

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE PARA O PROCESSO DE MISTURA DE LÍQUIDOS UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS

FRANCISCO DE ASSIS MENDES SEREJO*, FRANCISCO BORGES CARREIRO*

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
Departamento de Eletroeletrônica
São Luís, Maranhão, Brasil*

Emails: francisco.serejo@acad.ifma.edu.br, fborges@ifma.edu.br

Abstract— This paper shows the development of a automation system to be used in a dosing plant by using technologies based in Internet of Things. Ultrasonics sensors and flow sensors were used in order to measure the liquid levels in the tanks and to measure the liquids flows among the tanks, respectively. The processing and storing data, as well as decision-making loop, is made by using a small and low cost computer called Raspberry Pi 2. The communication between the devices is made by using lightweight messaging protocol called MQTT that is used by small devices. The decision-making algorithm, as well as the Dashboard used to monitor the process of mixture, was developed by using a open source software used to edit work-flows, called node-RED. The validation process that ensure the effective operation of the system was made through sensor reading tests and powering actuators tests.

Keywords— Internet of Things, Raspberry Pi, Automation, MQTT.

Resumo— Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de automação para uma planta dosadora através do uso de tecnologias voltadas a Internet das Coisas. Foram utilizados sensores ultrassônicos e sensores de fluxo para realizar a medição do nível dos líquidos nos tanques e a leitura da quantidade de líquido transferida entre eles, respectivamente. O processamento e armazenamento dos dados e a tomada de decisões é realizada através do uso de um pequeno computador de baixo custo denominado Raspberry Pi 2. A comunicação entre os dispositivos é feita através de um protocolo de comunicação leve chamado MQTT que é largamente utilizado para pequenos dispositivos. O algoritmo de tomada de decisões, assim como o Dashboard desenvolvido para o monitoramento do processo de mistura, foi desenvolvido através do uso de um software livre de edição de fluxos de trabalho, denominado Node-RED. A validação do funcionamento do sistema foi feita através de testes de leitura dos sensores e testes de acionamento dos atuadores.

Palavras-chave— Internet das Coisas, Raspberry Pi, Automação, MQTT.

1 Introdução

A utilização da automação na indústria está relacionada a sistemas que realizam a substituição, completa ou parcial, da atividade humana através do uso de dispositivos digitais que geram um aumento na qualidade do que é produzido e na rapidez de produção (Moraes and Castrucci, 2000).

Segundo Navarro (2012), observa-se, nos últimos anos, um aumento acelerado de investimentos em tecnologias inovadoras a serem aplicadas no setor industrial. O grande desafio da aplicação de novas tecnologias no processo produtivo está na dificuldade em manter a qualidade do que é produzido e por isso é necessário que se faça o uso adequado dessas tecnologias (Milan et al., 2007).

Dentro do universo das inovações tecnológicas aplicadas a automação industrial, podemos citar a Internet das Coisas, que é definida como a interação de diversos objetos (computadores, sensores e até objetos de uso comum) que se conectam a uma rede de dados e trocam informações entre si, com o objetivo de realizar serviços ou tarefas (Carretero and García, 2014).

O termo “Internet das Coisas” foi primeiro utilizado por Kevin Ashton. Segundo Ashton (2009), a maior parte dos dados disponíveis na internet foi imputada por humanos através da digitação e

através da gravação de áudios, vídeos e fotos. Segundo ele, o problema da dependência dos computadores de informações providas por humanos é que eles passam a entender mais sobre ideias do que coisas.

A ideia da Internet das Coisas resume-se na possibilidade de conectar um número enorme de objetos (chamado “Coisas”) que possuem a capacidade de trocar informações em rede. Dessa forma, o ser humano deixa de ser o provedor principal de dados aos computadores, que passam a enxergar, ouvir e sentir o mundo independente das ações dos seres humanos (Ashton, 2009).

No contexto industrial, a Internet das Coisas é um dos pilares da nova fase da revolução industrial, conhecida como “Indústria 4.0”, que defende a conexão das etapas do processo produtivo através do uso de uma série de sensores e atuadores com conexão wireless, que permitem aos usuários o acompanhamento e controle remoto de todo o processo.

Svanberg (2016) afirma que o número de dispositivos wireless utilizados na automação industrial já somavam aproximadamente 5 milhões de unidade e apresentam uma estimativa de 60 milhões de unidades até 2021.

