

SISTEMA AUTÔNOMO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL CONTAMINADA

Autonomous system for treatment of contaminated wastewater

Caio Lima dos Santos ¹
Luiz Henrique Moreira de Lima ¹
Francisco Renato Moreira da Silva ²
Rafael Saraiva da Silva ³

RESUMO:

Considerando a grande escassez de água nas regiões Norte e nossa região Nordeste, cabe à comunidade científica buscar formas capazes de devolver a pouca água usada para as famílias, principalmente as de baixa renda, pois são essas as mais afetadas com a falta desse líquido. Para a reutilização e tratamento da água, usa-se a residual de esgoto, onde tal amostra foi submetida ao protótipo, que se baseia em processos físico-químicos e ciclos ecológicos da água, excretando e separando cada fase, que terá novas utilizações. O protótipo foi projetado utilizando conhecimentos transdisciplinares da natureza e tecnologia para purificar e utilizar todos os contaminantes, por meio de processos simples, fáceis e tecnológicos. Esses processos estão integrados à robótica do protótipo, constituída por componentes eletrônicos, entre eles, uma válvula solenoide de autoria própria. Ocorreram as análises das amostras, minioficinas e apresentações para conscientizar e divulgar a pesquisa para os demais discentes. De acordo com

ABSTRACT:

Considering the great scarcity of water in the North and Northeast regions, it is up to the scientific community to find ways of returning the little water used to families, especially those on low incomes, as they are the ones most affected by the lack of this liquid. For the reuse and treatment of water, sewage wastewater is used, and this sample was submitted to the prototype, which is based on physical-chemical processes and ecological water cycles, excreting and separating each phase, which will have new uses. The prototype was designed using transdisciplinary knowledge of nature and technology to purify and use all the contaminants, using simple, easy and technological processes. These processes are integrated with the prototype's robotics, made up of electronic components, including a solenoid valve of our own design. Sample analysis, mini-workshops and presentations took place to raise awareness and disseminate the research to other students. According to the good results obtained

1. Técnico em Informática pela EEEP Antonio Rodrigues de Oliveira em Pedra Branca/CE.

2. Especialista em Gestão Escolar (UNIQ) e Licenciado em Química (IFCE). Professor de Química na EEEP Antonio Rodrigues de Oliveira.

3. Mestre em Educação Profissional (IFCE) e Licenciado em Biologia (UECE). Professor de Biologia na EEEP Antonio Rodrigues de Oliveira.

os bons resultados obtidos após o tratamento, pode-se concluir, com a elaboração e aplicação do projeto, que o mesmo é um sistema automatizado, eficiente para tratamento de água residual doméstica e que é capaz de potabilizar a água para o consumo humano.

Palavras-chave: Água. Tratamento. Automação.

after treatment, it can be concluded from the design and application of the project that it is an efficient automated system for treating domestic wastewater and that it is capable of making water safe for human consumption.

Keywords: Water. Treatment. Automation.

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos essenciais para a sobrevivência humana, certamente o mais crucial. Dessa forma, cabe a comunidade científica dedicar-se intensamente a essa questão, buscando discutir e encontrar maneiras de garantir a sustentabilidade desse recurso a longo prazo. Diante desse cenário, é fulcral compreender como a água é distribuída e utilizada no planeta, bem como os fatores que influenciam a sua escassez ou abundância.

É amplamente reconhecido que o nosso planeta, a Terra, é comumente designado como o '*Planeta Água*'. Contudo, apesar da abundância desse recurso, nem toda a sua disponibilidade é acessível ou adequada para o consumo humano (DO AMARAL SILVA *et al.*, 2019). Desta maneira, os desafios relacionados à sustentabilidade da água não podem mais ser considerados preocupações isoladas ou limitadas a um setor específico, nem são exclusivos de determinados profissionais (DOS SANTOS *et al.*, 2022)

Com essa perspectiva, o desenvolvimento de métodos sustentáveis visa promover um avanço significativo no saneamento básico, especialmente em regiões como o semiárido e localidades em situação de pobreza, exemplificadas por Pedra Branca, um município brasileiro no estado do Ceará.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de um protótipo de tratamento de água residual doméstico que opere de forma autônoma, como uma alternativa eficiente, barata e ecologicamente viável para reutilizar a pouca água disponível.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A água é um recurso universal, e os desafios relacionados à sua gestão são diversos, assim como suas diferentes formas na natureza. Essas questões são complexas e interligam diversos setores, como agricultura, energia, indústria, transporte e áreas sociais, como educação, meio ambiente, saúde e desenvolvimento regional (DE MEDEIROS *et al.*, 2023).

De acordo com Diniz (2021), o Brasil é reconhecido por possuir uma das maiores reservas de água doce do mundo, incluindo os maiores aquíferos do planeta. Entretanto, é crucial salientar que a disponibilidade de água não é homogênea em todo o território brasileiro (DALCIN, 2020). A disparidade na distribuição de recursos hídricos no Brasil é ainda mais evidente quando analisamos as regiões Norte e Nordeste. Na última, observa-se uma situação diferente em relação aos padrões de chuvas, vivenciando extensos períodos de escassez e estiagem.

