

JEANE SANTANA SANTOS
GLAICY KELLY PEREIRA DOMICIANO
TABATA APARECIDA DE OLIVEIRA SILVA
GUSTAVO TOMAS GALO
CLÁUDIO RODRIGO TORRES
WELLINGTON BATISTA DE SOUSA

INTERNET OF THINGS APPLIED TO THE MONITORING OF CHEMICAL EFFLUENTS**INTERNET DAS COISAS APLICADA AO MONITORAMENTO DE EFLUENTES QUÍMICOS****JEANE SANTANA SANTOS**

<https://orcid.org/0009-0002-8038-5942>/<http://lattes.cnpq.br/1369204502899163>/jeanefasb@yahoo.com.br
FATEC SBC - Adib Moisés Dib, São Bernardo, São Paulo.

GLAICY KELLY PEREIRA DOMICIANO

<https://orcid.org/0009-0003-8474-3994>/<http://lattes.cnpq.br/2280370764330971>/glaicy89@gmail.com
FATEC SBC - Adib Moisés Dib, São Bernardo, São Paulo.

TABATA APARECIDA DE OLIVEIRA SILVA

<https://orcid.org/0009-0004-6220-9966>/<http://lattes.cnpq.br/4493180414853530>/tabata.ap.oliveira@hotmail.com
FATEC SBC - Adib Moisés Dib, São Bernardo, São Paulo.

GUSTAVO TOMAS GALO

<https://orcid.org/0000-0001-9693-6468>/<http://lattes.cnpq.br/7536719935967072>/gustavotg_galo@hotmail.com
ETEC SBC- Lauro Gomes, São Bernardo, São Paulo.

CLÁUDIO RODRIGO TORRES

<https://orcid.org/0000-0001-9796-5797>
<http://lattes.cnpq.br/1455540390103569>/claudio.torres@fatec.sp.gov.br
FATEC SBC - Adib Moisés Dib, São Bernardo, São Paulo.

WELLINGTON BATISTA DE SOUSA

<https://orcid.org/0009-0002-3113-7408>/<http://lattes.cnpq.br/9686022954869257>/wellington.sousa5@fatec.sp.gov.br
FATEC SBC - Adib Moisés Dib, São Bernardo, São Paulo.



Recebido em: 10/07/2024

Aprovado em: 05/11/2024

Publicado em: 03/12/2024

RESUMO

Este artigo aborda uma análise comparativa baseada em estudo de caso da eficácia da implementação da Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*) no tratamento de água contaminada com corante sintético azul, por meio de um ensaio com um artefato tecnológico desenvolvido baseado na estrutura do Jar Test. Para a realização da comparação, em parceria com o curso de Química da Escola Técnica Lauro Gomes, os alunos realizaram um estudo do tratamento de água contaminada com corante azul, por meio do uso de amostras

laboratoriais com diferentes concentrações do efluente químico e diferentes adições de agentes floculantes, coletando os valores de referência dos parâmetros de pH. A integração da *IoT* em um processo automatizado apresentou eficiência e flexibilidade no processo de coleta dos valores de qualidade, apresentando de forma gráfica a mudança dos valores conforme a variação dos parâmetros de pH e turbidez.

Palavras-chave: indústria 4.0; internet das coisas; jar test, ph turbidez.

ABSTRACT

This article discusses a comparative analysis based on a case study of the effectiveness of implementing the Internet of Things (IoT) in treating water contaminated with synthetic blue dye, using a technological artifact developed based on the Jar Test structure. In collaboration with the Chemistry course at Lauro Gomes Technical School, students conducted a study on treating water contaminated with blue dye using laboratory samples with different concentrations of chemical effluent and varying additions of flocculating agents, while collecting reference values for pH parameters. The integration of IoT in an automated process demonstrated efficiency and flexibility in collecting quality values, graphically displaying changes in pH and turbidity parameters.

Keywords: industry 4.0; internet of things; jar test; ph; turbidity.

1 INTRODUÇÃO

A implementação da tecnologia está em constante crescimento na contemporaneidade, com uma ampla gama de aplicações. A transformação da sociedade e economia está sendo impactada pelo avanço tecnológico, seja com a inteligência artificial, uso da robótica avançada, internet das coisas (*Internet of Things – IoT*), ciência de dados, entre outras tecnologias, que vem contribuindo para a mudança do que era habitual e moldando o futuro (MAGRANI, 2018).

As vantagens de aplicação da tecnologia à produção são as criações de oportunidades, maximização da riqueza, automatização do sistema, introdução de robôs ao mercado de trabalho, aplicação de inteligência artificial, *Big Data*, entre outros. Essas tecnologias que o mundo vem experimentando, correspondem ao resultado das revoluções ao longo da história (PERELMUTER, 2019).

Dessa forma, um aspecto importante é a presença dessas novas tecnologias no cenário da Indústria 4.0. Ela é definida pela junção da automação e tecnologia da informação. E tais inovações vêm sendo aplicadas à manufatura, onde são substituídos os trabalhos manuais por máquinas. Com a Quarta Revolução a realidade industrial está mais eficaz e eficiente, com grande inteligência, rapidez e precisão (*FIA Business School*, 2021).

Outro ponto de atenção dentro da aplicação de tecnologias contidas no aspecto da Indústria 4.0 é o olhar sustentável. A sustentabilidade ambiental trata-se do conceito de obter um consumo

consciente dos recursos naturais para que as futuras gerações não sofram seu consequente esgotamento (*GREEN*, 2021). Costa e Telles (2007), informam que a preservação do ambiente pode ser feita em ações diárias, com reutilização e reciclagem de embalagens, produtos menos poluentes, bem como o reuso de água.