Como exemplo de trabalho que utiliza conceitos da Internet das Coisas para automação, pode-

mos citar o trabalho de Gupta et al. (2017), onde é apresentado uma proposta de automação de veículos através do uso de sensores ultrassônicos, sensores de umidade e sensores de luminosidade conectados a um Raspberry Pi 3 que é responsável por processar os dados enviados pelos sensores e por tomar decisões como ligar ou desligar o farol do carro.

Já no trabalho de Clarry et al. (2017), podemos encontrar o uso de tecnologias da Internet das Coisas aplicadas a mistura de líquidos. Nele é proposto um sistema utilizando válvulas e sensores de fluxos para controlar a mistura de vinhos para degustação. Os sensores de fluxo são conectados a um Raspberry Pi 3 que tem a função de processar os dados e enviar comandos de liga e desliga para as válvulas.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de automação industrial a ser utilizado em uma planta dosadora que é capaz de monitorar e controlar o volume, o fluxo de entrada e o fluxo de saída de líquidos em tanques presentes na planta. Ele tem, como objetivo, verificar a possibilidade da utilização de algumas tecnologias voltadas a Internet das Coisas dentro do ambiente industrial.

O sistema proposto neste trabalho possui semelhanças com o sistema apresentado em (Clarry et al., 2017), porém utiliza uma arquitetura diferente. O primeiro diferencial é o uso dos módulos NodeMCU V3, que permitem uma conexão sem fio dos sensores e atuadores com o Raspberry Pi 2. Isso facilita a montagem e a adição de novos módulos ao sistema, pois dispensa o uso de conectores entre os dispositivos. Outro diferencial do trabalho é a utilização do protocolo de comunicação MQTT, que é um protocolo utilizado em aplicações voltadas a Internet das Coisas. Além disso, o trabalho também conta com o armazenamento de dados na nuvem, o que permite uma melhor análise das condições de funcionamento do sistema proposto.

O trabalho está estruturado em capítulos. No capítulo 2 descreve-se o sistema desenvolvido, detalhando sua arquitetura e mostrando o princípio de funcionamento dos dispositivos utilizados. No capítulo 3 é detalhada a metodologia utilizada durante os testes e é mostrado os resultados obtidos. Já o capítulo 4 é reservado para considerações finais e para a apresentação de trabalhos futuros.

2 Arquitetura do sistema

2.1 A planta dosadora

A planta dosadora utilizada neste trabalho é uma versão simplificada em escala reduzida de uma planta industrial que envolve bombeamento de líquidos, controle de vazão e controle volumétrico.

Conforme é mostrado na figura 1, a planta consiste em 6 tanques conectados por tubulações

de pvc, onde os tanques “TQ01” e “TQ06” são caixas d’água com capacidade de 100 litros cada e os demais tanques são de material plástico com capacidade aproximada de 25 litros cada. As bombas 01 e 02 são eletrobombas com tensão nominal de 220 V AC e vazão aproximada de 416 ml/s. Já as bombas 03 e 04 são bombas centrífugas com tensão nominal de 12 V DC e uma vazão máxima de aproximadamente 86 ml/s.

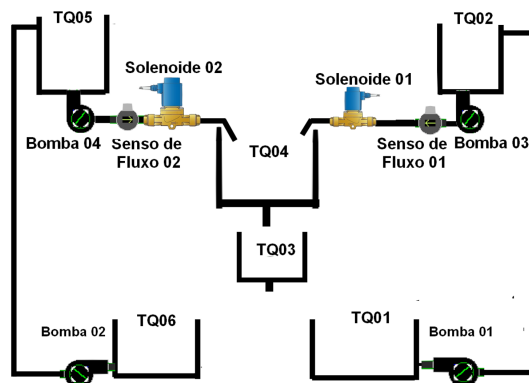


Figura 1: Planta dosadora

As válvulas solenoides utilizadas para acionar/interromper o fluxo de líquido entre os tanques possuem uma tensão nominal de 220 V AC e necessitam de pressão na linha de água de no mínimo ao equivalente a uma coluna de água de dois metros.

Os sensores de fluxo utilizados na planta funcionam através do efeito Hall. Esse tipo de sensor trabalha com uma turbina que contém, no seu interior, um tipo de hélice que ao receber o atrito de água gira. Junto a esta hélice tem-se fixado um ímã e paralelamente ao ímã tem-se um sensor de efeito Hall. Esse sensor gera um pulso a cada revolução do ímã, o que permite o sensoramento da quantidade de líquido transferida entre os tanques.