Na realidade do Ceará, Estado que abrange aproximadamente 90% de seu território no contexto do semiárido, a escassez de água potável tornou-se uma ocorrência comum. De acordo com uma pesquisa conduzida por Silva e Silva [2021], constatou-se que cerca de 56,50% da população regional do sertão central cearense possui acesso ao tratamento de água, sendo que 56,30% desse contingente indicam a ineficácia do método.

O tratamento da água é essencial para remover impurezas e contaminantes, tornando-a adequada para o consumo. A água naturalmente contém resíduos de substâncias presentes no meio ambiente, como microrganismos e sais minerais, exigindo, assim, tratamento para eliminar as impurezas que podem ser prejudiciais à saúde humana [LIMA, 2022].

Rocha *et al.* [2021] ressalta que o tratamento inadequado ou o descarte inapropriado de efluentes domésticos constituem uma ameaça adicional à disponibilidade de água potável. A presença de poluentes em fontes de água potável pode tornar o tratamento da água mais complexo, ampliando os desafios enfrentados pelas autoridades na busca por soluções que garantam o acesso à água de qualidade para a população [ALVARENGA *et al.*, 2020].

Diante dessa realidade, Almeida *et al.* [2022] defende que uma solução para mitigar os custos dos sistemas de tratamento de água e esgoto convencionais seja a implementação de tecnologias automatizadas. Chiavelli *et al.* [2019] e Cruz *et al.* [2021] apontam como solução o investimento na produção local de tecnologias de *hardware* e *software*. Esse investimento pode ocorrer por meio do aprimoramento utilizando técnicas de engenharia reversa, impulsionando a economia e promovendo o avanço tecnológico do setor.

3. METODOLOGIA

Para garantir a eficácia do método de tratamento, é crucial implementar uma série de processos que abrangem desde a separação de componentes até a purificação da água contaminada, culminando na integração do sistema a processos tecnológicos. Essas etapas visam não apenas remover os contaminantes presentes na água, mas também assegurar que o sistema de tratamento seja confiável e seguro para o usuário final.

3.1 Constituintes excretados na rede doméstica

A análise dos principais constituintes presentes nas misturas que compõem os rejeitos provenientes da rede de esgoto doméstica é crucial para compreender o método de tratamento a ser utilizada. Para esse fim, adotou-se a metodologia de coleta de amostras proposta por Almeida *et al.* [2022], realizando a coleta da água residuária no *locus* da pesquisa ao longo de um período de quinze dias, amostras de água residual foram coletadas e armazenadas, totalizando aproximadamente sete litros de água residuária diariamente.

3.2 Elaboração e criação do sistema de tratamento de água

Com base nos dados coletados das amostras de água residuária, estabeleceu-se um sistema de tratamento em três fases distintas. Duas dessas fases são dedicadas à separação dos três principais constituintes: resíduos alimentares, óleo e a própria água contaminada, por métodos físico-químicos

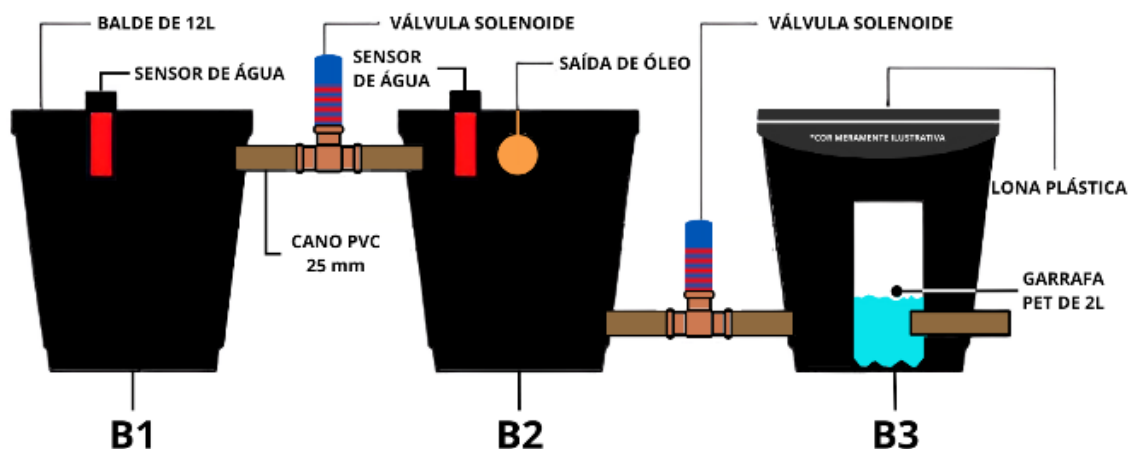
naturais de separação de misturas. A terceira fase é projetada para realizar o ciclo biogeoquímico da água, permitindo seu retorno à potabilidade naturalmente.