Dito isto, um dos cenários que merece atenção para o desenvolvimento de técnicas sustentáveis é o segmento de processos de fabricação da indústria têxtil. Monteiro (2018) aborda que o principal elemento do processo de produção têxtil é a água, pois além de ser utilizada como meio de transporte dos produtos químicos, seja para a adição ao processo ou a remoção dos indesejados, os processos contêm etapas que demandam grande volume de água, uma delas é chamada de beneficiamento, que consiste no processo de aprimoramento visual e tátil do tecido. No processo de tingimento uma das vertentes do beneficiamento, são utilizados cerca de 16 a 20 litros de água para uma camiseta comum de 200 g, e devido a esse alto volume de água, proporcionalmente o volume de adição de efluentes e geração de cargas poluentes é elevado.

A água resultante dos processos industriais têxteis contém diversos produtos químicos que não podem ser descartados no meio ambiente, mas também não podem ser reutilizados nos processos industriais têxteis. Dentro dos laboratórios, essa água é submetida a diversos tratamentos que ocorrem de maneira manual para purificar os efluentes e permitir sua reutilização em outros processos.

O presente estudo tem como objetivo apresentar a comparação da eficácia da implementação de recursos disponíveis dentro do conceito da internet das coisas (*IoT*) aplicada aos processos de tratamento da água contaminada com um efluente químico, respectivo a um corante azul sintético, muito encontrado dentro dos processos de fabricação têxtil.

O método de estudo utilizado consiste em uma parceria com alunos do curso técnico em Química da Escola Técnica Lauro Gomes (Etec Lauro Gomes), que realizaram o desenvolvimento da amostra, sendo o processo de tratamento da água contaminada, denominado como floculação, e será feito a comparação da técnica utilizada para a obtenção dos dados de qualidade da água com a relação da implementação de um sistema integrado com *IoT*.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria 4.0 e suas tecnologias

A Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 é definida pela associação da automação industrial e várias tecnologias como robótica avançada, *cyber* segurança, *IoT*, manufatura aditiva, computação em nuvem etc. Nesta revolução houve grande ênfase na produtividade por proporcionar crescimento em desenvolver os produtos em larga escala e competência de manuseio de recursos (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2023).

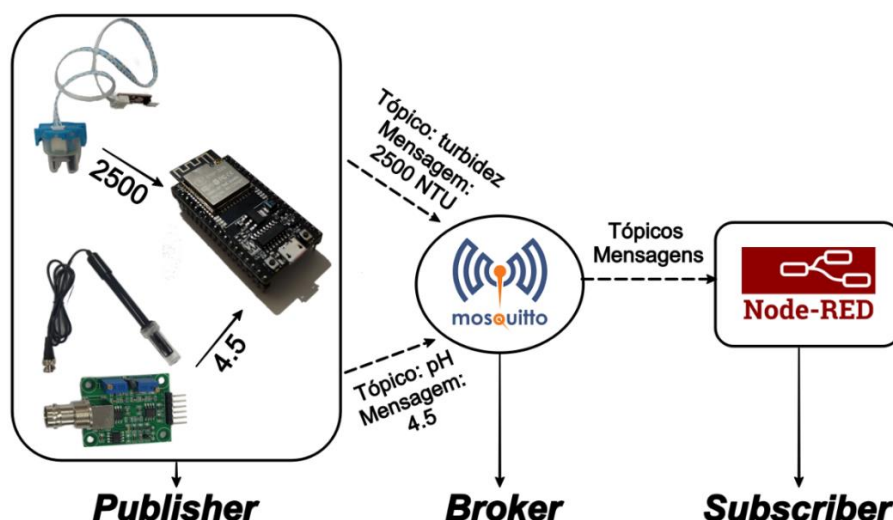
Uma tecnologia que vem a agregar com essa revolução é a *IoT*, por integrar eletrônicos, *software*, sensores e computação distribuída. Essa tecnologia é capaz de integrar, transmitir, monitorar e controlar esse processo (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2023).

Para Godoi e Araújo (2019) a *IoT* é o tipo de tecnologia que conecta os equipamentos em tempo real e faz trabalhos mais efetivos. Desta forma, a *IoT* vem facilitando as tarefas do cotidiano pela conexão de eletrodomésticos interligados à internet, por computadores ou celulares.

Para a realizar a implementação da *IoT* é preciso que seja utilizado um protocolo de comunicação para a troca das informações, um que ganha grande destaque dentro das aplicações com *IoT* é o *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)*. A Figura 1 apresenta a arquitetura de comunicação do *MQTT* (SANTOS, 2022).

O *MQTT* é um padrão de troca de mensagens baseado na arquitetura *publisher/subscriber*, elementos ilustrados na Figura 1, onde o publicador é o elemento responsável por emitir uma dada mensagem em um determinado tópico, como por exemplo um sensor, e subscritor é o elemento que estará inscrito em um determinado tópico, aguardando a mensagem do publicador, que pode ser representado por um computador. E o responsável pelo gerenciamento das mensagens entre os tópicos é nomeado como *broker* (SANTOS, 2022).

Figura 1 - Arquitetura do protocolo MQTT



Fonte: Dos autores (2024)

2.2 Dashboards e sua interação com IoT

Arbex (2013) define *dashboards* como painéis que exibem dados visualmente, utilizando gráficos e mapas no contexto da computação e informática, com características que variam conforme o segmento. Esses *dashboards* facilitam o acesso e a compreensão dos dados organizacionais para gestores e usuários, aprimorando o acompanhamento de desempenho e simplificando a tomada de decisões e discussões de negócios (CALDEIRA, 2010).

