

DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE PARA MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DA QUALIDADE DA ÁGUA: PLATAFORMA WEB CENTRADA NO USUÁRIO COM SUPORTE A IOT

Amanda Eugênio de Castro⁽¹⁾

Graduação em Química e mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Lavras. Atualmente é especialista de campo na Conatus Ambiental, coordenando projetos de automação de estações de tratamento de água, unindo conhecimento técnico e gestão operacional.

Endereço⁽¹⁾: Rua Aníbal Franco de Godoy, 129 - Jardim Almira – Mogi Guaçu – SP CEP: 13840-441 - Brasil
- Tel: +55 (35) 99272-3263 - e-mail: amandaeugenio castro@gmail.com

RESUMO

O uso de tecnologias tem transformado o gerenciamento de sistemas complexos, como as Estações de Tratamento de Água (ETAs), promovendo maior eficiência e sustentabilidade. Esse cenário demanda um monitoramento contínuo para o cumprimento de normas regulatórias, como a Portaria GM/MS nº 888/2021. No entanto, a operação tradicional das ETAs ainda depende, em grande parte, de coletas manuais e análises laboratoriais demoradas, o que compromete a agilidade na tomada de decisões e a eficiência dos processos. Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma plataforma web integrada a sensores em linha, utilizando tecnologia IoT para o monitoramento em tempo real dos parâmetros do processo. Para isso, foi adotada uma abordagem centrada no usuário, com etapas que incluíram o levantamento de requisitos, definição de personas, arquitetura da informação, desenvolvimento de wireframes e protótipos. As entrevistas realizadas evidenciaram desafios relevantes, como a baixa escolaridade dos usuários, interfaces sobrecarregadas e a falta de acessibilidade nos sistemas atualmente utilizados. Como resultado, foi desenvolvida uma plataforma orientada ao usuário, com requisitos específicos voltados às condições reais de operação nas ETAs. A solução proporciona usabilidade, acessibilidade e suporte à decisão, contribuindo para a eficiência operacional e a democratização da tecnologia no saneamento.

PALAVRAS-CHAVE: Plataforma Web, Eficiência Operacional, Monitoramento

1. INTRODUÇÃO

O tratamento em Estações de Tratamento de Água (ETAs) envolve uma série de processos críticos como coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção que devem ser continuamente monitorados e ajustados para garantir a eficiência operacional e a qualidade da água distribuída à população. Em especial, as etapas de coagulação e floculação são altamente sensíveis às variações nas características da água bruta, exigindo intervenções manuais frequentes, ensaios de tratabilidade em bancada (Jar Test) e elevado grau de atenção por parte dos operadores (KHEDHER, M. et al. 2023).

Essas exigências operacionais se tornam ainda mais relevantes diante da necessidade de cumprimento das normas de potabilidade da água estabelecidas pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que define limites rigorosos para parâmetros físico-químicos e microbiológicos (BRASIL, 2021; XAVIER, QUADROS e SILVA, 2022). No entanto, grande parte desses controles ainda é realizada de forma reativa, com base em coletas manuais e análises laboratoriais pontuais, o que pode resultar em atrasos na identificação de anomalias e ineficiência no uso de produtos químicos. Paralelamente, muitas ETAs utilizam sistemas genéricos de Central de Controle de Operações (CCO), que, embora robustos, apresentam limitações quanto à personalização para processos específicos e à integração com sensores de campo. Essas limitações podem gerar custos elevados, barreiras para adaptação local e falhas na coleta ou interpretação de dados em tempo real. Apesar dos avanços tecnológicos, ainda há escassez de soluções acessíveis e adaptáveis que ofereçam monitoramento contínuo e apoio à decisão operacional, especialmente no contexto das ETAs brasileiras.

Com o aumento das exigências por eficiência, rastreabilidade e segurança na operação, tecnologias baseadas em Internet das Coisas (IoT) e automação tornam-se essenciais para a modernização do setor (FORHAD et al., 2024). Neste contexto, este estudo propõe e descreve o desenvolvimento de uma plataforma web personalizada para o monitoramento em tempo real de parâmetros da qualidade da água, com integração direta a sensores em linha instalados nos processos das ETAs.

A plataforma foi projetada para exibir dados críticos como pH, turbidez, cloro residual, vazão, entre outros, com atualizações automáticas a cada 15 segundos, permitindo visualização contínua dos dados operacionais. Essa abordagem reduz o tempo de resposta frente a variações no processo e fornece aos operadores uma ferramenta intuitiva e responsiva, capaz de apoiar decisões em tempo real com base em dados confiáveis. A proposta combina uma arquitetura de interface centrada no usuário com os recursos de conectividade da IoT, promovendo maior eficácia na gestão dos processos de tratamento de água.

2. OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo foi desenvolver uma interface de monitoramento em tempo real voltada para controles operacionais em estações de tratamento de água (ETAs), integrando sensores em linha baseados em tecnologia IoT.

3. METODOLOGIA

Este estudo utilizou uma abordagem qualitativa centrada no usuário para o desenvolvimento de uma interface integrada à Internet das Coisas (IoT), voltada ao monitoramento em tempo real da qualidade da água em uma Central de Controle de Operações (CCO) de Estações de Tratamento de Água (ETAs). A construção da plataforma web foi realizada em etapas, priorizando o entendimento das necessidades operacionais, a definição dos requisitos de projeto, a organização da informação e a validação com usuários reais.