Para a elaboração do protótipo, foram utilizados três baldes plásticos em coloração preta devido à alta taxa de absorção dos raios solares, conforme afirma Halliday [2009] no segundo volume de seu livro *Fundamentos de Física*. Além disso, foram empregados canos de policloreto de vinila (PVC) de 25 mm, uma garrafa PET cortada, lona plástica, dois sensores de água analógicos, duas válvulas solenoides 220V (3/4 - a princípio, industriais), protoboard 400 furos, placa NodeMCU ESP8266 e *jumpers* do tipo macho e fêmea.

Os canos de PVC foram utilizados no sistema como meio de ligação entre as três etapas (Baldes), posicionados em pontos específicos do sistema, permitindo a purificação e a passagem ou não de cada constituinte presente na água inicialmente contaminada. Os sensores de água verificam a presença do líquido e se comunicam com a placa NodeMCU ESP8266, que por sua vez realizará a abertura das válvulas solenoides permitindo que os líquidos percorram entre os recipientes.

O protótipo, ilustrado na Figura 1, foi desenvolvido com base em estudos relacionados aos métodos avançados de tratamento, utilizando conhecimentos presentes nas obras: *Química Geral: Práticas Fundamentais* de Reis (2021), *Princípios da Química* de Atkins (2018) e *Princípios básicos do tratamento do esgoto* de Von Sperling (1997).

Figura 1 – Esquema do protótipo autônomo.



Fonte: Autores (2023).

3.2.1 Funcionamento do protótipo de tratamento

O sistema de tratamento foi desenvolvido para a disposição de resíduos, construído em três etapas interligadas. A primeira etapa, denominada B1, servirá como local de recebimento da água, desempenhando a função de decantador, um dispositivo separador de misturas por meio da gravidade e considera as diferentes densidades dos compostos [ATKINS, 2018].

Após o processo de decantação, as substâncias líquidas concentradas na parte superior do recipiente B1 entrarão em contato com o sensor de água. Este sensor realiza a captura de dados, como o nível de líquido presente no recipiente. Em seguida, os dados são enviados para a placa NodeMCU, que os coleta e interpreta para possibilitar a abertura da válvula solenoide. Dessa forma, é controlado o fluxo de água e óleo, permitindo a passagem dessas substâncias para a próxima etapa do processo [ALMEIDA *et al.*, 2022].

Após a transferência das substâncias líquidas para o próximo recipiente, o B2, projetada para ocorrer a separação entre a água e o óleo, utilizando como princípio básico a diferença de densidades e polaridade entre as fases. Dessa forma, à medida que o volume de líquidos no recipiente aumenta, o óleo, por possuir menor densidade na parte superior é removido por um ducto coletor localizado na parte superior. Esse processo recebe o nome de sifonação, que consiste no transporte de uma substância de um nível mais alto para outro mais baixo [ATKINS, 2018]. A água, por sua vez, retida na parte inferior do B2, não é escoada juntamente com o óleo, pois o sensor de água, ao notar a diferença de condutibilidade elétrica no meio, diferencia as fases. Assim como na primeira etapa, o sensor de água será o responsável por desencadear as ações lógicas junto à placa NodeMCU para que a válvula solenoide permita a passagem apenas da água, para a última etapa do processo de tratamento.

No terceiro recipiente, o B3, a água chegará isenta da presença do óleo e dos resíduos sólidos; no entanto, podem existir impurezas que causam danos nocivos à saúde humana. Para remover essas impurezas, a última etapa foi projetada para que a água realize o seu ciclo ecológico. Nesta etapa, não haverá a adição de nenhum tipo de aditivo químico.

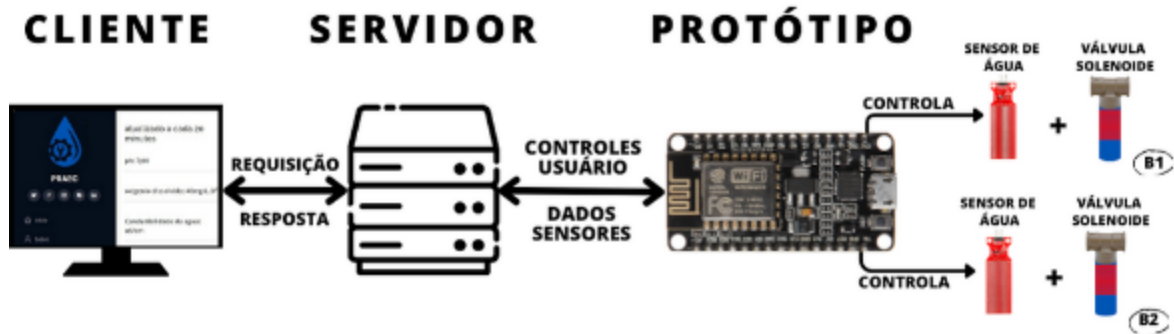
A exposição do sistema ao sol e as altas temperaturas da região semiárida e equatorial brasileira permitirão que a água alcance rapidamente seu ponto de ebulição, resultando na transição do estado líquido para o vapor. O vapor seguirá em direção à lona plástica levemente inclinada no topo do recipiente. A partir disso, ocorrerá a condensação do vapor, retornando à fase líquida e direcionando-se para o recipiente interno, já purificada.