Dashboards interativos, conhecidos por suas interfaces visuais dinâmicas, permitem que os usuários visualizem e interajam com dados em tempo real. No Brasil, sistemas de *IoT* são empregados para monitorar a qualidade do ar, níveis de poluição e condições climáticas. *Dashboards* interativos possibilitam que gestores ambientais e pesquisadores visualizem dados em tempo real, identificando rapidamente mudanças ambientais e respondendo adequadamente. Por exemplo, a Plataforma Ambiental Brasileira usa sensores *IoT* para monitorar desmatamentos e queimadas (SOUZA et al., 2021).

2.3 Definição de efluente

Os efluentes são provenientes dos processos produtivos industriais e dos processos domésticos. (OKENA, 2024). Os efluentes domésticos são produzidos pelos esgotos sanitários, as águas descartadas das máquinas de lavar, dos banheiros, das cozinhas que são utilizadas nas casas ou em edifícios. São classificados efluentes domésticos de esgotos, caixa de gorduras e fossas sépticas (VALORIZA AMBIENTAL, 2022).

As características dos efluentes nos processos industriais estão associados nos aspectos da cor, potencial hidrogeniônico – pH, na demanda bioquímica de oxigênio – DBO e na demanda química de oxigênio – DQO (OKENA, 2024).

Todavia se esses efluentes foram descartados de forma incorreto na natureza podem causar impacto ambiental como contaminação do ar, rios e lagos entre outros. Vale ressaltar que a Resolução 357 de 17 de março de 2005, definida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, faz a classificação dos padrões que os efluentes podem ser descartados no meio ambiente (INSTITUTO DE TECNOLOGIA E PESQUISA, 2022).

2.4 Processo de floculação

O processo de floculação consiste na adição de um agente químico denominado como floculante à água contaminada com efluentes, sendo o agente químico responsável por promover a aglomeração das partículas suspensas na água, deixando-as mais pesadas e facilitando o processo de remoção dessas partículas. Este processo é de extrema importância para auxílio em redução do valor de turbidez da água, que se refere a medição da resistência da água em relação a passagem de luz. Para a realização do processo de floculação é utilizado o Jar Test, apresentado na Figura 2, é um equipamento laboratorial, com o objetivo de realizar agitação moderada e rápida das amostras para geração de flocos na água analisada. Na execução desse método também é utilizado equipamentos de medição para medir o pH e assim definir a dosagem de coagulante (SPLABOR, 2023).

Figura 2 - Modelo de Jar Test



Fonte: <https://www.fusati.com.br/jar-test-ensaio-de-floculacao/>

Para a definição dos agentes químicos a serem adicionados ao processo é utilizado uma técnica de análise chamada titulação ácido-base. Essa técnica laboratorial consiste em determinar qual é a concentração de uma solução. O processo é definido por uma concentração conhecida, que é o titulante e a outra solução desconhecida que é o titulado. Portanto a titulação ácido-base serve para neutralizar a concentração de substância envolvida (VIANA, 2021).

3. Método e materiais

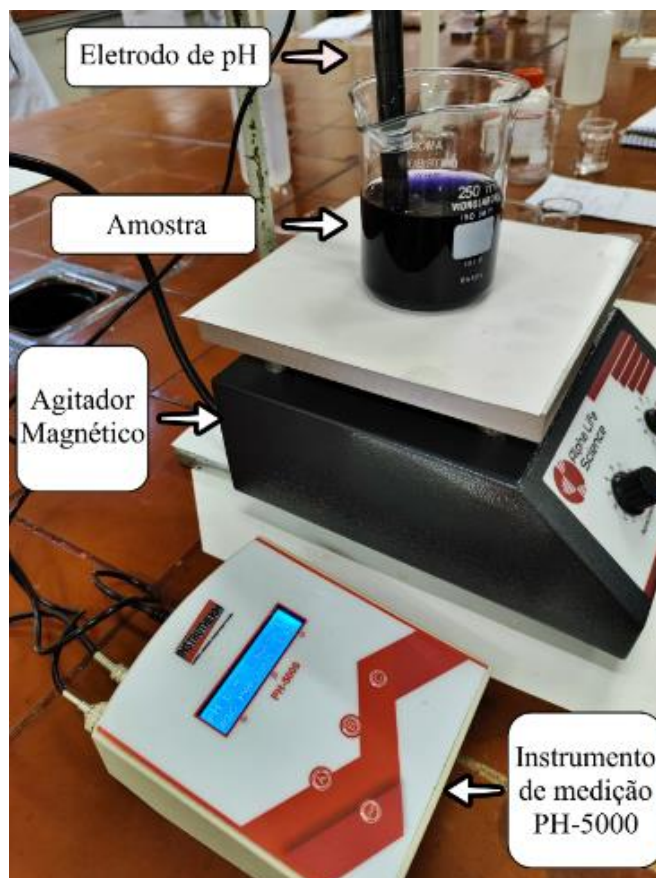
O trabalho proposto é baseado em experimentos com uso da *IoT* nas coletas de dados de água contaminada com efluentes. O método de pesquisa é o estudo de caso com experimentos realizados em laboratório químico, simulando a água contaminada com o corante azul sintético, semelhante ao utilizado na indústria têxtil. A pesquisa busca a obtenção de coletar os dados de pH e turbidez no processo químico de floculação através do desenvolvimento do sistema físico com a implementação do pilar da Manufatura Avançada, sendo ele a *IoT*.

3.1 Desenvolvimento da amostra

A pesquisa foi realizada de maneira experimental, e a amostra realizada para o desenvolvimento do estudo foi feita em laboratório, por meio de uma parceria com um grupo dos alunos Arthur Lopes Palma dos Santos, Gabriel Silvestre da Silva, Guilherme Gomes Maia, Maurício Luiz Oliveira Carvalho, Nathalie Silva Felix e Victor Scherk Cardoso do curso técnico em Química da Escola Técnica Lauro Gomes – Etec Lauro Gomes, sob orientação do professor Gustavo Tomas Galo. O método consistiu na adição do corante azul sintético em água corrente, em diferentes concentrações. Antes de iniciar o processo de floculação, os alunos realizaram a coleta dos parâmetros de pH das amostras, como demonstrado na Figura 3.