A primeira fase, pesquisa e levantamento dos requisitos, focou na identificação dos problemas e necessidades dos usuários, essenciais para a construção de uma interface eficaz. Para isso, foi realizada uma pesquisa primária com trabalhadores de estações de tratamento de água no Brasil, incluindo operadores, gerentes e supervisores. As entrevistas foram conduzidas com participantes de diferentes regiões, totalizando um grupo heterogêneo que permitiu uma visão abrangente sobre a realidade de uso dos sistemas existentes, as dificuldades enfrentadas pelos usuários e as funcionalidades desejadas em uma interface de monitoramento para estações de tratamento de água. A partir dessas informações, foi realizada uma análise para personificar as informações obtidas, criando personas, cenários e jornadas de usuários. Esses artefatos ajudaram a centralizar as dores, necessidades e características de personalidade dos usuários, fornecendo um entendimento profundo sobre como os usuários interagem com o sistema e suas expectativas em relação a ele.

A segunda fase, arquitetura da informação, projetada com o objetivo de organizar e estruturar as páginas e o layout da interface de forma clara e eficiente. Durante essa fase, foi definida a hierarquia das páginas, a sequência de navegação e os elementos principais da interface, como menus, botões e imagens. A arquitetura da informação orientou a construção do fluxo de interações e a distribuição das informações na interface, com a finalidade de tornar o sistema intuitivo e fácil de usar.

A terceira fase, desenvolvimento de wireframes, a criação das representações iniciais da interface que visam ilustrar a estrutura básica das páginas e os elementos da interface, sem entrar em detalhes estéticos. Os wireframes foram utilizados para validar a estrutura e o fluxo de informações com a equipe de desenvolvimento e outras partes interessadas. Isso permitiu discutir e identificar problemas potenciais, além de otimizar o layout antes de avançar para um protótipo mais detalhado.

Na quarta fase, se deu a construção do protótipo de média fidelidade, após a validação dos wireframes. Esta fase se baseou nas escolhas de design estabelecidas nas etapas anteriores, como a paleta de cores, ícones e outros elementos visuais. O protótipo incluiu uma interface mais detalhada, mantendo a funcionalidade e estética de fácil compreensão, com o intuito de aproximar-se do design final.

O protótipo foi dividido em diferentes páginas, sendo elas: Home, Tratamento/Estação, Equipamento/Sensores e Alarmes. A interface da página inicial foi projetada com dois layouts possíveis: um layout orgânico, inspirado nas plantas das estações de tratamento, e um layout modular, orientado pelo ciclo de tratamento de água.

Na quinta fase, o sistema de Design foi desenvolvido e incluiu a padronização de ícones, cores, fontes e elementos gráficos utilizados no protótipo. O sistema de design garantiu consistência visual em todas as páginas do protótipo e forneceu uma base para a implementação futura de novos componentes ou atualizações no sistema.

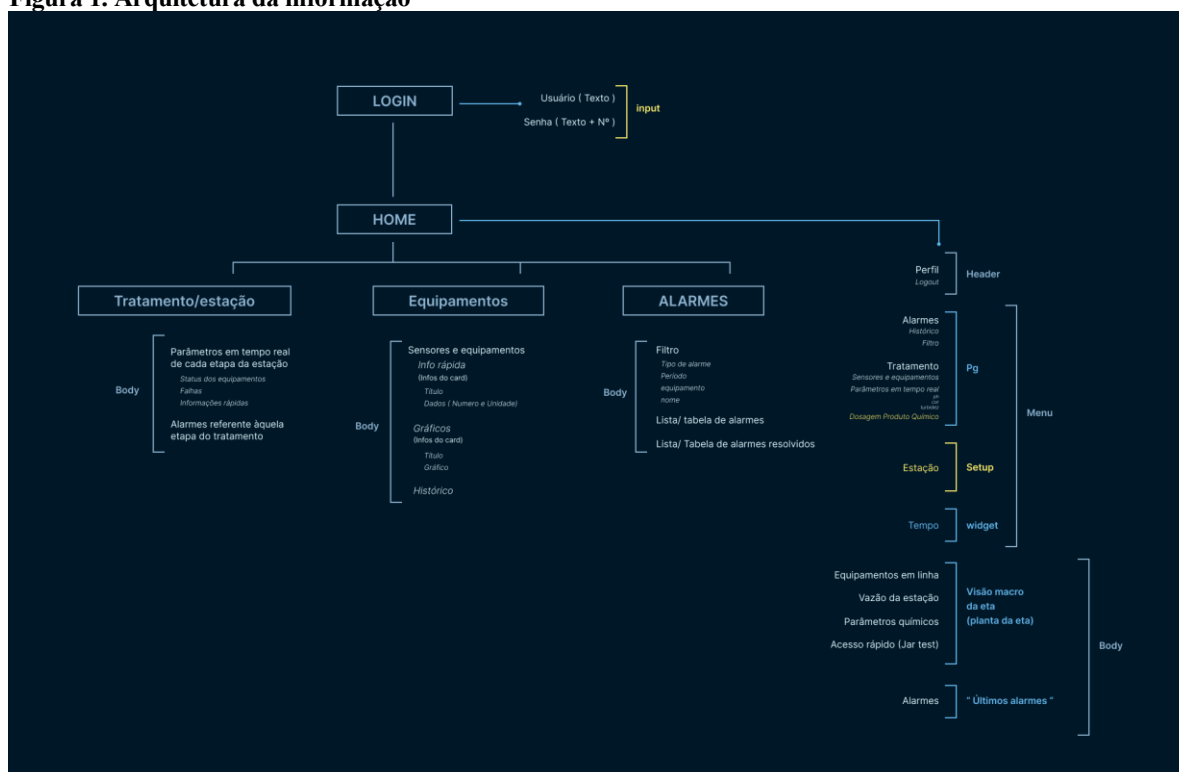
Por fim, realizou-se as considerações de acessibilidade e inclusão, durante todas as fases do desenvolvimento do protótipo, foram adotadas medidas para garantir a acessibilidade do sistema, principalmente em relação a usuários com deficiência visual, como o daltonismo. A paleta de cores foi cuidadosamente escolhida para reduzir a fadiga visual e melhorar o contraste, enquanto os ícones e símbolos foram desenvolvidos para serem facilmente compreendidos por usuários com diferentes níveis de escolaridade. Com os problemas bem definidos, foram elaboradas soluções que focaram na acessibilidade, simplificação e usabilidade da interface.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Na primeira fase, a partir das entrevistas pode-se observar uma realidade precária, em sua maioria, nas estações de tratamento, fato que poderia interferir na implementação da tecnologia, mas um dado muito relevante foi apontado nas características dos operadores, onde uma grande parte apresentou baixa escolaridade. Outros insights foram identificados e documentados, que ajudaram a moldar as estratégias de desenvolvimento da interface.

