



Protocolo de comunicação MQTT para aplicação em laboratórios de produção de insumos biológicos

Gerson Peres Rezende Garcia Gomes, Denner Aparecido Paulino Matias
gersonprezende@gmail.com, engdennerpaulino@gmail.com

Professor orientador: Douglas Carvalho

Coordenação dos cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica

Resumo

O trabalho elaborado tem como objetivo a utilização do protocolo de comunicação MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) para aplicação de leitura em tempo real de sensores de temperatura, estado e frequência de rotação de motores. O cenário de aplicação são laboratórios instalados em campo que possuem por finalidade a produção de insumos biológicos para aplicação nas culturas de soja, milho, trigo, cana, frutas e etc. Os equipamentos envolvidos no processo são as biofábricas, tanques inox onde são produzidos os insumos e também os painéis de comando, estes responsáveis por toda a automação do processo, desde o acionamento de motores acoplados as bombas centrífugas, até o controle de temperatura e pressão.

Palavras-chave: Protocolo MQTT, Protocolo de Dados, Internet das Coisas, Aplicação IoT.

1. INTRODUÇÃO

Em Redes de Comunicação, chamamos de protocolo um acordo entre as partes que se comunicam, estabelecendo como se dará a troca de informações. A violação do protocolo dificultará a comunicação, se não, no pior caso, pode torná-la completamente impossível de ser realizada (TANEMBAUM e WETHERHRAL, 2015). Dessa forma, um protocolo é um algoritmo que tem a função de dizer o passo a passo de como deve ocorrer a comunicação entre duas ou mais entidades, com regras bem estabelecidas, e programado para entregar os dados de comunicação com qualidade, eficiência e agilidade.

Dentre os protocolos existentes, o Protocolo de Controle de Transmissão, ou, do inglês, TCP (Transmission Control Protocol) possui grande destaque e também é utilizado para a comunicação. Este protocolo foi projetado especificamente para oferecer um fluxo de dados confiável em uma rede interligada não confiável. Nesse ponto, faz-se necessário definir os termos redes interligadas e rede única. Estes termos são classificações de acordo com o tamanho e necessidade de transmissão na troca de informações. Por exemplo, uma rede empresarial utilizada para trocas de arquivos locais, comunicação interna, é uma rede única. Se essa empresa possuir mais de uma unidade e necessita compartilhar esses dados locais com uma outra unidade, deverá utilizar a internet para essa transmissão, criando assim uma rede interligada. Tomando a rede mundial de computadores também como exemplo, dizemos que essa rede é interligada e a escrevemos com a primeira letra maiúscula, Internet. Dessa forma, uma rede interligada é diferente de uma única rede porque suas diversas partes podem ter topologias, larguras de banda, atrasos, tamanhos de pacote e outros parâmetros completamente diferentes.

O TCP foi projetado para se adaptar dinamicamente às propriedades da rede interligada e ser robusto diante dos muitos tipos de falhas que podem ocorrer. (TANEMBAUM e WETHERHRAL, 2015). Além disso, outras características identificam uma rede de comunicação, como o fluxo de dados. Dizemos que uma sequência de pacotes de informação enviados de sua origem até um destino final é chamado fluxo de dados. Nesse caso, em uma

rede de comunicação, interligada ou única, o fluxo de dados pode ser concebido por quatro parâmetros principais, sendo eles:

- Largura de banda;
- Atraso no envio da informação;
- Flutuação de dados;
- Perdas de informação ou pacotes.

Esses parâmetros juntos determinam a qualidade de serviço QoS (Quality of Service) que a transmissão exige para ter eficiência na comunicação. Vale ressaltar que, as redes de comunicação não precisam ser isentas de perdas de pacote para uma transferência confiável de arquivos, e, também, elas não precisam entregar pacotes com atrasos idênticos para a reprodução de áudio e vídeo (TANEMBAUM e WETHERHRAL, 2015). Na Tabela 1 pode ser observado as exigências de parâmetros em baixa, média ou alta prioridade para o fluxo de dados em algumas aplicações específicas.