3.2.2 Funcionamento eletrônico do protótipo

O uso da placa NodeMCU ESP8266 e da linguagem de programação C++ é uma escolha técnica para o desenvolvimento de sistemas embarcados como o apresentado. Ao se basear em obras como *Sensores industriais: fundamentos e aplicações* de Thomazini e Albuquerque [2020] e *The C++ Programming Language* de Stroustrup [1997], com adaptações voltadas para a robótica, a programação personalizada é crucial para coordenar efetivamente os diferentes componentes do sistema.

Além disso, é realizada a transmissão de dados em tempo real para um banco de dados central hospedado em um site, por meio de um módulo *wireless*, uma característica moderna que oferece praticidade e acessibilidade aos usuários. É válido ressaltar que o sistema não está totalmente dependente da presença de uma conexão *online* para realizar suas operações essenciais. A ausência temporária de comunicação com o banco de dados não impede a funcionalidade básica do sistema de tratamento, mantendo sua operação lógica interna.

Figura 2 – Esquema do funcionamento eletrônico do sistema.



Fonte: Autores (2023).

3.3 Desenvolvimento da válvula solenoide de baixo custo

Conforme Medeiros *et al.* (2023), em meio às atuais circunstâncias de crise hídrica, as comunidades mais vulneráveis, especialmente no semiárido brasileiro, enfrentam sérias limitações no acesso a inovações tecnológicas. Esse contexto é decorrente do insuficiente investimento em regiões economicamente desfavorecidas.

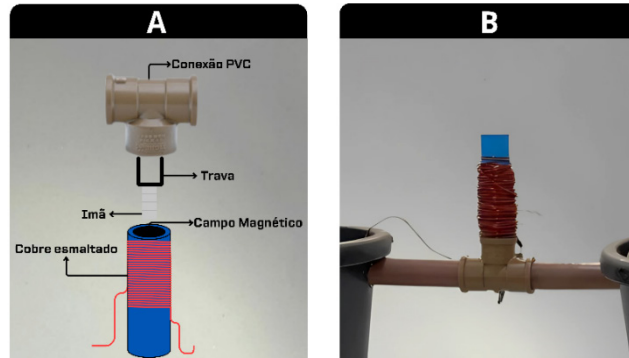
Considerando não apenas a realidade enfrentada por Pedra Branca/CE, mas por diversas localidades no semiárido brasileiro, torna-se evidente a escassez de métodos viáveis para o tratamento de água. Diante dessa problemática, surge a necessidade de avaliar potenciais abordagens para tornar o protótipo mais acessível às famílias que mais necessitam.

Nesse contexto, a partir de uma análise econômica dos componentes iniciais, evidenciou que o principal obstáculo para alcançar um custo reduzido estava relacionado às válvulas solenóides, o preço médio identificado para a aquisição de apenas uma das válvulas foi de aproximadamente R\$ 240,00. Esse custo representou um desafio significativo, uma vez estando além das restrições orçamentárias estabelecidas para a pesquisa e para a comunidade.

Dessa forma, seguindo a metodologia de engenharia reversa empregada por Cardoso *et al.*, (2023) para eletrônicos robóticos, estudaram-se e compreenderam-se os princípios do funcionamento de uma válvula solenoide.

A válvula produzida é de uso exclusivo deste trabalho, conforme ilustrado na Figura 3 (A), enquanto a válvula produzida e aplicada é representada na Figura 3 (B) sendo totalmente composta por materiais de baixo custo e reutilizáveis

Figura 3 – Esquema da válvula solenoide de baixo custo (A) e sua aplicação no sistema (B).



Fonte: Autores (2023).

Em seu modo de operação, aplicam-se os princípios fundamentais do eletromagnetismo, com base no terceiro volume da obra *“Fundamentos de Física”* de Halliday (2009). O tubo de PVC desempenha a função de fornecer o espaço necessário para o campo magnético realizar o processo de atração e repulsão do ímã presente no interior do tubo.

3.4 Integração usuário-máquina via conexão com a internet

De acordo com Magrani (2021) em seu livro *A Internet das Coisas*, a nova fase da globalização teria início com a comunicação efetiva em tempo real entre máquinas e humanos, um marco que seria alcançado com a implementação da internet 5G. Essa etapa já está em andamento, conforme afirmam Aggarwal e Kumar (2023).