2.2 Visão Geral

O objetivo principal do sistema desenvolvido neste artigo é monitorar e controlar, de forma automatizada, o processo de mistura de líquidos na planta dosadora apresentada na subseção 2.1. Para isso, foram adicionados a planta uma série de sensores, atuadores e dispositivos embarcados, conforme mostrado na figura 2.

Sensores ultrassônicos modelo HC-SR04 foram utilizados para medir o nível de líquido presente nos tanques (“TQ02” e “TQ05”). O modelo é amplamente utilizado em aplicações com sistemas embarcados e possui um range de operação de 20 mm a 4 m, com uma precisão de 3 mm.

Os sensores de fluxo e os sensores ultrassônicos acoplados a cada tanque são conectados aos

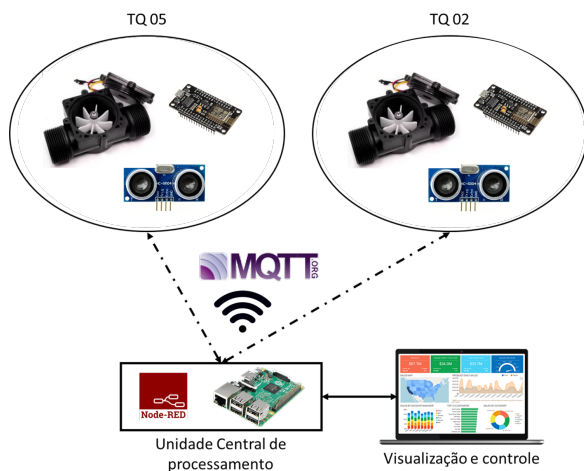


Figura 2: Visão geral do sistema desenvolvido

módulos NodeMCU V3, responsáveis por coletar os dados dos sensores e trocar informações com a unidade central de processamento. Um módulo NodeMCU V3 é uma plataforma de desenvolvimento desenvolvida para aplicações voltadas a Internet das Coisas e que possui uma série de pinos digitais de entrada e saída e se conecta a outros dispositivos via rede Wi-Fi.

Um Raspberry Pi 2 modelo B, um computador de baixo custo e pequenas dimensões desenvolvido pela Raspberry Foundation, é utilizado como unidade de processamento central. No sistema descrito neste artigo, este hardware foi utilizado para gerenciar a comunicação com os demais dispositivos, para executar o processamento dos dados e realizar tomadas de decisão.

O acionamento dos atuadores é feito através de um módulo relé de 8 canais controlado através dos pinos digitais dos módulos NodeMCU V3. Cada módulo controla três canais do módulo relé, totalizando o uso de 6 canais onde estão conectadas as bombas e as válvulas solenoide.

2.3 Rede de comunicação

A comunicação entre os dispositivos é feita através de uma rede sem fio, conforme mostrado na figura 3. O Raspberry Pi é conectado a um roteador Wirelles modelo Intelbrás WRN 240 através de um cabo Ethernet e os demais dispositivos são conectados via Wifi. A comunicação sem fio dos dispositivos reduz a utilização de cabos para comunicação, e facilita a adição de novos módulos ao sistema.

O protocolo de comunicação utilizado para gerenciar a comunicação entre os dispositivos é o MQTT, um protocolo de troca de mensagens focado no transporte de pequenas mensagens, de modo que a carga de dados seja pequena e o poder computacional necessário seja o mínimo possível, reduzindo assim o consumo de energia.

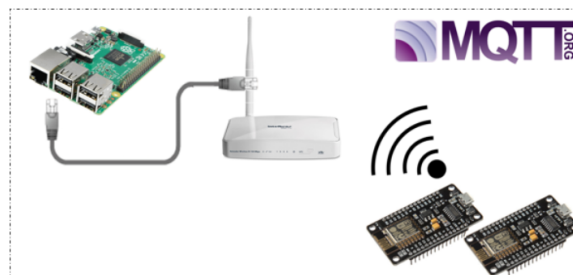


Figura 3: Comunicação entre dispositivos

No protocolo MQTT, os dispositivos são considerados clientes que se conectam a um servidor através do TCP/IP. Os dados a serem transmitidos são publicados aos tópicos que funcionam como endereços. Esse processo de envio de mensagens ao servidor é conhecido como “Publish”. Para ter acesso as mensagens publicadas ao servidor, os clientes precisam se inscrever aos tópicos de interesse através do comando “Subscribe” (Grgić et al., 2016). Quando subscrito a um tópico, o cliente passa a receber todas as mensagens publicadas ao mesmo.