Tabela 1- Exigência de aplicações na qualidade de serviço

Aplicação	Largura de banda	Atraso	Flutuação	Perda
Email	Baixa	Baixo	Baixa	Média
Chamada por áudio	Baixa	Baixo	Alta	Baixa
Videoconferência	Alta	Alta	Alta	Baixa
Transferência de arquivos	Alta	Baixo	Baixa	Média

Fonte: (TANEMBAUM e WETHERHRAL, 2015)

Existem protocolos destinados exclusivamente ao transporte de dados. Um protocolo mundialmente conhecido é o HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Esse protocolo é utilizado principalmente quando se deseja acessar páginas na Internet, realizando, dessa forma, o transporte de dados para o qual ele foi concebido. O protocolo de comunicação MQTT, tema deste trabalho, abrange mais funções que o HTTP, ou seja, é mais completo. Este protocolo foi criado em 1999, por Andy Stanford-Clark (IBM) e Arlen Nipper (Arcom) para conexões de Oleodutos via satélite. Os idealizadores partiram de alguns requisitos básicos para a criação do protocolo, sendo eles:

- Fácil implantação;
- Qualidade de serviço na entrega dos dados;
- Processamento leve, sem grandes exigências de hardware;
- Eficiência e com baixa utilização da rede de comunicação, e;
- Possibilidade de monitoramento contínuo.

Nesse momento o protocolo era propriedade da IBM, gigante multinacional norte-americana, sendo que apenas em 2010, o mesmo veio a se tornar público para utilização ampla e somente em 2014 se tornou padrão reconhecido OASIS. (HIVEMQ, 2020). Vale dizer que OASIS é uma organização global sem fins lucrativos e apoiada por empresas da área de tecnologia como por exemplo: IBM, SAP, DELL, Microsoft, dentre outras. Essa organização tem como objetivo principal trazer avanços para projetos em áreas como ciber-segurança, internet das coisas, IoT (Internet of Things), disponibilizando projetos que incluem projetos de fonte aberta, com o objetivo de criar um caminho para a padronização e aprovação legal de referência na política internacional, atuando e sendo reconhecida como uma norma.

A Internet, assim como tudo ao nosso redor, está sempre em constante evolução e seu uso vem se tornando cada vez mais imprescindível para todos. Trocas de informação entre humanos (homem-homem), mesmo que de forma rudimentar, existem desde a pré-história. Com a evolução da eletrônica e por conseguinte dos microcomputadores, surgiu também a necessidade de comunicação entre humano-máquina. Por fim, no topo dessa cadeia, está a comunicação entre máquinas (máquina-máquina) utilizando a Internet das Coisas (IoT). Assim,

a comunicação máquina-máquina ou M2M permite a troca e o compartilhamento de maneira autônoma de informação entre diferentes dispositivos do mundo real e identificáveis a nossa volta. Para fins de melhor entendimento sobre o comportamento dos protocolos, na Tabela 2 são apresentadas características comparativas entre os protocolos de comunicação HTTP e MQTT com objetivo de aplicação na Internet da Coisas.

Tabela 2 – MQTT vs HTTP

	MQTT	HTTP
Status do cliente	Conhecido	Desconhecido
Fila de mensagens	O broker pode criar uma fila das mensagens enquanto o cliente estiver offline e enviar assim que ele conectar	Para a aplicação há a necessidade de implantação.
Tamanho da mensagem	Máximo de 256MB	Não há máximo, mas para utilizações comuns 256MB está abaixo.
Tipo de conteúdo	Qualquer um (binário)	Texto (Base64 decodificado para binário)
Distribuição de conteúdo	Um para vários	Um para um

Fonte: (CRAGGS, 2022)

O protocolo de comunicação MQTT possui menos exigências de hardware, com baixa utilização de rede. Além disso, as mensagens podem ser transmitidas para diversos usuários de maneira simultânea, sendo os usuários isentos de estarem online no momento da transmissão de dados.