Em seguida, foram definidos os requisitos de projeto, onde foram listadas todas as necessidades dos usuários, soluções e prioridades de implementação. A construção da arquitetura da informação, possibilitou a organização da hierarquia das páginas e desenhar a estrutura da interface, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Arquitetura da informação



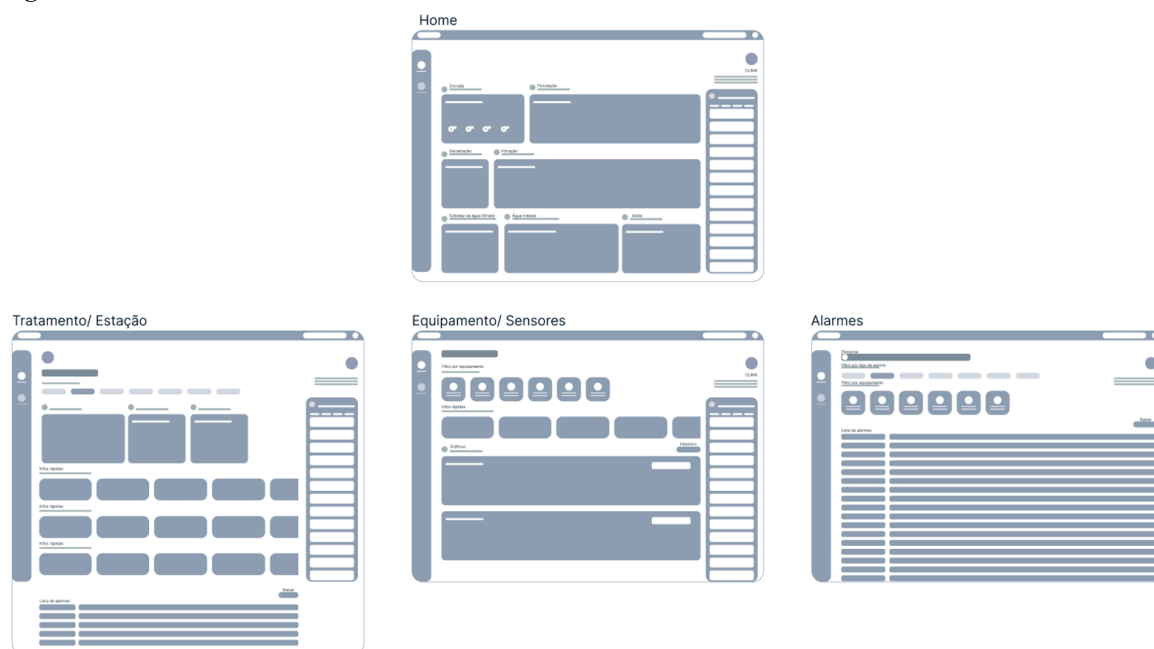
Fonte: O autor (2025)

Conforme ilustrado na Figura 1, a arquitetura da informação possibilitou a identificação dos elementos fundamentais para a estruturação de uma plataforma web voltada ao monitoramento de Estações de Tratamento de Água (ETA). O módulo de autenticação (login) foi implementado com o intuito de assegurar a integridade e a confidencialidade

dos dados gerados durante o processo de tratamento. A página inicial (Home) apresenta uma visão geral dos principais parâmetros monitorados, enquanto as demais seções da plataforma detalham, de forma específica, cada etapa do tratamento.

Com a arquitetura da informação pronta, a etapa seguinte foi o desenvolvimento dos wireframes. Esta etapa, mostra a estrutura básica e layout dos elementos como botões, menus, imagens, texto, sem a necessidade de muitos detalhes. Os wireframes são fundamentais na fase inicial do design, pois permitem que designers, desenvolvedores e outras partes interessadas visualizem e discutam a organização e o fluxo de informações, facilitando a identificação de problemas e melhorias antes de avançar para as etapas mais detalhadas e dispendiosas do design. Neste caso foram criados os layouts das páginas determinadas na arquitetura da informação; Home, Tratamento/Estação, Equipamento/Sensores e Alarmes, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Wireframes da interface



Fonte: O autor (2025)

Com os wireframes construídos e validados pela equipe o passo seguinte foi a construção do protótipo de baixa fidelidade. Neste caso, devido ao design já pré estabelecido anteriormente, paleta de cor, ícones, elementos de design, o protótipo construído apresenta uma estética mais detalhada, desta forma cabe chamá-lo de média fidelidade.

Partindo da “Home”, foram criados dois layouts possíveis para a interface, sendo uma chamada de “orgânica” (Figura 3) e outra de “Modular” (Figura 4).