Uma característica que torna o protocolo MQTT atrativo para aplicações voltada para a Internet das Coisas na indústria é a possibilidade de priorização de pacotes de dados através do QoS (sigla em inglês para qualidade de serviço). Segundo Lennvall et al. (2017), as redes industriais devem possuir níveis de QoS a fim de permitir a priorização de determinados pacotes de dados de acordo com o nível de importância das mensagens que são transmitidas. Os níveis possíveis de QoS para o protocolo MQTT são caracterizados na tabela 1.

Tabela 1: Níveis de QoS disponíveis

Qos	Descrição
0	Sem confirmação de entrega de mensagem
1	Mensagem entregue pelo menos uma vez
2	Mensagem entregue exatamente uma vez
3	Reservado

Fonte: Próprio autor

Na aplicação descrita neste trabalho, a constante troca de mensagens entre os dispositivos conectados a rede é crucial para o funcionamento correto do sistema e por isso foi utilizado um QoS de nível 1 em todas as comunicações realizadas, garantido assim a entrega das mensagens aos destinatários pelo menos uma vez.

2.4 Interface gráfica

A aplicação responsável por gerenciar a comunicação entre os dispositivos, assim como tomar as decisões de acionamento dos atuadores e gerenciar

a interface homem máquina foi criada através do software Node-RED instalado no Raspberry Pi.

O Node-RED é um software de edição de fluxos de trabalho muito utilizado em aplicações voltadas para a Internet das Coisas. Trata-se de uma plataforma web que possui interfaces baseadas em Node.js, onde aplicações são criadas através do conceito de programação orientada a eventos, que é um método de programação onde os fluxos são controlados por eventos externos, como o acionamento de um botão ou um clique em um mouse e por isso sua aplicação está diretamente voltada para o desenvolvimentos de interfaces voltadas ao usuário final (Santana et al., 2015).

A criação de aplicações utilizando Node-RED é feita através de sua interface gráfica, onde é possível realizar o posicionamento de blocos conhecidos como “nós”. Cada “nó” possui um código em JavaScript que é responsável por realizar uma tarefa específica. Esses nós podem ser conectados através de “Data Wires” que são pontes por onde os dados trafegam entre os nós. Um conjunto de nós conectados através de “Data Wires” é conhecido como “flow”, conforme mostrado na figura 4.

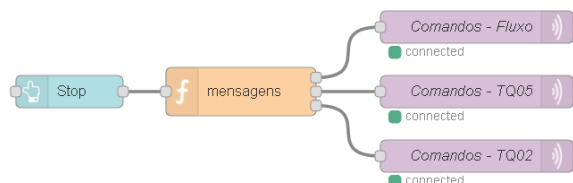


Figura 4: Exemplo de “Flow” desenvolvido no Node-RED

A interface do usuário com o sistema é feita através de um Dashboard que foi desenvolvido utilizando um grupo de nós denominado Dashboard UI, através do Node-RED. Um Dashboard representa uma exibição visual em uma única tela das principais informações de um processo a fim de garantir uma análise rápida e eficiente dos dados mostrados (Verbert et al., 2013). Para a aplicação criada nesse projeto, o Dashboard apresenta as principais informações da planta e também permite o controle da planta por parte do operador. Isso o torna atraente tanto para quem vai comandar a planta, como para quem está interessado apenas em acompanhar o funcionamento da mesma.

Aplicações controladas com CLP e que possuem alguma interface gráfica de acompanhamento do processo geralmente necessitam da instalação de programas de alto valor aquisitivo e que demandam grande processamento computacional, o que torna o processo muito caro e limita a quantidade de computadores onde possa ser visualizada a interface gráfica utilizada.

A grande vantagem do uso do Dashboard criado através de uma aplicação no Node-RED

é que o mesmo é acessado através de qualquer browser instalado em qualquer computador, sem que seja necessário a instalação de nenhum programa adicional e sem a utilização de muita carga computacional, o que o torna o processo simples e barato. Além disso, por necessitar apenas de um browser para ser acessado, o processo pode ser acompanhando utilizando dispositivos móveis, como celulares e tablets.

O Dashboard é dividido em 4 seções, conforme mostra a figura 5. Nas seções “Tanque 05” e “Tanque 02”, o usuário pode acompanhar, em tempo real, o nível dos líquidos nos tanques, assim como o estado dos atuadores conectados a cada um deles.