Na Figura 3, é apresentado o instrumento de medição de leitura do valor de pH, o modelo PH-5000 da marca Instrutherm. O instrumento de medição é equipado com um indicador digital alfanumérico com 2 linhas de 16 caracteres e comunicação via USB e RS-232 (INSTRUTHERM, 202-). Após a leitura, os alunos realizaram a dosagem e adição do Sulfato de Alumínio [$Al_2(SO_4)_3$] na amostra e utilizaram agitadores magnéticos, que são equipamentos utilizados para realizar misturas, e sua finalidade foi para simular o funcionamento do equipamento Jar Test, devido a falta do equipamento. Para gerar a reação de separação da mistura do corante com a água, foi necessário realizar a agitação em modo rápido, de 2 a 5 minutos, e em modo lento de 15 a 30 minutos.

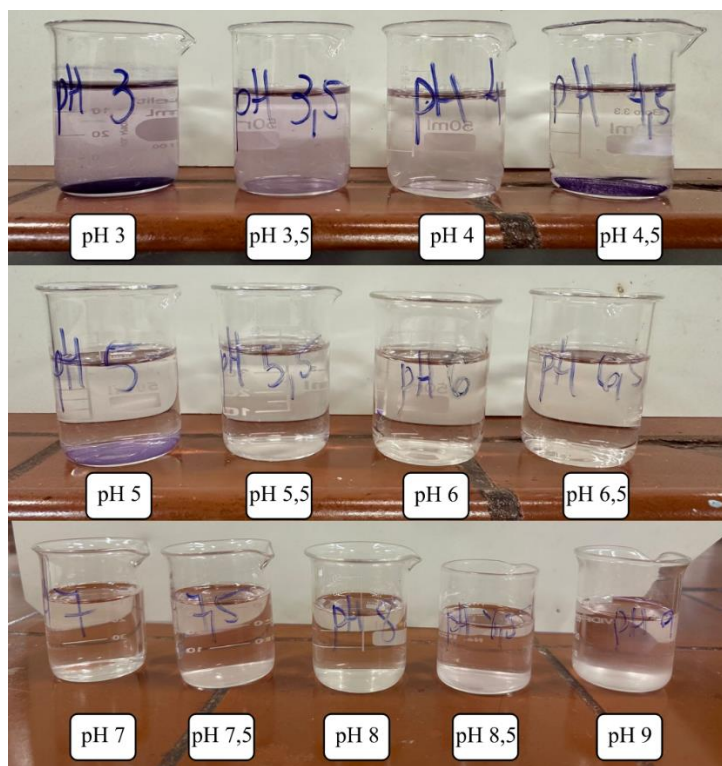
Figura 3 – Experimento de Coleta do valor de pH



Fonte: Laboratório químico da Etec Lauro Gomes (2024)

Após a simulação, foi feita uma nova leitura do valor de pH pois, o sulfato de alumínio realiza a alteração no valor de referência coletado no início do ensaio, tornando necessário a adição de mais uma solução, o Hidróxido de Sódio (NaOH) para quando a amostra atinge valores entre 1 e 6 de pH que é indicativo de um líquido mais ácido, ou do Ácido Clorídrico (HCl) para quando a amostra atinge valores entre 8 e 14 de pH que é indicativo de um líquido mais básico (alcalino). A Figura 4 apresenta o resultado do processo realizado nas amostras laboratoriais.

Figura 4 - Resultado do processo experimental de floculação feito em laboratório



Fonte: Laboratório químico da Etec Lauro Gomes (2024)

Para considerações finais, os alunos realizaram a construção da curva de titulação e definição dos parâmetros de concentração e volume de cada solução aplicada no processo de floculação.

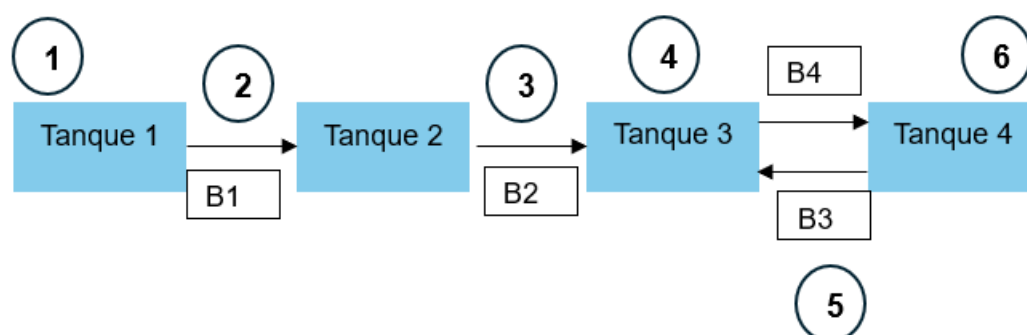
3.2 Descritivo do processo

De acordo com a descrição das etapas que foram tomadas para o desenvolvimento da amostra, estabelecemos um diagrama de processos, para realizar o levantamento dos materiais necessários para a construção do protótipo. a concepção do modelo do processo é apresentada na figura 5 seguido de sua descrição.