O trabalho em questão tem por objetivo apresentar uma maneira eficiente de comunicação entre laboratórios de produção de insumos biológicos, que são utilizados para aplicação em lavouras de diversos cultivos, como: soja, milho, feijão, algodão. Para a produção dos insumos são utilizados equipamentos que necessitam comunicação M2M, sendo destes equipamentos, os dados que são extraídos em tempo real para envio das informações. Verificando a necessidade de conhecimento destes dados, foram pontuadas dificuldades de implantação em áreas rurais, sendo essas:

- Disponibilidade de internet com baixa largura de banda;
- Sistema de energia elétrica instável;
- Qualidade controle na transmissão de dados;
- Confiabilidade no envio e recebimento dos dados.

Dessa forma, como citado nos parágrafos anteriores, o protocolo de comunicação MQTT tem capacidade de suprir todas essas dificuldades encontradas tornando seu uso muito promissor na aplicação em questão.

2. PROTOCOLO MQTT

O MQTT é um protocolo escrito sobre a camada de aplicação da arquitetura TCP/IP, conforme observado na Figura 1. A definição de modelo de operação entre os equipamentos, especificando os papéis de cada um, o formato das mensagens e a ordem entre elas é ditada pelo protocolo MQTT. As funções de rede vêm das camadas anteriores, com destaque para o protocolo TCP, protocolo IP e para as tecnologias de comunicação que estão na camada inferior dessa arquitetura, ethernet, wifi e etc. (CONCEIÇÃO e COSTA, 2018).

Figura 1- Camadas MQTT

CAMADA DE APLICAÇÃO	MQTT
CAMADA DE TRANSPORTE	TCP
CAMADA DE REDE	IPv4 / IPv6
INTRAREDE	ETHERNET, WIFI

Fonte: (CONCEIÇÃO e COSTA, 2018)

O protocolo de controle e transporte TCP é responsável pela entrega confiável dos dados. O IP garante que os dados possam ser enviados para qualquer endereço da internet. A camada interna da rede de comunicação diz respeito a qual tipo de conexão será utilizada para envio e acesso aos dados. (CONCEIÇÃO e COSTA, 2018).

O MQTT utiliza o padrão publish/subscribe que é uma variação da arquitetura tradicional servidor/cliente. No modelo servidor/cliente a comunicação do cliente é feita diretamente com o servidor. Já no modelo publish/subscribe há a dissociação do cliente que envia a mensagem (publisher) do cliente que recebe a mensagem (subscriber), ou seja, o publisher e o subscribe nunca se comunicam diretamente. A conexão entre os dois é administrada por um terceiro componente, o broker, que tem o trabalho de receber as mensagens aplicar os filtros necessários e distribuir para os respectivos clientes necessários. Vale destacar que no protocolo MQTT, o publisher publica as mensagens e o subscriber assina os tópicos para os quais essas mensagens são enviadas. O assinante se inscreve apenas nos tópicos que são do seu interesse e por isso recebe todas as mensagens publicadas nesse tópico. Os tópicos são divididos de acordo com o assunto da mensagem. Por exemplo: se desejamos os dados de um sensor de temperatura, um tópico “Temperatura” será criado para o recebimento dos dados e só terá acesso a esses dados quem estiver inscrito no tópico “Temperatura”. No MQTT as mensagens ficam retidas no broker dentro de seus respectivos tópicos, mesmo após o envio para os inscritos, dessa forma sempre que houver um novo inscrito no tópico, ele receberá todas as mensagens que estavam retidas e já foram enviadas a outros inscritos. (SONI e MAKWANA, 2017). A qualidade de serviço é garantida pelo protocolo QoS sendo que cada aplicação tem suas próprias exigências conforme discutido anteriormente. O protocolo QoS garante que os dados sejam distribuídos de forma eficiente e pode ser dividido em três níveis dentro do protocolo MQTT:

- QoS0 - Os dados são entregues no máximo uma vez e não há um retorno de confirmação que a mensagem foi entregue ao broker, dessa forma caso a mensagem não seja entregue ou ocorrer perdas, os dados não serão reenviados (Figura 2).