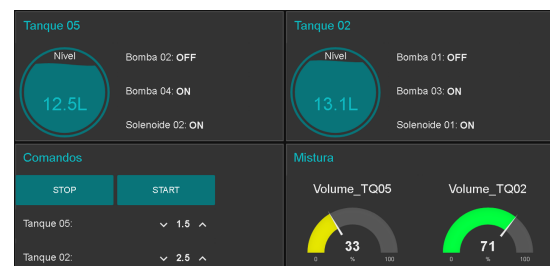


Figura 5: Interface do usuário com o sistema

Já na seção “Mistura”, o usuário consegue acompanhar a porcentagem de líquido já transferida do tanque 05 e 02 para o tanque 04. Os gráficos de medidor radial com arco circular utilizados para essa aplicação possuem um gradiente de cores, onde o vermelho é utilizado para porcentagens de 0% a 30%, o amarelo para porcentagens de 31% a 70% e o verde para porcentagens de 71% a 100%.

Na seção “Comandos”, o usuário define o volume dos líquidos a ser transferido de cada tanque, podendo escolher de zero a oito litros, com degraus de meio litro cada. A limitação de uma mistura máxima de oito litros para cada tanque foi feita baseada nos resultados dos testes que serão apresentados. A seção também possui dois botões para iniciar a finalizar o processo de mistura.

2.5 Armazenamento dos dados

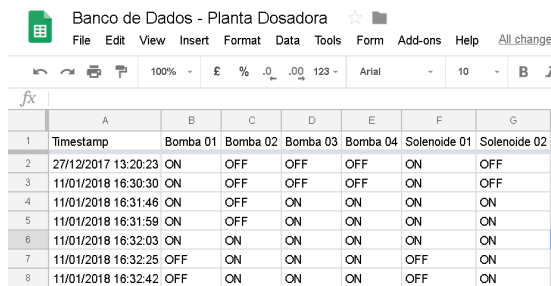
Uma das principais características que a Internet das Coisas traz para a indústria 4.0 é a facilidade de acesso a indicadores de todas as etapas do processo produtivo através do uso de sensores conectados a rede que se comunicam entre si. Informações essas que podem ser armazenados localmente ou armazenados em um dos vários serviços de armazenamento em nuvem para aplicações voltadas a Internet das Coisas.

Costa (2017) defende que as principais alterações na indústria em geral com a quarta fase da revolução industrial são:

- Alterações na expectativa do cliente;

- Produtos mais inteligentes e mais produtivos;
- Novas formas de colaboração e parcerias;
- Transformação do modelo operacional e conversão em modelo digital.

No projeto desenvolvido neste trabalho, um flow é responsável por coletar as informações sobre o estado dos atuadores e armazená-las em uma planilha hospedada na nuvem pertencente ao Google (Google Drive), conforme mostrado na figura 6. Além disso, para garantir a coleta de informações mesmo quando o acesso à internet for interrompido, as informações também são salvas em um arquivo texto na memória do *Raspberry Pi 2*.



	A	B	C	D	E	F	G
1	Timestamp	Bomba 01	Bomba 02	Bomba 03	Bomba 04	Solenóide 01	Solenóide 02
2	27/12/2017 13:20:23	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
3	11/01/2018 16:30:30	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
4	11/01/2018 16:31:46	ON	OFF	ON	ON	ON	ON
5	11/01/2018 16:31:59	ON	OFF	ON	ON	ON	ON
6	11/01/2018 16:32:03	ON	ON	ON	ON	ON	ON
7	11/01/2018 16:32:25	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON
8	11/01/2018 16:32:42	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON

Figura 6: Informações sobre atuadores salvas na nuvem

Através da troca de mensagens entre os dispositivos, o Raspberry Pi coleta o estado atual dos atuadores e armazena os dados em um arquivo de texto. Após o armazenamento, os mesmos dados são enviados para nuvem via URL através de um nó utilizado para executar um HTTP Request. Todo o processo é repetido a cada um minuto.

As informações salvas podem ser utilizadas para verificar o tempo de funcionamento de cada um dos atuadores. Através dessa análise, pode-se verificar a necessidade de manutenção de um equipamento específico ou até a substituição do mesmo.

3 Testes e resultados

O sistema de automação para o processo de mistura de líquidos descrito neste artigo foi validado através de testes experimentais. Foram realizados experimentos para validar o uso do protocolo MQTT como protocolo de comunicação, assim como experimentos para validar o uso dos sensores para a medição de nível dos tanques e para o acompanhamento da transferência de líquidos entre os mesmos.