Figura 3 – Interface orgânica



Fonte: O autor (2025)

Figura 4 – Interface Modular



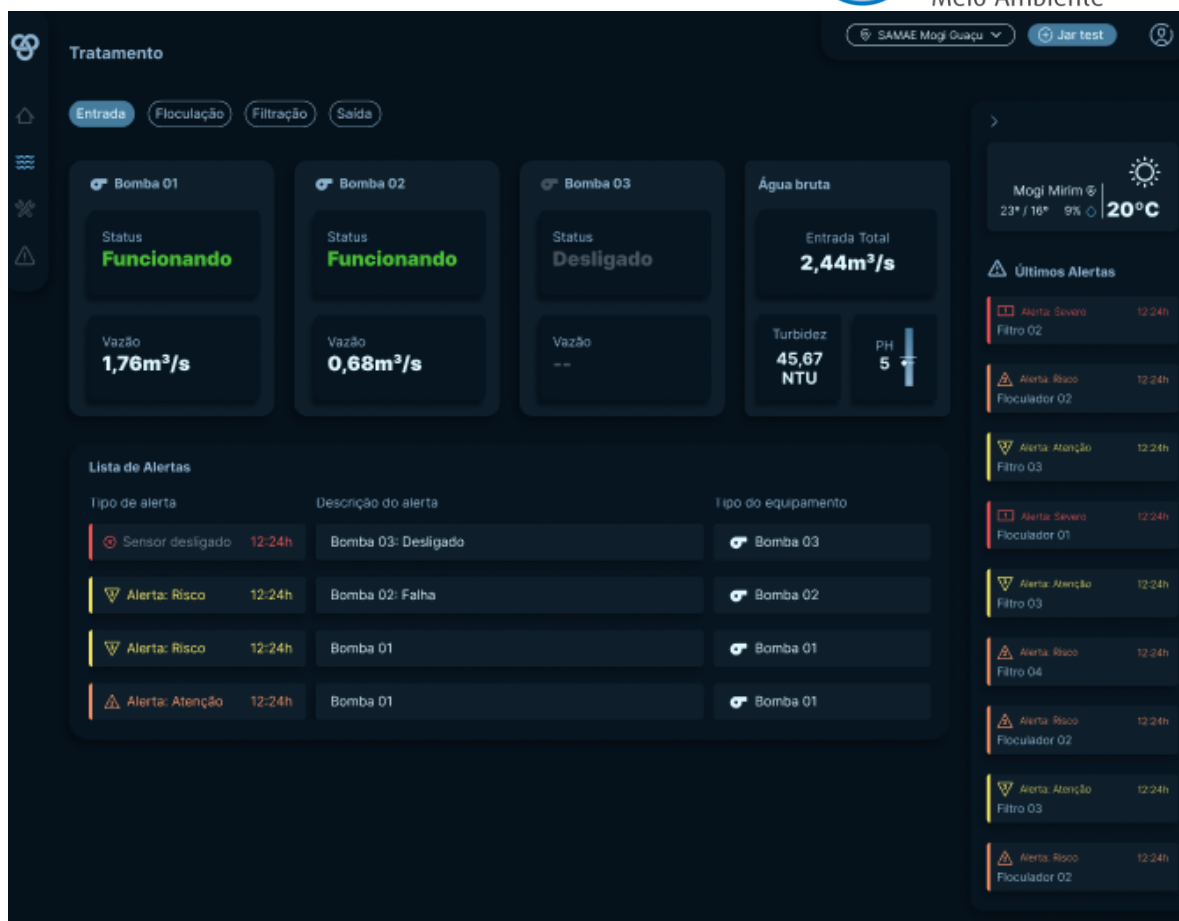
Fonte: O autor (2025)

A primeira, “Orgânica”, apresenta um layout mais fiel à planta das estações de tratamento, uma estrutura visual que parte do ciclo do tratamento de água mas também busca um design visual mais próximo do real. Já a segunda, “Modular”, foi construída através de módulos orientados pelo ciclo de tratamento de água.

Ambos os designs foram analisados e, mesmo o layout da home “orgânica” tenha apresentado um potencial de oferecer uma experiência mais intuitiva para os usuários, foi escolhido para realizar os testes de usabilidade o layout da home “modular”. Isso porque ele apresenta em sua estrutura uma facilidade maior ao desenvolvimento, mas cabe destacar que seu projeto também atende aos quesitos de usabilidade e oferece uma experiência positiva ao usuário.

Posteriormente, foram criadas as etapas de tratamento, equipamento e sensores e alarmes. A página de Tratamento, Figura 5, foi elaborada buscando oferecer uma visão mais objetiva das partes específicas do ciclo do tratamento da água, onde o usuário consiga identificar problemas específicos mas também acompanhar seus parâmetros em tempo real das etapas de entrada de água bruta, floculação, filtração e saída de água tratada.