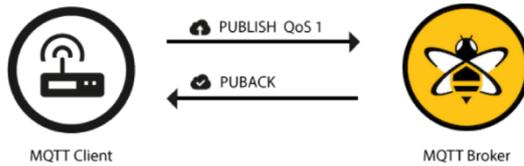
Figura 2 - QoS0 MQTT



Fonte: (NERI, LOMBA e BULHÕES, 2019)

- QoS1 - Os dados são entregues pelo menos uma vez; há uma mensagem de confirmação do broker de recebimento. Caso não haja o recebimento ocorrerá o reenvio dos dados como apresentado na Figura 3.

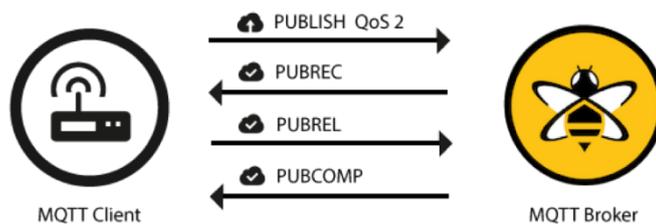
Figura 3 - QoS1 MQTT



Fonte: (NERI, LOMBA e BULHÕES, 2019).

- QoS2 - A mensagem é entregue em quatro vias. Existem duas confirmações do broker para o recebimento da mensagem, como apresentado na Figura 4. Nos dois últimos níveis há a garantia de entrega da mensagem e a escolha de utilização vai depender da necessidade do sistema da atualização de dados. (Soni, D.; Makwana, A., 2017). Deve-se atentar que para processos mais complicados com níveis de QoS mais altos, podem vir a ocorrer atrasos na transmissão (LEE, KIM, *et al.*, 2013).

Figura 4 - QoS2 MQTT



Fonte: (NERI, LOMBA e BULHÕES, 2019).

Cada uma dessas mensagens enviadas que estão sendo discutidas possuem um formato de comando no MQTT formado por um cabeçalho composto de dois *bytes*, em que o primeiro *byte* contém o campo que identifica o tipo da mensagem e também campos marcadores (DUP, nível QoS e RETAIN). A Tabela 3 mostra o formato do cabeçalho fixo das mensagens (RODRIGUES e ZEM, 2014).

Tabela 3 - Formato Cabeçalho fixo mensagem MQTT

bit	7	6		5	4	3	2	1	0
Byte 1	Tipo da Mensagem				Flag DUP	Nível QoS		RETAIN	
Byte 2	Largura restante								

Fonte: (RODRIGUES e ZEM, 2014)

A lista de tipos de mensagens definidas no MQTT é descrita na tabela 4. Os quatro bits restantes do primeiro byte dividem-se em quatro campos que servem de marcadores para indicar preferências definidas antes do envio da mensagem. São eles:

- Duplicate delivery (DUP): Acrônimo relativo à entrega duplicada, este marcador ocupa o bit 4 e é ativado quando o cliente ou o servidor tentam reenviar mensagens do tipo Publish, Pubrel, Subscribe ou Unsubscribe que tenham Quality of Service (QoS) maior que zero;

- Quality of Service (QoS): Este marcador ocupa os dois penúltimos bits e indica o nível de garantia da entrega de uma mensagem Publish. Os níveis de QoS são mostrados na Tabela 5;
- RETAIN: Quando um cliente envia uma mensagem PUBLISH ao servidor com retain ativado, ela deve ser retida no servidor mesmo depois de ser entregue aos assinantes. No evento de uma nova subscrição a um tópico, a última mensagem retida para este tópico deve ser enviada para o novo assinante caso este marcador esteja ativado.

Tabela 4 - Tipos de Mensagem MQTT

Mnemônico	Enumeração	Descrição
RESERVADO	0	Reservado
CONNECT	1	Requisição de conexão do cliente ao servidor
CONNACK	2	ACK de conexão
PUBLISH	3	Publicação de mensagem
PUBACK	4	ACK de publicação
PUBREC	5	Publicação recebida (garantia de entrega parte I)
PUBREL	6	Publicação liberada (garantia de entrega parte II)
PUBCOMP	7	Publicação completa (garantia de entrega parte III)

Fonte: (JUNIOR, 2021).