3.1 Validação do protocolo MQTT

Para validar o uso do protocolo MQTT para a troca de mensagens entre os dispositivos instalados na planta dosadora, criou-se um aplicação no

Node-RED onde um fluxo de trabalho foi criado para medir o intervalo de tempo entre a publicação de mensagens pelo servidor contendo comandos de acionamento dos atuadores e o recebimento das mensagens contendo o estado dos mesmos.

Os testes foram realizados individualmente para cada um dos tanques e foram executadas 10 medições para cada mensagem publicada pelo servidor. Os dados foram armazenados em um arquivo de texto para serem analisados.

Nas tabelas 2 e 3, podemos observar a média das medições para cada mensagem publicada para os tanques. Ao analisar os resultados, podemos concluir que a troca de mensagem entre os dispositivos ocorre de forma rápida e eficiente, sem que cause impacto na performance da planta, validando assim o uso do protocolo de MQTT.

Tabela 2: Tempo de resposta MQTT - “TQ05”

Mensagem Publicada	Mensagem Recebida	Tempo (ms)
d_on	dosador_on	20,2
d_off	dosador_off	64,67
v_on	valvula_on	28,32
v_off	valvula_off	52,37
b_on	bomba_on	24,04
b_off	bomba_off	27,33

Tabela 3: Tempo de resposta MQTT - “TQ02”

Mensagem Publicada	Mensagem Recebida	Tempo (ms)
d_on	dosador_on	25,21
d_off	dosador_off	23,82
v_on	valvula_on	24,63
v_off	valvula_off	39,08
b_on	bomba_on	70,12
b_off	bomba_off	41,28

3.2 Validação dos sensores ultrassônicos

Os sensores ultrassônicos são utilizados para medir a distância entre dois objetos. Para obter-se a quantidade de líquido presente em um tanque através do uso de sensores ultrassônicos, é necessário a criação de uma relação entre a distância medida pelo sensor e o volume ocupado pelo líquido dentro do tanque.

Para se obter esta relação, o tanque “TQ05” foi preenchido com água em intervalos de 500 ml até alcançar um volume de 15 L. Em cada intervalo de enchimento, foram realizadas medidas utilizando o sensor. Todo o experimento foi realizado 3 vezes, a fim de se obter um número suficiente de amostras para a validação do uso de sensores ultrassônicos.

Com a média dos dados obtidos no experimento, uma função matemática foi escolhida para

representar a curva de relação entre a distância medida e o volume dos tanques através do uso do método dos mínimos quadrados para ajuste de uma função quadrática. A função é dada pela equação 1, onde d é a distância medida pelo sensor e v é o volume ocupado pelo líquido no tanque. A função escolhida possui um erro médio quadrático de 0,0251 e a sua aproximação com os dados experimentais pode ser observada na figura 7.

$$f(v) = 0,0116d^2 - 1,4892d + 35,5892 \quad (1)$$

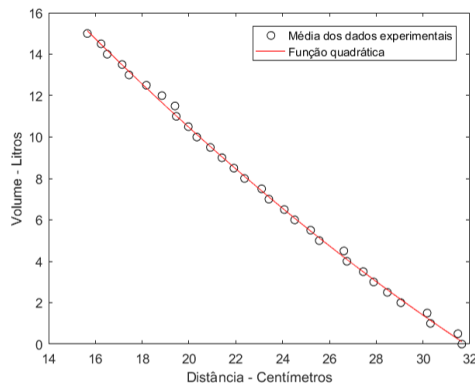


Figura 7: Curva da relação entre a função quadrática e a média dos experimentos

Para validar o uso dos sensores ultrassônicos, foram realizados testes como descritos a seguir:

- Uma proveta graduada de plástico de 650 ml foi utilizada para encher os tanques de forma gradativa;
- A cada quantidade de água adicionada aos tanques, o volume total e o volume indicado no *Dashboard* foram anotados;
- No fim dos testes, verificou-se o erro médio e máximo para validar o uso dos sensores;
- Os testes nos tanques foram feitos separadamente.

Para o tanque “TQ05”, os testes mostraram, durante o segundo experimento, um erro máximo de 341 ml para uma distância de 19,1 cm e um volume de 11,75 litros e um erro médio de 168 ml. Já para o tanque “TQ02”, o erro máximo ocorreu durante a terceira medição e foi de 287 ml para uma distância de 19,5 cm e um volume de 11,25 litros. Já o erro médio foi de 86 ml. O modelo dos sensores utilizados neste projeto pode apresentar um erro de leitura de até 3 mm, que, juntamente com o erro gerado pela função matemática utilizada para relacionar distância e volume, são os dois fatores que explicam os erros encontrados durante os testes realizados.

