet das coisas. Porto Alegre: Uergs, 2021. 210 p. ISBN: 978-65-86105-23-0. Disponível em: https://academico.uergs.edu.br/miolo25/html/file.php?folder=material&file=27380_esp8266_nodemcu_-_do_pisca_led_a_internet_das_coisas.pdf. Acesso em: 4 de abr. 2022.

PIVOTO, Diego G.s.; ALMEIDA, Luiz F.F. de; RIGHI, Rodrigo da Rosa; RODRIGUES, Joel J.P.C.; LUGLI, Alexandre Baratella; ALBERTI, Antonio M.. Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: a literature review. **Journal Of Manufacturing Systems**, [S.L.], v. 58, n. 1, p. 176-192, jan. 2021. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.11.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612520302119>. Acesso em: 1 de jun. 2022.

TAGOIO. **TagoIO Platform**. 2022. Disponível em: <https://tago.io/>. Acesso em: 25 de mai. 2022.

THINGER. **Connect and Manage your Internet of Things products within minutes**. 2022. Disponível em: <https://thinger.io/>. Acesso em: 30 de jun. 2022.

UGRENOVIC, Dejana; GARDASEVIC, Gordana. CoAP protocol for Web-based monitoring in IoT health-care applications. **2015 23Rd Telecommunications Forum Telfor** (Telfor), [S.L.], v. 1, n. 1, p. 79-82, nov. 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/telfor.2015.7377418>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7377418>. Acesso em: 9 de mai. 2022.

VERMA, Pawan Kumar; VERMA, Rajesh; PRAKASH, Arun; AGRAWAL, Ashish; NAIK, Kshirasagar; TRIPATHI, Rajeev; ALSABAAN, Maazen; KHALIFA, Tarek; ABDELKADER, Tamer; ABOGHARAF, Abdulhakim. Machine-to-Machine (M2M) communications: a survey. **Journal Of Network And Computer Applications**, [S.L.], v. 66, n. 1, p. 83-105, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2016.02.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084804516000990>. Acesso em: 1 de mai. 2022.

VINOSKI, Steve. Advanced Message Queuing Protocol. **Ieee Internet Computing**, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 87-89, nov. 2006. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mic.2006.116>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4012603>. Acesso em: 7 de mai. 2022.

YOON, Gunjae; CHOI, Jungwoo; PARK, Huihwan; CHOI, Hoon. Topic naming service for DDS. **2016 International Conference On Information Networking (Icoin)**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 378-381, jan. 2016. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icoi.2016.7427138>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7427138>. Acesso em: 8 de mai. 2022.