Tabela 5 - Tipos de Mensagem MQTT

SUBSCRIBE	8	Requisição de subscrição do cliente
SUBACK	9	ACK de subscrição
UNSUBSCRIBE	10	Requisição de cancelamento de subscrição do cliente
UNSUBACK	11	ACK de cancelamento de subscrição
PINGREQ	12	Requisição PING
PINGRESP	13	Resposta PING
DISCONNECT	14	Cliente desconectando
RESERVADO	15	Reservado

Fonte: (JUNIOR, 2021).

A largura restante do cabeçalho fixo (byte 2) é usada para representar nada mais do que a quantidade de bytes remanescentes na mensagem. Incluindo dados do cabeçalho variável e do payload. Vale destacar que cabeçalho variável é um componente presente em alguns tipos de mensagem MQTT e está localizado entre o cabeçalho fixo e o payload. É utilizado principalmente nas mensagens CONNECT. Este cabeçalho possui dois campos para nome e versão do protocolo respectivamente, e mais uma série de marcadores que definirão algumas diretivas para a conexão entre cliente e servidor. (RODRIGUES e ZEM, 2014).

Tabela 5 - Níveis de QoS

Valor QoS	Bit 2	Bit 1	Descrição		
0	0	0	Até uma vez	Disparar e esquecer	< 1
1	0	1	Ao menos uma vez	Entrega com ACK	> 1
2	1	0		Entrega garantida	1
3	1	1	Reservado		

Fonte: (JUNIOR, 2021)

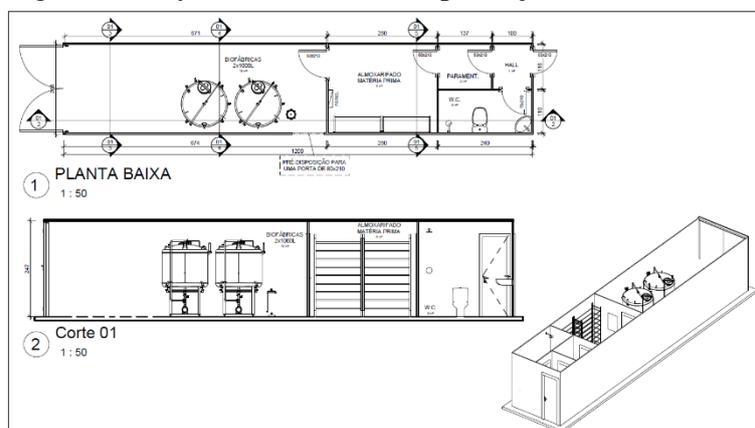
O payload pode armazenar diferentes tipos de informação, tudo vai depender do tipo da mensagem transmitida: CONNECT (irá conter ID do cliente), SUBSCRIBE (contém tópicos que o cliente pode subscrever e/ou nível QoS) ou SUBACK (lista de níveis de QoS garantidos pelo servidor).

3. METODOLOGIA

O laboratório de produção de insumos biológicos apresentado na Figura 5 é composto dos seguintes equipamentos:

- Biofábricas;
- Motores elétricos;
- Painel de comando.

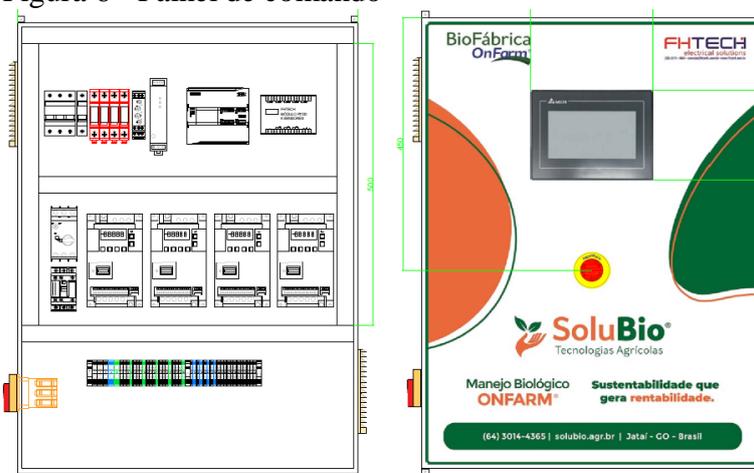
Figura 5 - Layout Laboratório de produção de insumos biológicos