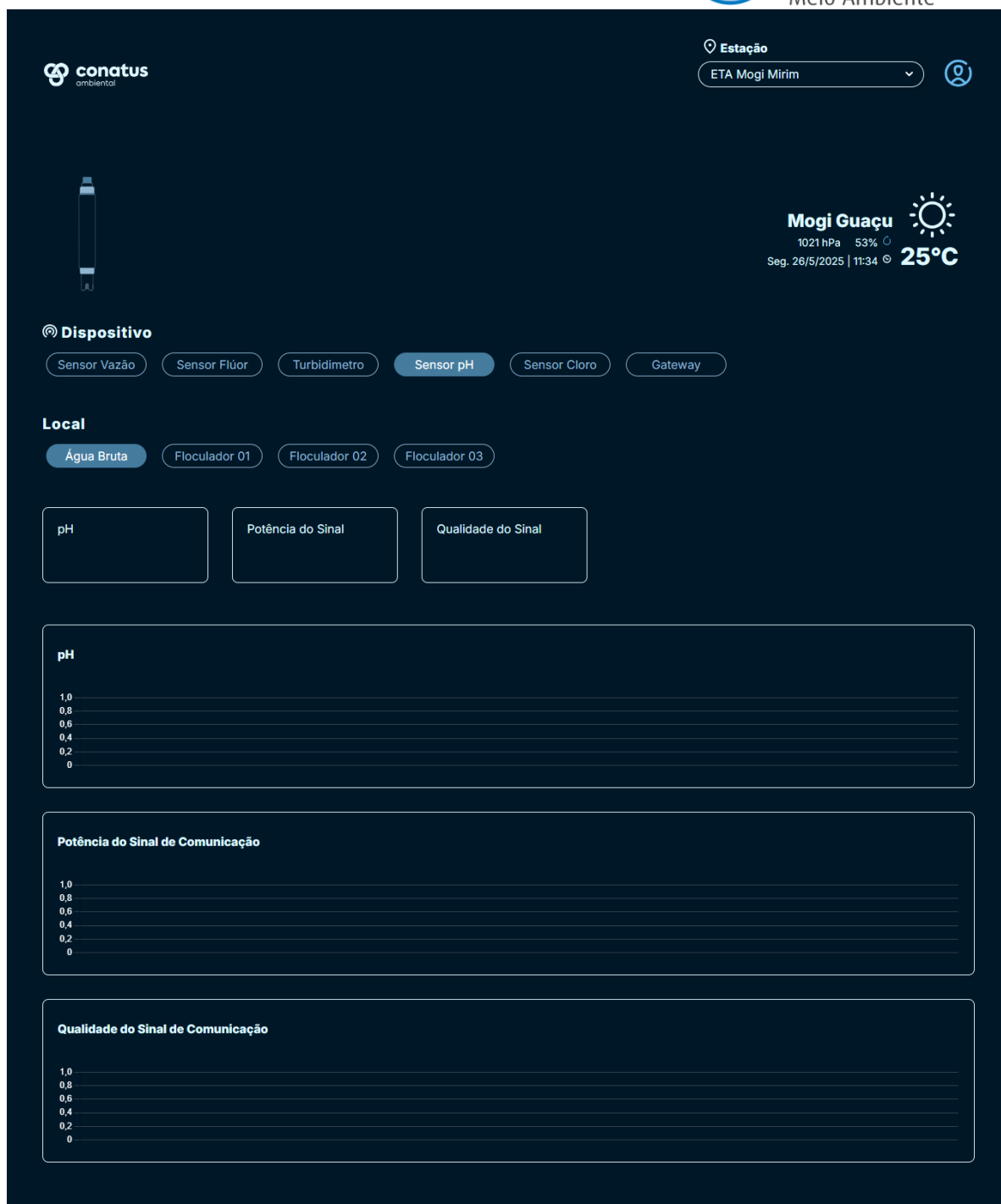
Figura 5 – Interface de Tratamento da página web



Fonte: O autor (2025)

A página de Equipamentos e Sensores, foi projetada para atender às necessidades técnicas relacionadas aos equipamentos. Ela exibe parâmetros específicos de funcionamento em tempo real, permitindo que o usuário identifique de forma objetiva possíveis falhas e suas causas. Com o suporte visual de gráficos, é possível detectar variações e mapear o comportamento desses parâmetros, resultando em um controle mais eficaz e preciso da eficiência dos equipamentos. O objetivo é garantir que os usuários, que já utilizam nossos produtos, possam monitorar o funcionamento dos sensores de forma eficiente. Atualmente os primeiros elementos do sistema desenvolvido (Figura 6), a plataforma web de monitoramento dos sensores em linha está sendo utilizada no sistema autônomo de água e esgoto - SAAE de Mogi Mirim, São Paulo.

Figura 6 – Interface de monitoramento de sensores e equipamentos da página web



Fonte: O autor (2025)

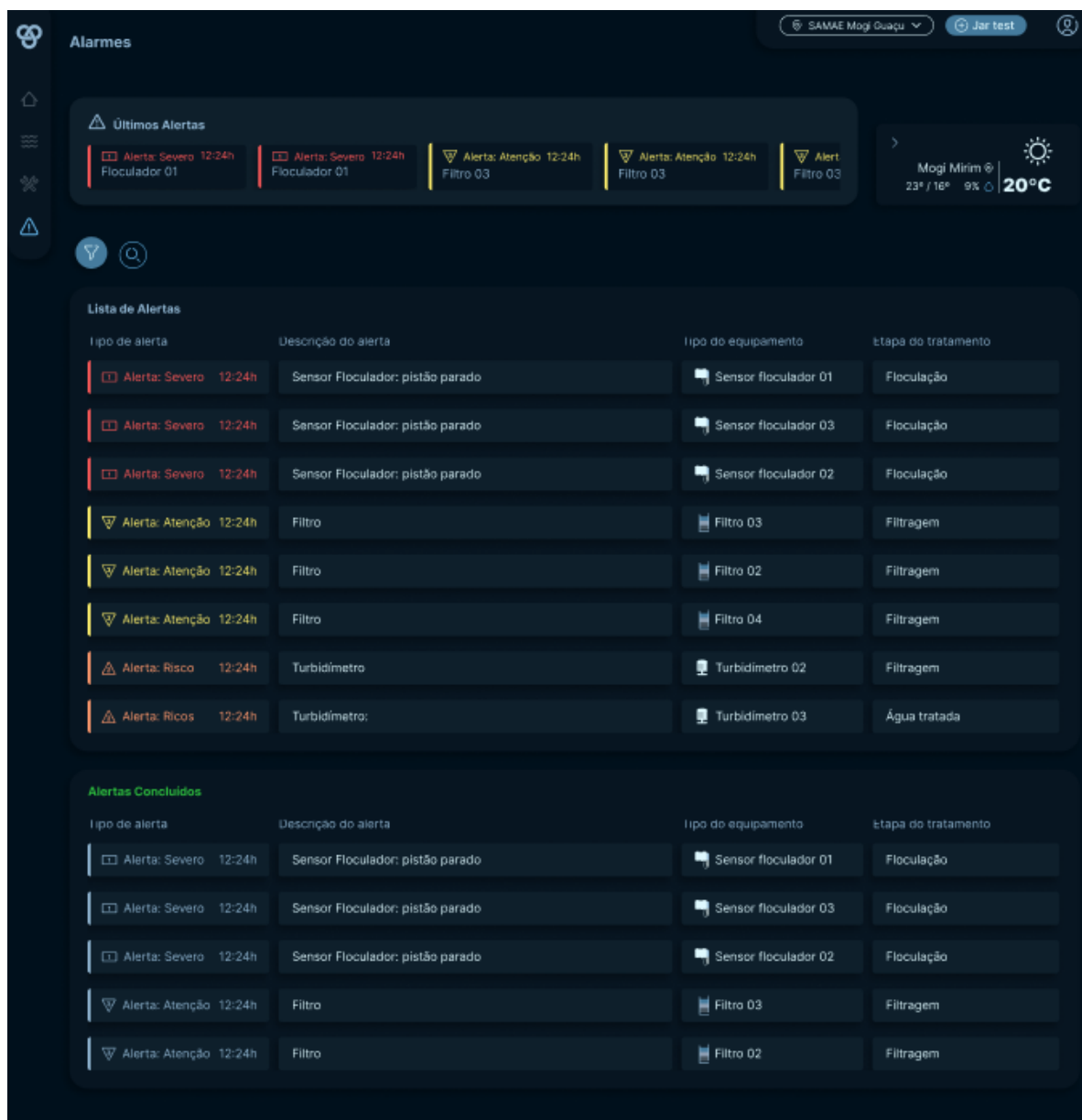
A última página do projeto é a de "Alarmes", Figura 7, que foi cuidadosamente projetada para proporcionar uma experiência de usuário eficiente e intuitiva. Nela, são apresentados os alarmes acionados e resolvidos na estação, permitindo ao usuário filtrar as informações por tipo de alarme (severo, risco ou alerta), etapa do tratamento (entrada, floculação, decantação, filtração e saída), além do equipamento ou sensor relacionado. Também está disponível uma função de busca, onde o usuário pode digitar diretamente o tipo de alarme que deseja visualizar.