3.3 Validação dos sensores de fluxo

O monitoramento da quantidade de líquido transferida dos tanques “TQ05” e “TQ02” para o tanque “TQ04” é feito através do uso de sensores de fluxo de efeito Hall que funcionam através da geração de pulsos elétricos a cada rotação completada pelo rotor devido a passagem de água pelo mesmo.

Para monitorar o volume transferido de um tanque ao outro, é necessário que se encontre a relação entre o número de pulsos gerados pelo sensor e o volume de água transportado. Para encontrar esta relação, foram realizados diversos experimentos, onde uma quantidade conhecida de água foi transferida do tanque “TQ05” para o tanque “TQ04” e do tanque “TQ02” para o tanque “TQ04”. Ao fim de cada experimento, observou-se o número de pulsos gerados pelo sensor. Foram realizados experimentos para a transferência de 250 ml, 375 ml, 500 ml, 625 ml e 1000 ml, com 10 repetibilidades.

As curvas que relacionam o número de pulsos gerados com o volume transferido entre os tanques possuem um comportamento linear, uma vez que as bombas 03 e 04 possuem vazões constantes. Esse comportamento linear permite que as curvas de relação sejam representadas pelas funções dadas pelas equações 2 e 3 para o tanque 05 e 02, respectivamente, onde p é o número de pulsos gerados pelo sensor e v é o volume transferido entre os tanques. As figuras 8 e 9 mostram que as funções podem ser utilizadas sem que as mesmas apresentem erros significativos para o sistema.

$$f(v) = 2,3743p - 0,8409 \quad (2)$$

$$f(v) = 0,8751p - 8,1366 \quad (3)$$

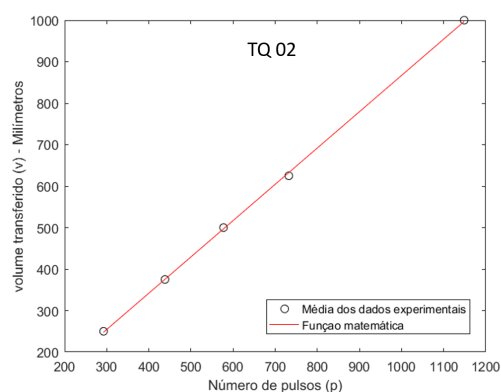


Figura 8: Curva da relação entre número de pulsos e volume transferido - “TQ02”

Para validar o uso dos sensores de fluxo, foram realizados testes onde, através do uso do *Dashboard* desenvolvido, observou-se a diferença no nível dos tanques após a transferência de diferentes quantidades de líquido pré-definidas no Dash-

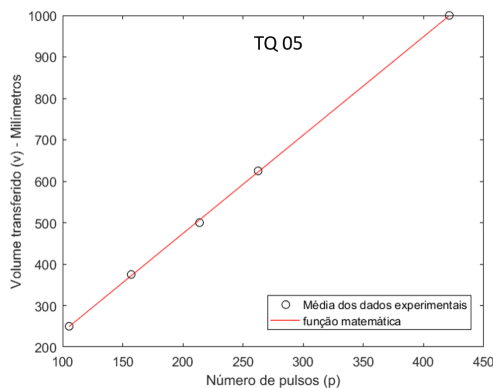


Figura 9: Curva da relação entre número de pulsos e volume transferido - "TQ05"

board utilizado para comandar a planta. Para cada quantidade de líquido transferida, foram realizados testes com diferentes níveis iniciais, onde observou-se que 5 repetibilidades forneceriam dados suficientes para uma boa análise. Para obter melhores resultados e uma melhor análise, os testes foram realizados separadamente para o tanque "TQ02" e para o tanque "TQ05".

Para o tanque "TQ05", os resultados dos testes realizados mostraram um erro médio de 160 ml e um erro máximo de 420 ml. Já para o tanque "TQ02", os resultados mostraram um erro médio de 170 ml e máximo de 450 ml.

Os erros apresentados durante os testes são resultado da associação dos erros de leitura do nível dos tanques através do sensor ultrassônico, do erro de conversão do número de pulsos em volume transferido e do erro inerente ao próprio sensor. Os testes foram realizados de tal forma, que os erros podem ser considerados como erros totais de todo o sensoriamento presente nos tanques, uma vez que nele estão presentes o erro do sensor ultrassônico e do sensor de fluxo de cada tanque.