Fonte: Solubio Tecnologias Agrícolas

As biofábricas são equipamentos com capacidade de volume de 1000 litros, construídas em Aço Inox 304 e responsáveis por produzir o insumo e o armazenar. Para que ocorra a mistura existem as bombas centrífugas para cada biofábrica que são acionadas pelo motor elétrico. Para controle do processo a circulação de líquido envolvendo entrada de água e circulação na biofábrica é feita de forma manual através de válvulas borboleta instaladas nas tubulações. Já o controle de rotação do motor, que deve ser específico para cada tipo de produto a ser produzido, é controlado pelo painel de comando apresentado na Figura 6 através da utilização de inversores. A atuação desses inversores é feita automaticamente pela programação inserida no controlador lógico programável (CLP), sendo que para cada produto possui uma programação específica. A programação é selecionada pelo laboratorista na interface homem máquina (IHM) do painel de comando.

Figura 6 - Painel de comando



Fonte: Solubio Tecnologias Agrícolas

Nas biofábricas existem sensores de temperatura, PT100, que fazem a leitura da temperatura do produto durante o processo e tem seu sinal captado e tratado pelo painel de comando e informado na IHM para informação ao laboratorista. A temperatura interfere diretamente na qualidade da produção e dessa forma o laboratorista necessita fazer o acompanhamento para intervir caso necessário.

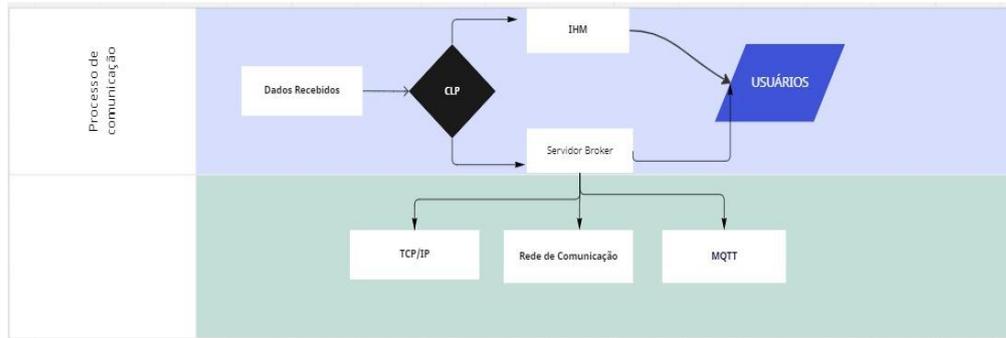
Há de se notar que as informações como frequência de rotação e estado do motor, temperatura e tempo de produção, são acessadas apenas pelo laboratorista no local e durante a produção, após este ciclo os dados são reiniciados sem um processo de armazenagem em um histórico. O processo de produção pode ocorrer dentre um período de 24 a 48 horas. Para o laboratorista é inviável o acompanhamento no local de produção de todas as informações devido a longa duração do processo. A atuação da empresa é a nível nacional e em áreas rurais, para que o time de engenharia e manutenção consiga acompanhar os projetos instalados e criar ações de melhorias há a necessidade do acompanhamento a distâncias dos dados de produção.

Os dados detectados como necessários para transmissão são:

- Frequência de rotação dos motores;
- Status dos motores: ligado ou desligado;
- Tempo de operação dos motores;
- Temperatura durante a produção;
- Volume de produto produzido;
- Quantidade de produções concluídas.