O diagrama de processos, apresentado na Figura 5, é representado em quatro etapas indicadas conforme o número circulado em azul:

- **primeira etapa:** tanque um: esse recipiente é reservado para o recebimento de água que contém o efluente. quando o volume de água atingir o sensor de nível instalado no tanque um, o sensor computará um sinal, e assim o sistema realizará a leitura dos parâmetros de qualidade da água, que são ph e turbidez, e acionará a primeira bomba (um), direcionando o líquido ao tanque dois.
- **segunda etapa:** tanque dois: esse recipiente é reservado para o processo de dosagem e inserção do $ai_2(so_4)_3$ e agitação; rápida e lenta. após o período de mistura, o líquido será direcionado ao tanque três.
- **terceira etapa:** tanque três: esse recipiente é reservado para a releitura dos dados de qualidade da água e tomada de decisão: como dito anteriormente, o $ai_2(so_4)_3$ altera o valor de ph da água, se o valor de ph indicado for diferente de sete, o líquido será direcionado ao tanque quatro. caso o valor de ph seja respectivamente sete, o processo será finalizado, onde o líquido poderá ser destinado para reuso.
- **quarta etapa:** tanque quatro: esse recipiente é reservado para o processo de dosagem e inserção do naoh ou hcl, caso o líquido apresente um valor de solução ácida, será adicionado o naoh e caso o líquido apresente um valor de solução mais alcalino, o hcl. após a inserção ocorrerá a agitação, rápida e lenta, e com sua finalização, o líquido retornará para o tanque três, para uma nova leitura dos valores de qualidade da água.

Figura 5 - Diagrama de processos



Fonte: Dos autores (2024)

3.2 Desenvolvimento do protótipo

Os elementos fundamentais para a construção do protótipo devem atender as necessidades definidas pelo diagrama de processos. Partindo de uma estrutura capaz de comportar os elementos de entrada de informações; como os sensores, elementos de saídas; como motores, e um recurso para gerenciar o fluxo de informações e comandos; como uma plataforma de prototipagem. A relação de materiais para o desenvolvimento do protótipo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Lista de materiais

Item	Descrição	QTD. (Pçs)
1	Bomba reservatório de água 12V (MVB7900)	4
2	Minibomba peristáltica 12V (NKP-DC-B10B)	3
3	Micromotor DC 12V/ 7000RPM (AK360/78.8P12S7000S)	2
4	Sensor de turbidez para Arduino (ST100)	2
5	Sensor pH - Módulo de leitura (Ph-4502c) e eletrodo sonda BNC	2
6	Sensor de nível de água horizontal: interruptor bóia (Zpc4)	4
7	Chapas de madeira MDF 300x400	6
8	Jarro PVC	4
9	Kit parafuso, porca e arruela M4	25
10	Hélice em material ABS	2
11	Placa de fenolite 200mm x 125mm	1
12	Conector Borne KRE duas vias	16
13	Conector Borne KRE três vias	4
14	Conector Jack J4 fêmea PCI2,5mm	1
15	Resistor de 5,6 Ohms 1/4w	12
16	Resistor de 1k Ohms 1/4w	4
17	Resistor de 47 Ohms 1/4w	3
18	Resistor de 10 Ohms 1/4w	2
19	Diodo retificador 1N4007	9
20	Regulador de tensão LM7805	1
21	Transistor BJT TIP31C NPN	4
22	Transistor BJT BD135 NPN	2
23	Transistor BJT BC337 NPN	3
24	Capacitor eletrolítico de 0,1uF 16V	1
25	Capacitor eletrolítico de 10uF 26V	1
26	Capacitor eletrolítico de 10uF 16V	1
27	Cabo micro USB	1
28	Fio automotivo duplo 0,75mm	3m
29	ESP32-S 38 pinos NodeMCU-32 v1.3	1
30	Fonte de alimentação LEY-62 12V 3A	1

Fonte: Dos autores (2024)

A construção do protótipo foi membrada em: desenvolvimento da estrutura, desenvolvimento da interface de potência, integração com elementos eletromecânicos e implementação para um sistema de *IoT*.

3.3.1 Desenvolvimento da estrutura

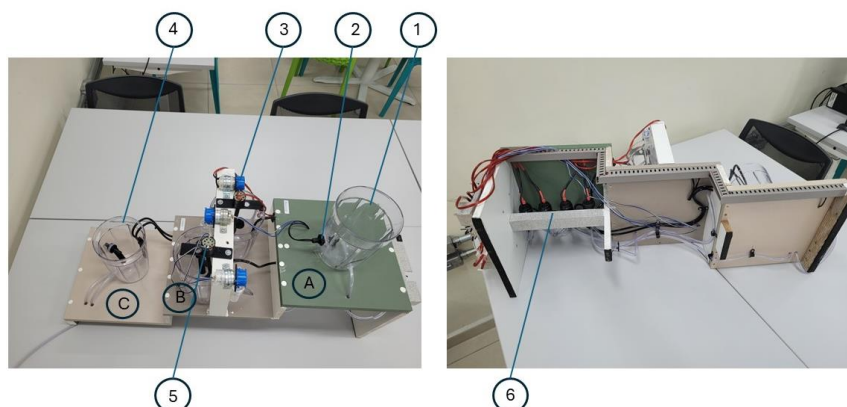
A estrutura é formada por uma sequência em formato de níveis, partindo do nível mais alto para o mais baixo. Para construí-la, utilizou-se madeira de 30x30 cm para criar a base e a sustentação do protótipo. Conhecimentos de desenho técnico foram aplicados para fazer um croqui da ideia, juntamente com conhecimentos mecânicos e de montagem para realizar as furações e fixar a estrutura.

Os jarros utilizados são de acrílico e foram perfurados para permitir a conexão das mangueiras. As mangueiras transparentes representam a saída de água, enquanto as de cor preta representam a entrada de água nos recipientes. Para garantir o fluxo de água, foram usadas bombas de aquário, dispostas na parte inferior da estrutura, que pode ser considerada a casa de bombas do projeto. Sensores de nível foram instalados em todos os jarros para limitar o nível de água, indicando o nível máximo permitido.