Os testes realizados para verificar a leitura do nível de líquido dos tanques apresentaram um erro máximo de 341 ml para o tanque A e de 287 ml para o tanque B. Conclui-se, então, que a maior parcela dos erros de leitura do nível de líquido transferido de um tanque para o outro ocorre devido ao erro de leitura gerado pelo sensor ultrassônico, deixando uma pequena parcela para o erro de leitura do sensor de fluxo.

4 Considerações finais

No que diz respeito ao sistema desenvolvido, os testes descritos neste artigo demonstram que, para o estudo de caso desenvolvido neste trabalho, foi possível realizar o controle de uma planta dosadora apenas utilizando tecnologias voltadas a Internet das Coisas o que mostra a possibilidade do controle de processos industriais através da Internet das Coisas.

Assim como todo sistema de automação, o sistema desenvolvido nesse trabalho possui limitações geradas pela escolha do *hardware* utilizado e pela configuração do *software*. As principais limitações são:

- O erro máximo de aproximadamente meio litro durante o processo de mistura torna a planta dosadora adequada para misturas de volume suficientemente alto ao ponto que o erro do sistema possa ser considerado desprezível.
- Os modelos do sensor de fluxo e da bomba de transferência utilizados na planta são adequados para o uso de água, por isso todos os testes foram realizados utilizando água. Para o funcionamento adequado da planta, deve-se utilizar líquidos com densidades próximas a densidade da água.

4.1 Trabalhos futuros

A flexibilidade do sistema desenvolvido torna fácil a adição de novos atuadores e sensores a planta, assim como a configuração de novas aplicações. Como trabalhos futuros, a fim de aperfeiçoar o uso da planta dosadora, tem-se as seguintes sugestões:

- Substituir os sensores e atuadores por dispositivos mais sensíveis, diminuindo o erro e possibilitando o uso da planta para aplicações que envolvam mistura de volumes menores que 500 ml.
- Realizar testes com a utilização de protocolos de comunicação mais complexos a fim de melhorar a segurança na troca de mensagens entre os dispositivos, tornando possível o acesso remoto ao Dashboard sem comprometer a segurança da aplicação.

Referências

- Ashton, K. (2009). That internet of things thing, *RFID Journal* **22**(7).
- Carretero, J. and García, J. D. (2014). *The Internet of Things: connecting the world*, Vol. 18, Springer.
- Clarry, C., Temple, R. and Moren, M. (2017). Blend it wine blending distribution system.
- Costa, C. d. (2017). Indústria 4.0: o futuro da indústria nacional, *POSGERE-Pós-Graduação em Revista/IFSP-Campus São Paulo* **1**(4): 5–14.
- Grgić, K., Špeh, I. and Heđi, I. (2016). A web-based iot solution for monitoring data using mqtt protocol, *Smart Systems and Technologies (SST), International Conference on*, IEEE, pp. 249–253.

- Gupta, V., Mane, V., Pradhan, M. R. et al. (2017). Iot based car automation using raspberry pi, *Imperial Journal of Interdisciplinary Research* **3**(4).
- Lennvall, T., Gidlund, M. and Åkerberg, J. (2017). Challenges when bringing iot into industrial automation, *AFRICON, 2017 IEEE*, IEEE, pp. 905–910.
- Milan, G. S., Pretto, M. R. and Basso, L. C. (2007). Um estudo de caso sobre o funcionamento de um armazém automatizado, *Revista Eletrônica de Administração* **13**(1): 203–230.
- Moraes, C. C. d. and Castrucci, P. d. L. (2000). *Engenharia de Automação Industrial*, Grupo Gen-LTC.
- Navarro, D. A. (2012). Estudo dos fatores para avaliação de projetos na gestão de portfólio em uma empresa de bens de consumo, *Revista de Gestão e Projetos* **3**(3): 291.
- Santana, V. J., de Souza, G. S., Correia, R. C. M., Garcia, R. E., Eler, D. M. and Olivete, C. (2015). Scalable information system using event oriented programming and nosql, *Information Systems and Technologies (CISTI), 2015 10th Iberian Conference on*, IEEE, pp. 1–6.
- Svanberg, J. (2016). *Industrial Automation and Wireless IoT*, Berg Insight.
- Verbert, K., Duval, E., Klerkx, J., Govaerts, S. and Santos, J. L. (2013). Learning analytics dashboard applications, *American Behavioral Scientist* **57**(10): 1500–1509.