O painel de comando faz a leitura desses dados no CLP e podem ser visualizados na IHM. A camada interna da rede de comunicação, com ethernet, já está programada e disponível

para conexão no painel. A camada de transporte e de rede, protocolo TCP/IP, já está também



implementada no painel. Dessa forma resta apenas a camada de aplicação, que é a programação do protocolo MQTT para a transmissão dos dados se faz necessária. Com o MQTT implementado e o painel conectado ao servidor broker, os tópicos serão os dados citados anteriormente e os clientes que se inscreverão nesses tópicos são os produtores rurais, laboratoristas e o time de engenharia e manutenção da empresa. Sendo o publicador dos dados nos tópicos, o controlador lógico programável

Figura 7 - Fluxograma

Fonte: https://miro.com/app/board/uXjVOj6ymeg=

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como discutido anteriormente, para o laboratorista é inviável o acompanhamento no local de todas as informações devido a longa duração do processo. Sendo assim, o acompanhamento em tempo real dos dados a distância, se torna uma opção bastante viável. É possível ainda a criação de alertas em dispositivos como celulares ou computadores para que, se necessário, o laboratorista possa atuar da maneira necessária se deslocando ao laboratório apenas em momentos pontuais e urgentes.

Para a empresa é interessante que a equipe de manutenção tenha acompanhamento em tempo real e possa entrar em contato direto com os laboratoristas para solucionar problemas que possam acontecer. Além disso, com o histórico de dados, terão informações de tempo de operação dos motores, quantidade de produto produzido, temperaturas atingidas e dessa forma poderão criar ações como:

- Manutenção preventiva dos motores;
- Troca de elementos filtrantes dos filtros de água e saída de produto;
- Necessidade de aumento a potência ou não dos ar-condicionado que controlam a temperatura da sala de produção;

Importante também destacar que os dados de quantidade de produções concluídas e volume de produto são essenciais para o time comercial atuar de forma eficaz, conhecendo assim a demanda de cada cliente.

CONCLUSÕES

O estudo de um protocolo viável para aplicação em internet das coisas e telemetria, mais especificamente na utilização em uma produção agrícola, mostrou o protocolo MQTT como eficaz e assertivo para solução do problema identificado. Visto que esse vence todos os desafios de utilização da internet na zona rural. O protocolo se torna de simples implantação, pois o laboratório já está dotado dos equipamentos necessários para o seu desenvolvimento. A

implantação do protocolo MQTT visa trazer maior eficiência para a produção, diminuição de custos com manutenção corretiva e maior conhecimento da quantidade demandada pelo cliente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Douglas Carvalho pela parceria e paciência na orientação deste trabalho, a universidade UNA pela caminhada e disponibilidade do curso e a empresa Solubio que nos permitiu o estudo deste protocolo para uma possível aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONCEIÇÃO, W. N. E. D.; COSTA, R. M. D. R. **Análise do Protocolo MQTT para Comunicação IoT através de Cenário de Comunicação**, 2018.

CRAGGS, I. **HiveMQ**, 2022. Disponível em: <<https://www.hivemq.com/blog/mqtt-vs-http-protocols-in-iiot/>>. Acesso em: 15 nov. 2022.

HIVEMQ. **MQTT & MQTT 5 ESSENTIALS**. 978-3-00-067913-1. ed. [S.l.]: HiveMQ, v. I, 2020.

SILVA JÚNIOR, M. P. . **ANÁLISE ENTRE PROTOCOLOS HTTP E MQTT EM PROJETOS IOT**, 2021.

LEE, S. et al. **Correlation Analysis of MQTT Loss and Delay**, 2013.

NERI, R.; LOMBA, M.; BULHÕES, G. **MQTT**, 2019. Disponível em: <<https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2019-1/vf/mqtt/>>. Acesso em: 20 out. 2022.

RODRIGUES, I. M.; ZEM, J. L. **ESTUDO DOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO MQTT E COAP PARA**, 2014.

SONI, D.; MAKWANA, A. **A SURVEY ON MQTT: A PROTOCOL OF INTERNET OF THINGS(IOT)**, 2017.

TANEMBAUM, A.; WETHERHRAL, D. **Redes de Computadores**. [S.l.]: Pearson, 2015.