Na segunda etapa, onde ocorre a mistura dos elementos, foram elaboradas hélices com o auxílio de desenho em 3D e da manufatura aditiva a qual permite a impressão de peças em 3D com o uso da impressora e material PLA. Essas hélices estão conectadas ao eixo de um motor do tipo DC. Conforme o eixo gira, as hélices se movimentam, permitindo a mistura da água com os elementos químicos.

Os químicos são aplicados com o auxílio de bombas peristálticas de dosagem. Um lado da bomba é responsável por puxar o químico, enquanto o outro lado realiza a dosagem dentro dos jarros. A Figura 6 está elencado as partes que compõem o protótipo:

Figura 6 - Estrutura do protótipo



Fonte: Dos autores (2024)

Os índices são correspondentes a:

- A - Andar que recebe a água contaminada realizada dentro do processo;
- B - Processo de dosagem de químicos para neutralizar os efluentes presentes no líquido;
- C - Andar que recebe a água após o processo de limpeza realizando a validação do sistema, mostrando se o líquido pode ou não ser reutilizado.

- 1 - Recipientes em acrílico para recebimento da água contaminada com efluentes químicos, nesse recipiente foi anexado o sensor de pH e turbidez para leitura da água com contaminação;
- 2 - Sondas de níveis que permitem encher o jarro sem que haja transbordamento do líquido;
- 3 - Bomba peristáltica para dosagem do químico, juntamente com as hélices para realizar a mistura dos elementos;
- 4 - Recipiente que recebe a água após o processo de limpeza para coleta de dados e validação;
- 5 - Motores do tipo *DC* para realizar a movimentação das hélices sendo possível realizar o processo de mixagem dos elementos contidos dentro dos recipientes;
- 6 - A enumeração 6 mostra a parte inferior da estrutura onde está localizada a casa de bombas juntamente com as mangueiras que estão conectadas nos recipientes fazendo com que a água passe de um andar para o outro.

A Figura 7 apresenta o protótipo montado após elaboração das etapas de: ideia, definição de matérias, montagem, fixação de instrumentação e ligação elétrica.

Figura 7 - Protótipo finalizado

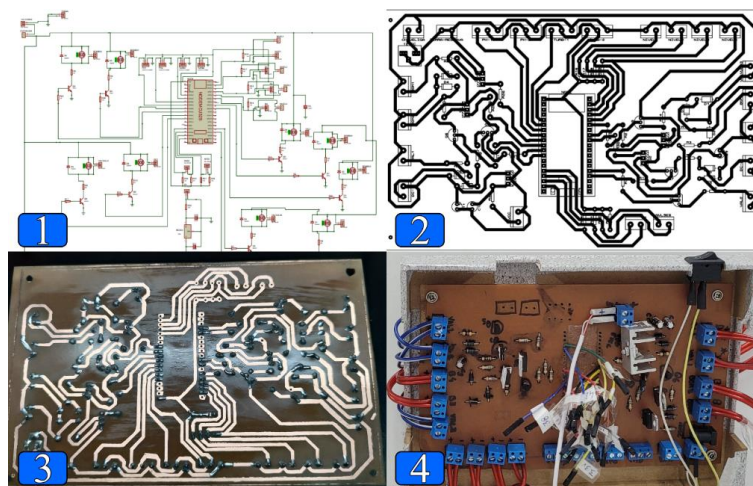


Fonte: Dos autores (2024)

3.3.2 Desenvolvimento da interface de potência

A importância do desenvolvimento da interface se faz pois, conforme explica Oliveira (2020), o *NodeMCU-32S* opera na faixa de 2.2V a 3.6VDC e fornece valores de corrente de 80mA, não fornecendo potência necessária para alimentar os motores de 12V. A interface tem como responsabilidade de receber os sinais de controle, gerados pelo *NodeMCU*, e fornecer a potência necessária para a alimentação desses elementos. As etapas de desenvolvimento são apresentadas na Figura 8 e dissertadas em sequência.

Figura 8 - Etapas de desenvolvimento da interface de potência



Fonte: Dos autores (2024)

A primeira etapa para o desenvolvimento da interface, representada pelo indicador de número um localizado na Figura 8, consistiu na construção do diagrama esquemático, desenvolvido no programa *Proteus 8 Professional*, pelo recurso chamado *ISIS*. O diagrama é composto por transistores operando como chave: ao receber um valor de corrente na base ocorre a saturação e fecha o circuito fornecendo potência aos elementos de saída, diodos configurados como roda livre para a proteção dos transistores nos casos de força contraeletromotriz, um regulador de tensão LM7805 para fornecer uma tensão de 5V e 500mA para a alimentação do *NodeMCU*, capacitores para filtragem e estabilização e resistores para limitação de corrente.

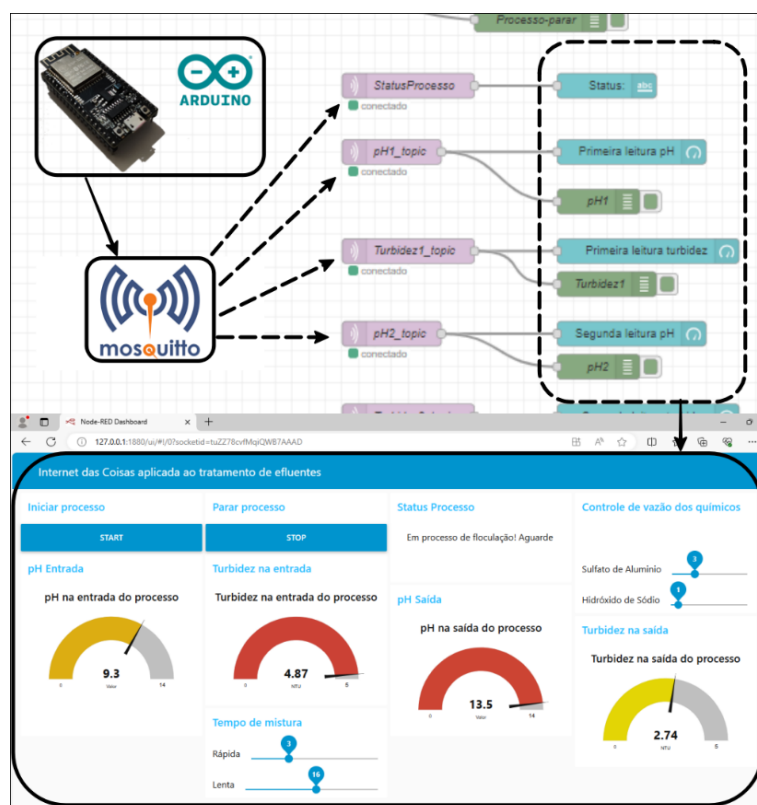
A segunda etapa consistiu no esquema de ligação das trilhas para a placa, desenvolvido no programa *Proteus 8 Professional*, pelo recurso chamado *ARES*.