A página foi organizada com uma clara separação entre os "últimos alarmes" e a lista completa de alarmes acionados e resolvidos. Seguindo as diretrizes de usabilidade a tabela de alarmes foi organizada de modo a facilitar a compreensão rápida e objetiva dos dados, permitindo que o usuário priorize os problemas mais graves e identifique

a localização exata de cada ocorrência. Com essa abordagem, a página maximiza a eficiência na resolução de problemas.

O desenvolvimento da página buscou atender aos requisitos básicos de usabilidade, as Heurísticas de Nielsen, as diretrizes das ISA101, bem como as necessidades dos usuários levantadas nas entrevistas. Desde a escolha de uma paleta de cor que possibilitasse uma menor fadiga visual, implementação de símbolos para reforçar a identificação dos alarmes pois pessoas com daltonismo ou alguma deficiência visual cromática poderia ter dificuldade em diferenciá-los, até uma maior incorporação de ícones e imagens buscando um reforço visual para que os usuários pudessem se adaptar a interface com menos dificuldade.

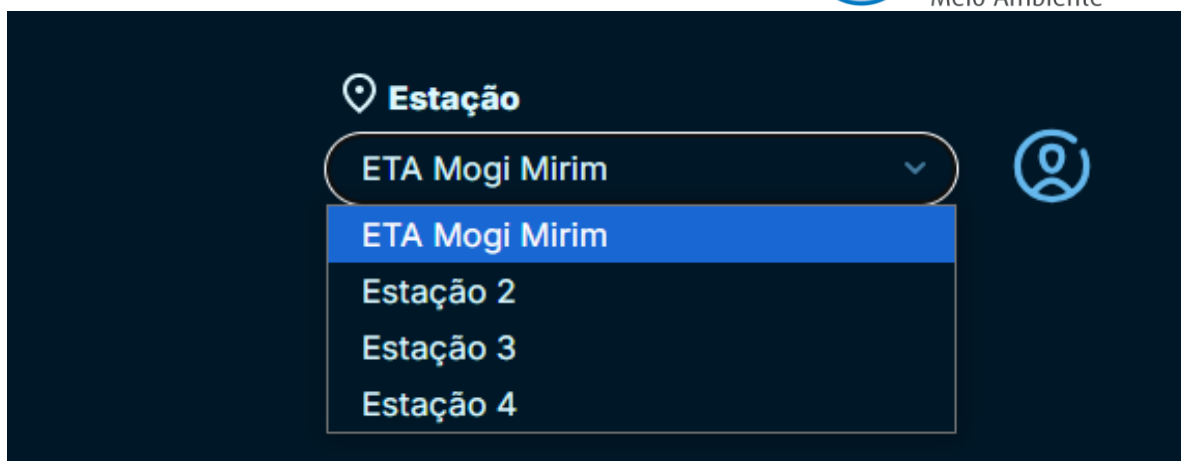
Figura 7 – Interface de alarmes da página web



Fonte: O autor (2025)

No acesso do usuário, Figura 8, ele poderá definir a estação que deseja monitorar, especialmente útil para usuários que são responsáveis por diversas ETAs. Com a seleção dinâmica, fica simples para o usuário escolher entre os diversos exemplos de estações disponibilizadas e, assim, obter os dados da estação correta.