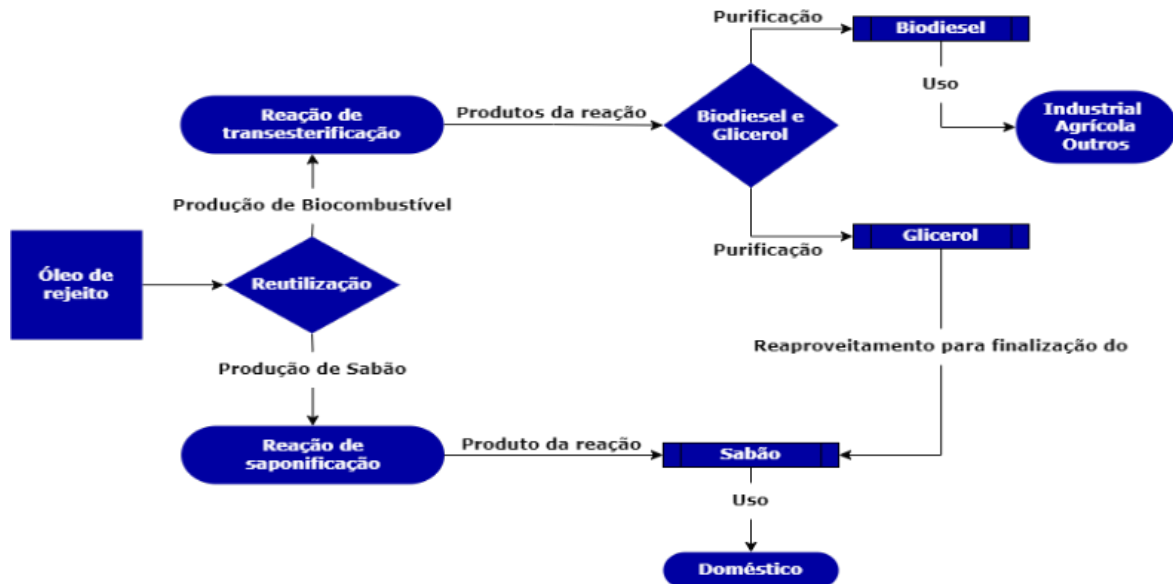
Com o objetivo de criar um protótipo que atendesse a todos os requisitos delineados por Magrani (2021), foi desenvolvida uma plataforma virtual integrada ao sistema de tratamento. Essa plataforma foi construída utilizando linguagens de programação como JavaScript, PHP e CSS, e frameworks em Node.js. A plataforma é acessível a qualquer hora e em qualquer lugar, desde que haja conexão com a internet.

3.5 Processos e técnicas para reaproveitamento dos rejeitos separados durante o tratamento.

Conforme apresentado por Macedo (2022), a química verde representa uma abordagem que visa minimizar os impactos ambientais por meio de ações simplificadas. Um dos princípios fundamentais dessa abordagem é a reutilização de todos os resíduos provenientes dos processos químicos. É relevante destacar que Von Sperling (1997) aponta que, muitas vezes, esse processo não ocorre de maneira efetiva nas ETAs e ETEs.

Diante disso, visando o desenvolvimento de uma tecnologia limpa, barata e sustentável, idealizou-se formas simples de reaproveitar os rejeitos, tanto em larga escala na indústria quanto em ambientes domésticos. Esse conceito está esquematizado na Figura 4.

Figura 4 – Rotas de reutilização do óleo excretado.



Fonte: Autores (2023).

Além da fase lipídica, ou seja, das gorduras, ainda se realiza a reutilização dos compostos orgânicos pelo método da compostagem. Neste trabalho, seguindo as recomendações e técnicas apresentadas no estudo de Müller *et al.*, 2022, a preocupação com os efluentes visa garantir que haja os menores prejuízos para o ambiente.

4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADO

4.1 Eficiência do protótipo

Durante todo o período de testes, observou-se que o protótipo apresentou melhor desempenho quando todos os recipientes de tratamento (B1, B2 e B3) foram confeccionados em materiais metálicos ou quando foram revestidos com tintas escuras. Isso se deve ao fato de que os elementos metálicos são bons condutores térmicos. No processo de tratamento, a amostra precisa ter sua temperatura elevada pela radiação solar, especialmente na etapa final (B3), onde ocorre o ciclo natural da água, resultando na purificação efetiva.

A Tabela 1 apresenta o tempo necessário para o tratamento de litros de amostra em três situações distintas: protótipo de material plástico pintado na cor preta, sem tintura e fabricado em zinco.

Tabela 1 – Eficácia do protótipo em diferentes materiais.

ANÁLISE DA VAZÃO DO PROTÓTIPO EM DIFERENTES MATERIAIS		
MATERIAL	VOLUME	TEMPO
Zinco	14,0 L	60 min
Plástico pintado	12,0 L	60 min
Plástico sem pintura	7,80 L	60 min

Fonte: Autores (2023).

Outro fator observado foi a dificuldade em encontrar recipientes sem contaminantes, como tintas ou combustíveis, onde tais possuem compostos voláteis que inviabilizam e dificultam o processo de purificação. Desta forma, optou-se por trabalhar, nesta primeira etapa, com o protótipo plástico pintado, o qual é mais econômico e acessível na região.

Em contrapartida, quando comparamos a eficiência de vazão entre as duas válvulas solenoides, a comercial e a desenvolvida nesta pesquisa presente no Gráfico 1, ambas determinadas pela metodologia de Studart (2000), é perceptível o comportamento superior da segunda, conforme expressado nos gráficos a seguir.

Gráfico 1 – Comparativo de eficácia entre as válvulas.