A terceira etapa consistiu no método de transferência térmica do esquema de ligação das trilhas por meio de uma folha *glossy* em uma placa de fenolite, após a transferência, a placa foi submetida ao processo de usinagem química, realizado com o Percloroeto de Ferro (FeCl_3).

A quarta etapa consistiu na finalização do desenvolvimento da placa, envolvendo o processo de solda eletrônica dos componentes eletrônicos e instalação da placa na estrutura.

3.4 Implementação do *dashboard* com o sistema de *IoT*

Para a integração com a *IoT*, realizamos a programação do *NodeMCU* no *IDE* do Arduino em linguagem de programação C. O envio dos dados coletados foi feito por meio do protocolo *MQTT* com o *broker Mosquitto*, e para a exibição dos dados coletados, utilizamos o *Node-RED*, para a construção de um *dashboard* interativo, representado na Figura 9.

Figura 9 – Arquitetura para a construção do *dashboard* interativo

Fonte: Dos autores (2024)

A principal vantagem da utilização do *broker Mosquitto* e do *Node-RED* para fins de construção do estudo é que são recursos de plataforma com código aberto, ou seja, são plataformas disponibilizadas gratuitamente para acesso, modificação e redistribuição (ECLIPSE FOUNDATION, 201-; NODE-RED, 201-).

4. RESULTADOS

Realizando um comparativo entre o método de aquisição das informações feito durante o processo de desenvolvimento da amostra, a implementação da *IoT* apresentou maior flexibilidade para a exibição dos dados pois, o responsável pela manipulação do processo deixou de depender do indicador local instalado no instrumento de medição e passou a obter acesso a esses dados e

fluxo do processo de forma remota, para tal feito foi necessário o uso de um dispositivo que dentro da arquitetura do protocolo *MQTT* foi caracterizado como um elemento *subscriber*, no caso o *Node-Red*, que tornou dispensável a necessidade de estar próximo do meio físico que realiza a transformação e processamento da floculação.

Se tratando de uma análise qualitativa, os valores de referência utilizados para o desenvolvimento do estudo são respectivos ao Grau de Tratamento da NBR 13969:1997 Classe 1, que conforme dissertados em Ambiente Brasil (2021), os valores de Turbidez devem ser inferiores a 5 NTU e pH entre 6 e 8, variáveis que foram utilizadas para o estudo de caso em questão. Para alcançar tais resultados, o responsável químico Prof. Me. Gustavo Galo realizou a técnica de análise titulação ácido-base.

Vale ressaltar que, o processo automatizado desenvolvido ao longo do estudo também apresenta maior praticidade para controle das variáveis de processo, com o auxílio do modelo de *dashboard* iterativo que foi utilizado, tornou-se possível a manipulação das variáveis de dosagem das soluções químicas a serem inseridas ao processo químico por meio das bombas peristálticas, assim como o controle da velocidade dos motores de agitação dos jarros de mistura.

Algumas limitações presentes para a aplicação do protótipo em ambientes industriais são: é necessário implementar um número maior de instrumentos de medição, para controle das variáveis: condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade, presença de metais pesados e demais contaminantes que podem incorporar ao processo, e os instrumentos de medição devem ser apropriados para o ambiente industrial, os materiais utilizados para este estudo de caso em questão são materiais de fins de estudo, para pequenas aplicações.

Também se faz necessária uma estrutura mais robusta, com jarros (ou tanques de água) mais resistentes, motores elétricos de grande porte e a infraestrutura de água que suportem um valor maior de volume de água.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente aplicação das tecnologias que compõem o conceito de Indústria 4.0 fornece rapidez, flexibilidade, eficiência e visão sustentável dentro das suas aplicações, como a busca da

preservação de um recurso finito de importância para a sobrevivência humana, a água, que é utilizada demasiadamente dentro de processos de produção, onde realizam a adição de efluentes químicos, que a tornam inapropriadas para consumo e sem a possibilidade de reuso.

Dessa forma, um meio de preservação deste recurso é fazer o uso de técnicas para realizar a remoção desse efluente, preservando parâmetros de qualidade e possibilitando seu reuso, como a técnica de floculação, que consiste na adição de um elemento coagulante na água contaminada pelo efluente, responsável por realizar a aglomeração das partículas suspensas na água, facilitando o processo de remoção das impurezas. A técnica também demanda o uso de elementos ácidos e bases.

O estudo laboratorial do processo de floculação apresentou um resultado consistente perante o objetivo da remoção do corante azul sintético, efluente utilizado para o desenvolvimento da amostra já que é muito utilizado em processos de fabricação têxtil, todavia o processo do estudo apresentou algumas oportunidades de melhorias com a integração de processos automatizados e a *IoT*.