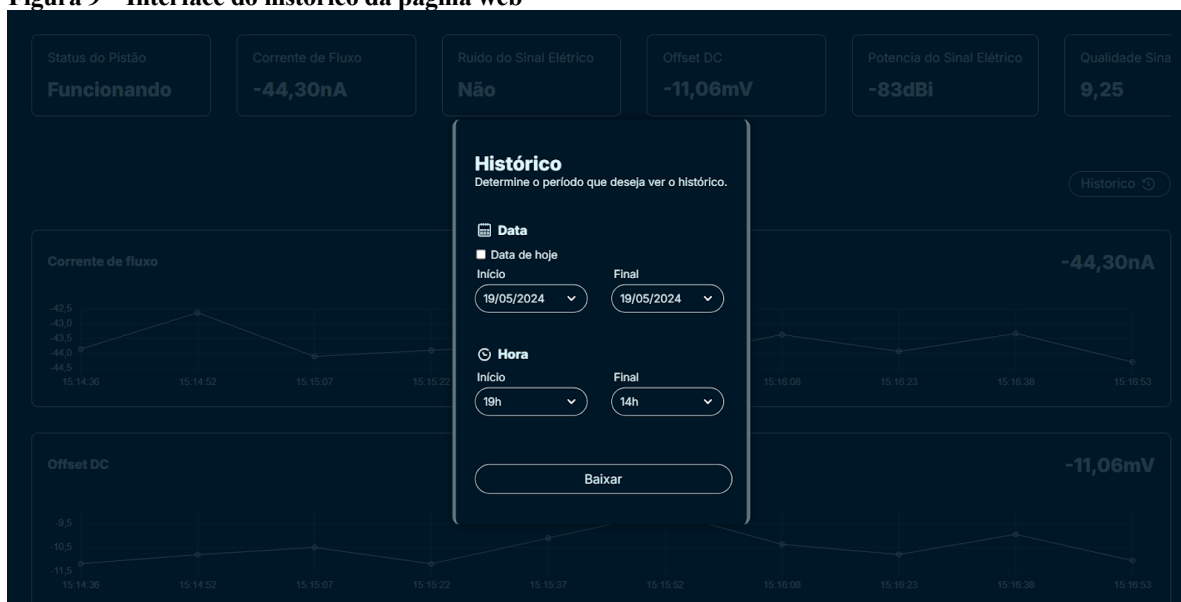
Figura 8 – Interface de acesso ao usuário da página web



Fonte: O autor (2025)

Além disso, caso o usuário opte por fazer o download ao acessar o botão “Histórico”, ele se deparará com a janela suspensa “Histórico” como mostrado na Figura 9, no qual poderá escolher, de acordo com sua necessidade, a hora e a data de início e fim da coleta de dados que deseja baixar.

Figura 9 – Interface do histórico da página web



Fonte: O autor (2025)

Dados históricos dos parâmetros de qualidade da água em Estações de Tratamento de Água (ETAs) é de fundamental importância para o controle e a eficiência dos processos de tratamento. Esses registros possibilitam o monitoramento contínuo e a identificação de tendências, permitindo ajustes operacionais mais precisos, como a dosagem de produtos químicos e o controle da desinfecção. Além disso, o acompanhamento histórico facilita a detecção precoce de anomalias e a prevenção de problemas críticos, como variações sazonais na qualidade da água bruta ou episódios de contaminação. Do ponto de vista gerencial, os dados históricos subsidiam a tomada de decisões estratégicas e a escolha de tecnologias mais adequadas ao contexto local. Também são indispensáveis para a conformidade com as exigências legais e regulamentares, como as definidas pela Portaria GM/MS nº 888/2021, além de fornecerem suporte a auditorias e fiscalizações por parte dos órgãos competentes. Por fim, esses dados constituem uma base essencial para iniciativas de melhoria contínua, implementação de sistemas de gestão da qualidade.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Entre o período de junho de 2023 até março de 2024 foram realizadas um total de 26 entrevistas, incluindo, consultores experientes em ETAs e trabalhadores das próprias estações de tratamento. As discussões foram guiadas pela busca por insights sobre a realidade desses ambientes, eficácia dos sistemas de controle e monitoramento.

Na primeira parte das entrevistas, buscou-se compreender a realidade das ETAs, foram entrevistados um total de 12 trabalhadores de diferentes regiões do Brasil, o que trouxe uma visão macro destes cenários. A análise das entrevistas apontou que as ETAs enfrentam desafios significativos relacionados à tecnologia, comunicação e automação. Foi apontado nas entrevistas, que a falta de tecnologia adequada afeta diretamente a eficiência do tratamento, resultando em desperdício de produto químico e possíveis contaminações na água tratada. A organização e excesso de falhas humanas também foram citados como problemas vigentes, a realidade apontada foi de processos não padronizados, que causam perda de informação e falta de confiabilidade nos dados já reportados.

Nesta mesma perspectiva, uma das hipóteses a ser validada nas entrevistas seria se há ou não resistência dos operadores na adesão de novas tecnologias, em resposta os operadores apontaram, em sua maioria, que a adesão está atrelada a confiança nos equipamentos e nos dados reportados pelos mesmos, assim como ao treinamento e assistência da empresa que os fornecera. Ou seja, é possível identificar um grande problema na confiabilidade dos dados, tanto dos sensores e máquinas quanto dos coletados manualmente. Ainda neste cenário, as entrevistas mostraram, além da precariedade das estruturas, a falta de mão de obra qualificada, onde o perfil dos operadores foi identificado como, em sua maioria, homens, de idade variada e de baixa escolaridade. Levando em conta que o objetivo maior destas entrevistas foi compreender as dores e necessidades dos usuários, com o intuito de criar e desenvolver um produto que atenda a tais requisitos. Enfrentar uma limitação como a de usuários com baixa escolaridade aumenta significativamente a sensibilidade e humanização, pois a ideia não é substituir esses trabalhadores, mas sim diminuir sua carga de trabalho e consequentemente trazer mais eficiência operacional.

A segunda entrevista foi realizada com o objetivo de compreender a interação de operadores de CCO com a interface, desta forma, nosso público alvo ficou restrito a pessoas que trabalhassem diretamente com os sistemas de monitoramento. Nesta ação foram entrevistados 7 operadores de CCO de diferentes regiões e estações de tratamento do Brasil. A entrevista foi realizada com o intuito de mapear elementos familiares, identificar falhas, validar componentes e elementos semânticos.