Fonte: Autores (2023).

Os resultados obtidos indicam que, ao final dos testes de vazão das válvulas, a versão comercial, além de possuir um elevado valor agregado, apresenta uma vazão aproximadamente 28,5% menor em comparação à válvula produzida. Outro aspecto observado é que a produção de válvulas em tamanhos maiores, como para tubulações de 40, 45 e 100 mm, é mais econômica.

4.2 Análise físico-química da água bruta e tratamento

As análises foram realizadas com amostras coletadas na rede domiciliar das pias de lavagem dos utensílios escolares da Escola Estadual de Educação Profissional Antonio Rodrigues de Oliveira, localizada na cidade de Pedra Branca - CE. A água bruta analisada passou previamente pelas etapas B1 e B2 do sistema para a remoção de sólidos e da fase lipídica. A água tratada percorreu todas as fases de tratamento.

Para a condução dos testes físico-químicos, foi coletado um litro de água bruta, utilizando como referência os métodos e técnicas estabelecidos no Manual Prático de Análise de Água da Fundação Nacional da Saúde – FUNASA (2013), em conformidade com a Portaria do Ministério da Saúde (MS) N.º 2.914/2011. Essas análises são validadas pela Portaria N.º 5/2017, que define os padrões de potabilidade de água para o consumo humano, incluindo os Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada componente.

Os testes foram conduzidos para avaliar a eficácia do processo de tratamento, realizados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE *Campus* Quixadá. A Tabela 2 apresenta os resultados das análises realizadas, juntamente com os respectivos VMPs.

Tabela 2 – Análises físico-químicas das amostras de água coletadas.

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA BRUTA E TRATADA				
PARÂMETROS	ÁGUA BRUTA	ÁGUA TRATADA	VMP MS	UNIDADES
Cor aparente	15	3,0	15	Pt/L (Hansen)
Condutibilidade	1.500	2000,0	1.000	µS/cm
pH	8,0	7,0	8 a 9	pH
Turbidez	80	20	100	NTU
Sólidos totais	1.000	5,0	1.000	mg.L ⁻¹
Dureza total	550	30,0	500	mg.L ⁻¹
Cloretos	200	100	250	mg.L ⁻¹ .Cl ⁻¹
Fluoretos	1	0,6	1	mg.L ⁻¹ .F ⁻¹
Oxigênio dissolvido	1,5	3,0	2 a 5	mg.L ⁻¹ .O ₂
Amônia	3,0	0,5	1,5	mg.L ⁻¹ .N-NH ₃

Fonte: Autores (2023).

Ao comparar os valores da amostra antes de ser submetida ao tratamento, constatam-se mudanças significativas ao longo de todo o processo de purificação e remoção de contaminantes. Essa constatação reforça a eficácia do sistema na melhoria da qualidade da água, tornando-a adequada para o consumo humano de acordo com as normativas estabelecidas.

4.3 Análise biológica da água

Conforme Provenzi [2005], água potável é aquela que apresenta condições adequadas para o consumo, considerando parâmetros físico-químicos e biológicos. Para os testes biológicos, foram separados 150 mL de água bruta do reservatório, conforme descrito no item 4.2, e o mesmo volume de amostra submetido ao tratamento pelo protótipo. Essas amostras foram analisadas seguindo os métodos descritos na literatura *Qualidade microbiológica da água para consumo humano em instituição de ensino de Maringá - PR*, conforme Yamaguchi [2013]. Os resultados obtidos estão disponibilizados na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise biológica das amostras coletadas.

ANÁLISES BIOLÓGICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA BRUTA E TRATADA		
Organismos	Água bruta	Água tratada
Bactérias heterotróficas	Presente	Ausente
Cnidário (<i>Hydra spp.</i>)	Presente	Ausente
Coliformes fecais	Presente	Ausente
Coliformes totais	Presente	Ausente
Larva de mosquito	Presente	Ausente

Fonte: Autores [2023].

No que se refere às análises biológicas realizadas na água tratada pelo sistema desenvolvido, é fundamental destacar que os resultados obtidos demonstram uma significativa conformidade com os padrões estabelecidos na regulamentação vigente.

4.4 Divulgação científica da pesquisa

Com o propósito de envolver a comunidade na pesquisa, foram conduzidas miniofícinas com o intuito de promover não apenas a divulgação e disseminação do conhecimento, mas também de maximizar a interação e a curiosidade dos estudantes em relação à pesquisa e suas aplicações práticas. Ao longo dessas atividades práticas, os participantes foram engajados na produção do protótipo, abrangendo tanto a parte física quanto a robótica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a elaboração e execução da pesquisa, verificou-se que o método é adequado para dar continuidade a estudos e pesquisas futuras, incluindo um levantamento bibliográfico em busca de maneiras adicionais de automatizar o sistema. Um possível aprimoramento consiste em explorar a implementação de miniplacas solares para otimizar o processo de tratamento.

Além disso, é imperativo destacar o impacto relevante da pesquisa em distintos grupos sociais, com ênfase na comunidade escolar, a qual participa de oficinas e atividades formativas voltadas para a aplicação prática da tecnologia como estratégia para enfrentar desafios globais.