A solução da implementação da *IoT* apresentou êxito dado ao tipo de coleta de dados, sendo realizada com sensores e instrumentação adequada para as variáveis de qualidade, como pH e turbidez, e eficiência no processamento e exibição desses dados por meio de um *dashboard*.

Recomendações de aplicações e melhorias: visando a melhoria e continuidade deste projeto, é interessante a implementação de um sistema de inteligência artificial para o desenvolvimento automático da formulação química necessária para o processo de floculação e tratamento da água. Outro ponto de atenção diz respeito ao consumo de energia elétrica: entende-se que o projeto é composto por elementos que necessitam da energia elétrica e um exemplo de alto consumo de energia são os motores, que produzem trabalho em forma de movimento e dissipam energia em forma de calor. Então, pensando em escalabilidade, para projetos que utilizam o mesmo conceito do que foi apresentado, porém com um alcance maior de variáveis, é de interesse a implementação de formas alternativas de geração de energia renováveis, como a solar, para sistemas de tratamento em larga escala e sua respectiva análise para o custo-benefício.

REFERÊNCIAS

Arbex, L.F. S. (2013). **Visualização dos dados estatísticos da UERJ proposta de dashboards baseados no trabalho de Jacques Bertin**. Acesso em: 13 de Junho de 2024.

Ambiente Brasil. Legislação e normatização do reuso da água, 2021. Disponível em: < https://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/uso_e_reuso_da_agua/legislacao_e_normatizacao_do_reuso_da_agua.html#:~:text=%E2%80%93%20Coliformes%20fecais%20%3C%20200%20NMP%2F,e%20%3C%201%2C5%20ppm.> . Acesso em: 14 de Novembro de 2024.

Caldeira, J. (2010). **Dashboards: Comunicar eficazmente a informação de gestão, edições Almedina SA, Coimbra**. Acesso em: 13 de Junho de 2024.

COSTA, Helena Pacca Guimarães. TELLES, Dirceu D'Alkmin Telles. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

ECLIPSE FOUNDATION. *Eclipse Mosquitto: An open source MQTT broker*. *Eclipse Mosquitto*, 201-. Disponível em: < <https://mosquitto.org/> >. Acesso em: 13 de Junho de 2024.

FIA Business School. **Indústria 4.0: o que é, consequências, impactos positivos e negativos**, 2021. Disponível em: < <https://fia.com.br/blog/industria-4-0/> >. Acesso em 21/05/2024.

GODOI, Maiko Gustavo De; ARAÚJO, Liriane Soares de. A INTERNET DAS COISAS: evolução, impactos e benefícios. **Interface Tecnológica**, revista informática, São Paulo-SP, v. 16, ano 2019, n. 1, página: , 2019. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/538/363> >. Acesso em: 01 de Junho de 2024.

GREEN. Conheça os 4 tipos diferentes de sustentabilidade. Green verde para o ambiente urbano, 2021. Disponível em: < <https://greensaopaulo.com.br/conheca-os-4-tipos-de-sustentabilidade/>>. Acesso em: 23 de Mai. 2024.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA E PESQUISA - ITP. **Caracterização de efluentes: o que é e como funciona?**, 2022. Disponível: < <https://itp.org.br/leitura/229>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

MAGRANI, Eduardo. **A internet das coisas**. Rio de Janeiro : FGV Editora, 2018. 192 p.

MONTEIRO, Patrícia Aparecida. **Diagnóstico do consumo de água nos processos de beneficiamento de jeans no polo confeccionista de divinópolis/mg**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) –Universidade de Ribeirão Preto,– MG, 2019. Disponível em: < <https://www.unaerp.br/documentos/3125-monteiro-patricia-aparecida/file>>. Acesso em: 12 de Out. 2023.

OKENA. **Efluentes, saiba tudo sobre o tratamento**, 2024. Disponível em: <<https://www.okena.eco.br/efluentes-saiba-tudo-sobre-o-tratamento/>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

OLIVEIRA, Euler. **Conhecendo o NodeMCU-32S ESP32**. Masterwalker, 2020. Disponível em: <<https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/esp32/conhecendo-o-nodemcu-32s-esp32>>. Acesso em: 10 de Jun. 2024

PERELMUTER, Guy . **Futuro presente: O mundo movido à tecnologia**, Barueri/SP- 1ª ed, Editora Companhia Nacional, 2019.

PORTAL DA INDÚSTRIA. Indústria 4.0: **Entenda seus conceitos e fundamentos**, 2023. Disponível em: < <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/> >. Acesso em: 01 de Jun. de 2024.

NODE-RED. About. Node-RED, 201-. Disponível em:< <https://nodered.org/about/>>. Acesso em: 13 de Junho de 2024.

SANTOS, Guilherme. **Protocolo MQTT: o que é este protocolo? Automação industrial**, 2022. Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/mqtt/>>. Acesso em: 10 de Jun. 2024

SOUZA, C. M., Veríssimo, A., & Castro, E. (2021). **A Plataforma Ambiental Brasileira e o uso de IoT para o monitoramento de desmatamento e queimadas**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, 20(2), 88-102.

SPLABOR. **O que é floculação? Qual é a sua importância? 2023**. Disponível em: <<https://www.splabor.com.br/blog/jar-test-2/o-que-e-floculacao-qual-a-sua-importancia/>>. Acesso em: 04 de Jun. de 2024.

VALORIZA AMBIENTAL. **Efluentes: O Que São? Conceito, definição e tratamento**, 2022. Disponível em: <<https://valorizaambiental.com/efluentes-o-que-sao-conceito-definicao-e-tratamento/>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

VIANA, Aryanna. **Titulação ácido-base**, 2021. Disponível em: <<https://vaiquimica.com.br/titulacao-acido-base/>>. Acesso em: 31 de Maio 2024.