No que tange ao método de tratamento empregado, os custos foram consideravelmente reduzidos devido à utilização de materiais acessíveis e reutilizados. Em contraposição aos componentes disponíveis no mercado, frequentemente dispendiosos e pouco práticos, os elementos substituídos no sistema, que anteriormente totalizavam aproximadamente R\$ 240,00, foram substituídos por uma peça de eficiência superior, fabricada a partir de materiais reutilizáveis. Ademais, no âmbito da aquisição dos materiais necessários para a produção, os gastos são mínimos, totalizando, em média, R\$ 50,00. Dessa forma, o sistema não apenas se configura como uma solução economicamente viável, mas também promove a aplicação dos princípios de sustentabilidade e eficiência no processo de tratamento.

Dessa maneira, é relevante salientar que as agressões ao meio ambiente foram consideravelmente reduzidas, uma vez que, durante o processo de purificação da água, não foram utilizados aditivos químicos. Além disso, todos os materiais excretados durante o tratamento são reintegrados à comunidade.

Outrossim, o sistema proporciona a integração do usuário com o sistema remotamente por meio de um sistema *online* que permite o manuseio e controle do usuário no sistema de tratamento. Isso é possível graças às tecnologias desenvolvidas no website, responsável pela transição que ocorrem por meio de protocolos seguros e eficazes dos dados.

Além de sua aplicação doméstica, a pesquisa encontra-se em fase de validação. Na cidade de Pedra Branca-CE, onde estabeleceu-se um contato com o diretor da empresa responsável pelo tratamento de água e esgoto local (Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto – S.A.A.E.), dando início ao estudo da aplicação e validação do método.

Ao longo do período de validação, observaram-se resultados promissores, operando de forma contínua por dez horas diárias, durante um período de quatorze dias, com a purificação de 1.620 litros de água. Todos os parâmetros de potabilidade permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Durante os testes, foi necessário realizar a remoção de sólidos do B1 após cinco dias. Diante dos resultados, a empresa iniciará o processo de testes em escalas mais amplas no segundo trimestre de 2024.

Dessa forma, é crucial enfatizar que o sistema contribui para doze dos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU). Reforçando sua importância como uma alternativa a ser adotada em diversas comunidades, promovendo sustentabilidade em diversas áreas de atuação.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019.
- AGGARWAL, Shubhani; KUMAR, Neeraj. Fog computing for 5G-enabled tactile Internet: Research issues, challenges, and future research directions. **Mobile Networks and Applications**, v. 28, n. 2, p. 690-717, 2023.
- ALMEIDA, Miguel Correia Lopes de *et al.* **Desenvolvimento de um simulador para sistemas de tratamento de água**. Dissertação de Mestrado. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2022.
- ALVARENGA, Ketlynn Passos; SIQUEIRA, Fabrício Bagli. Conscientização em escolas municipais sobre impactos causados pelo óleo de cozinha e sua possibilidade de reúso. CONGRESSO DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO-CONEPE. 2020.
- ALVES, José Eustáquio Diniz. Envelhecimento populacional no Brasil e no mundo. **Revista Longevidade**, v. 1, p. 5-9, 2019.
- ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em: 19 out. 2023.
- ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. **Princípios de Química: questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Bookman Editora, 2018.
- CAPELARI, Mauro Guilherme Maidana *et al.* Mudança de larga escala na política ambiental: análise da realidade brasileira. **Revista de Administração Pública**, v. 54, p. 1691-1710, 2020.
- CARDOSO, Claudio Cesar Gomes. Logística reversa do lixo eletrônico: definição de um novo local para um ponto de coleta na cidade de Cascavel-PR: **MIX Sustentável**, 2023.
- CHIAVELLI, Henrique Gabriel Rovigatti *et al.* Aplicação de nanomateriais no tratamento de águas residuais. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção (CONBREPRO)**. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10212019_141036_5dade95ca079f.pdf. Acesso em 19 out. 2023.
- CONNOR, Richard *et al.* **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023: parcerias e cooperação para a água**. 2023. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659>. Acesso: 12 dez. 2023.
- COSTA, Cristiane Formigosa Gadelha da. **Hidroggeoquímica do escoamento superficial no solo de uma mesobacia no nordeste paraense**. Orientador: Dr. Francisco de Assis Oliveira. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1832>. Acesso em: 19 out. 2023.
- CRUZ, Marcus Vinícius Silva *et al.* Engenharia reversa baseada em modelos para aplicações de simulação, controle e operação de plantas na indústria petroquímica. 2021.

DALCIN, Ana Paula *et al.* Vai ter água? Caminhos para a adaptação dos sistemas hídricos ao futuro incerto. In: **Anais do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais**: volume 2: bacias hidrográficas e gestão de recursos naturais. 2020.

DE MEDEIROS, Eudilena Laurindo, *et al.* Avaliação da sustentabilidade ambiental, social e econômica de uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 61, p. 1-17, jan./jun. 2023.

DINIZ, João Alberto Oliveira *et al.* **Crise hídrica no Brasil: o uso das águas subterrâneas como reforço no abastecimento público**. CPRM, 2021.

DO AMARAL SILVA, Jefferson Fernandes; PEREIRA, Roberto Guimarães. Panorama global da distribuição e uso de água doce. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 263-280, 2019.

DOS SANTOS, Isabele Ochs *et al.* Sustentabilidade Possível–Água que Brota da Terra–Estudo de Nascente em Alto da União–IJUÍ/RS. MOSTRA INTERATIVA DA PRODUÇÃO ESTUDANTIL EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 2022.

Estudo do CEMADEN e do INPE identifica pela primeira vez a ocorrência de uma região árida no país. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/estudo-do-cemaden-e-do-inpe-identifica-pela-primeira-vez-a-ocorrencia-de-uma-regiao-arida-no-pais>. Acesso em: 19 dez. 2023.

DE QUEIROZ, Marcus Vinicius Dantas. Contra as secas: estudos, planos e obras para o semiárido do Brasil: FERREIRA, AL; DANTAS, GAF; SIMONINI, Y. [org.]. Contra as secas: técnica, natureza e território. Rio de Janeiro: Letra Capital: INCT/Observatório das Metrópoles, 2018, 406p. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 23, 2021.

HALLIDAY, David *et al.* **Fundamentos de Física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009. vol. 4.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Água nas regiões Norte e Nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/ce/pesquisa/30/84366>. Acesso em: 07. Abr. 2023.

LIMA, Ednilson Ramos de. **Água potável e seus processos**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/handle/1/942>. Acesso: 16 ago. 2023.

MACEDO, Carlos David de Sousa *et al.* **Relação da química verde com a educação ambiental no ensino de Química**. 2022. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. Disponível em: <http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/1184>. Acesso: 12 jun. 2023.

MACIEL, C; PONTES, E. T. **Seca e convivência com o semiárido**. Rio de Janeiro: Consequência, 2016.

MAGRANI, Eduardo. **A internet das coisas**. BOD GmbH DE, 2021.

MANUAL de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água, EMBRAPA. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

MANUAL prático de análise de água /Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília: Funasa, 2013.

MOURA, Priscila Gonçalves *et al.* Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2020.

MÜLLER, Fausto Lopes Duarte *et al.* Revisão sistemática do gerenciamento coletivo de resíduos sólidos industriais com unidade de compostagem associada ao processamento do tabaco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2022.

NUNES, Edna Maria *et al.* Economia circular no reaproveitamento dos resíduos do azeite de dendê pelas Baianas (os) de Acarajé. **Brazilian Journal of Development**, 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/46436>. Acesso em: 12 set. 2023.

OLIVEIRA, Izes Regina de. **Ecossistema urbano em conexão-fluxos da água e biodiversidade com a qualidade de vida frente à mudança climática: propostas de planejamento para Criciúma-SC/Brasil**. 2022. 389f. Tese [Doutorado em Ciências Ambientais] – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, SC, 2022.

REIS, Efraim Lázaro. **Química geral: práticas fundamentais**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2022.

ROCHA, Beatriz Feitoza; ROCHA, Erika da Justa Teixeira. Reciclagem de Óleos e Gorduras Residuais: Percepção do Impacto Ambiental por Moradores de Condomínio Residencial em Fortaleza/CE. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, 2021.

SILVA, F. R. M; SILVA, R. S. Tratamento de água e reutilização dos efluentes. **Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia**. 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet2022/517856-SISTEMA-DE-TRATAMENTO-DE-AGUA-E-REUTILIZACAO-DOS-EFLUENTESCONTAMINADOS-UMA-ALTERNATIVA-ECOLOGICAMENTE-CORRETA->. Acesso em: 04 mai. 2023.

SILVA, Karlos Marx de Sousa. **Descrição das tecnologias de tratamentos de água no Brasil e suas distribuições por regiões no país**, 2020. 75p. Trabalho de Conclusão de Curso [Bacharelado em Engenharia Civil] – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeras, 2022.

STROUSTRUP, Bjarne. **The C++ programming language**. 1997. Disponível em: https://chenweixiang.github.io/docs/The_C++_Programming_Language_4th_Edition_Bjarne_Stroustrup.pdf. Acesso em: 23 ago. 2023.

STUDART, T. M. C. **Análises de incertezas na determinação de vazões regularizadas em climas semi-áridos**. 2000. 151 f. Tese [Doutorado em Recursos hídricos] – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza, 2000.

TAVEIRA, B. D. A. **Hidrogeografia e Gestão de Bacias**. Curitiba: InterSaberes, 2018.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 4ª Edição. São Paulo: Saraiva Educação S.A., 2020.

VENTURA, Katia Sakihama; VAZ, Paulo; NASCIMENTO, Simone Gonçalves. Plano de segurança da água implementado na estação de tratamento de água de Guaraú, em São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 109-119, 2019.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento do esgoto**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental –DESA-UFMG. Belo Horizonte: UFMG, 1997.