Neste primeiro bloco pode-se compreender que o monitoramento das informações das estações é realizado em uma sala de monitoramento, através de telas fixas onde os operadores passam a maior parte do tempo analisando tendência e identificando alertas. Em geral o monitoramento é feito apenas nessas salas, não há responsividade do sistema, impedindo que o trabalhador faça o acompanhamento das informações quando ausente da sala. Um fator preocupante, pois, um cenário comum nas estações é a presença de apenas um operador por turno, onde este, precisa ir constantemente a campo resolver os problemas da ETA e fazer a coleta dos dados, logo a vigilância da operação acaba não acontecendo, prejudicando a velocidade na resolução do problema, podendo causar diversos riscos na operação.

Além disso, a sobrecarga visual imposta pelos sistemas operacionais representa um desafio a ser abordado, dada sua influência direta sobre a análise precisa dos dados e as tomadas de decisão. Este cenário não apenas compromete a eficácia operacional, mas também afeta a saúde dos usuários. Com longas jornadas de trabalho, frequentemente excedendo 10 horas, os operadores enfrentam uma constante exposição a uma quantidade muito alta de estímulos visuais, caracterizados por pisca-piscas, cores vibrantes e texturas. Em meio a essa atmosfera, onde rapidez e precisão são essenciais para garantir a integridade operacional e a segurança dos funcionários, a fadiga visual emerge como um fator crítico. A confusão mental e a exaustão resultantes do excesso de informações representam não apenas um obstáculo à eficiência, mas também um potencial fonte de riscos operacionais. Assim, a atenção à fadiga visual se torna imperativa, não apenas em prol da qualidade das operações, mas também da saúde e bem-estar dos colaboradores. Atualmente, muitas estações trabalham com um CCO que apresenta um grande volume de informações e o excesso de textura e cores. Este formato diverge completamente do que a Norma ISA-101: Interface Homem-Máquina (IHM), ela enfatiza vários princípios-chave que contribuem para uma IHM bem-sucedida. Estes incluem:

Padronização do conteúdo: Garantir a consistência na apresentação de informações em diferentes interfaces.

Consciência da situação: Fornecer aos operadores informações relevantes para compreender o estado do sistema e tomar decisões informadas.

Gestão de alarmes: Tratamento eficaz dos alarmes para evitar a sobrecarga de informação e facilitar uma resposta rápida.

Navegação: Navegação intuitiva para aumentar a eficiência do utilizador e reduzir o risco de erros.

Nas entrevistas ainda foram abordadas sobre as informações pertinentes para uma ETA. As informações que os entrevistados mais acompanhavam: vazão, pressão e nível dos reservatórios, foram os mais citados, em contraponto, cloro, turbidez, informações laboratoriais, foram informações que eles gostariam que o sistema oferecesse. Destas afirmações é possível compreender que os sistemas oferecem apenas algumas informações e uma falham na entrega de dados que acompanhem a parte do tratamento de água, deixando o operador às cegas em relação a eficiência neste processo. Em sua maioria, as ETAs não são automatizadas, onde o operador, em campo, faz as coletas e aplica a dosagem supostamente correta dos produtos químicos, tudo manualmente.

Ainda na entrevista com os operadores de CCO, perguntas sobre acessibilidade foram feitas com o objetivo de compreender se o sistema atendia algum requisito de acessibilidade. As respostas foram negativas ao questionamento, alegando que o supervisor não oferecia nenhuma ferramenta ou elemento que auxiliasse em qualquer tipo de deficiência, mesmo sabendo da importância do tema. Todos os entrevistados afirmaram que não trabalham ou trabalharam com pessoas com deficiência nas Estações, mas mesmo assim alguns sugeriram que os sistemas poderiam ter algum reforço visual na mensagem de alerta, pois pessoas daltônicas teriam dificuldade em diferenciar as cores e consequentemente em identificar o status do alarme e reforçaram o suporte de um aviso sonoro, que auxiliaria tanto aqueles com alguma deficiência quanto os sem deficiência. Frente a isso vale ressaltar que mesmo no cenário apresentado na entrevista, onde os operadores não convivem ou conviveram com pessoas com deficiência, é imprescindível que a construção de uma interface dessa complexidade e relevância atenda aos mínimos requisitos de acessibilidade, garantindo a essas pessoas condições mínimas de trabalho caso venham a interagir com a interface.

Contudo, as entrevistas proporcionaram uma compreensão mais profunda dos desafios enfrentados pelas ETAs e identificaram oportunidades significativas para aprimorar os sistemas de controle e monitoramento, desde a falta de tecnologia adequada até a sobrecarga visual e cognitiva nas interfaces de monitoramento. Além disso, destacaram a importância de considerar as necessidades e capacidades dos usuários, especialmente no que diz respeito à diversidade e inclusão. Diante desses desafios, fica evidente que a integração dos princípios de UI/UX com o auxílio de especialistas da área de saneamento, para desenvolvimento de interfaces homem-máquina, essencial para criar sistemas eficientes e de fácil utilização. A implementação bem-sucedida da norma ISA 101 depende da harmonização perfeita entre as diretrizes da indústria e as necessidades dos usuários, priorizando sua satisfação, eficiência e segurança, garantindo então o fornecimento de água potável de alta qualidade para as comunidades atendidas.

6. CONCLUSÕES

A integração entre sensores IoT atrelada a uma interface centrada no usuário e arquitetura responsiva promove uma resposta tecnológica realista aos desafios enfrentados pelas ETAs, sobretudo quanto à ausência de automação, baixa escolaridade dos operadores e limitações dos sistemas supervisórios atuais.

Os resultados obtidos demonstram que é possível alinhar avanços tecnológicos às necessidades reais dos usuários, priorizando a usabilidade, acessibilidade e eficiência operacional. A plataforma proposta oferece benefícios concretos como: redução de falhas humanas, aumento da confiabilidade nos dados, agilidade na tomada de decisões e melhoria no controle de processos críticos. Além disso, ela representa um avanço importante na democratização do acesso à tecnologia no setor de saneamento.

Por fim, destaca-se que a adesão efetiva a tecnologias como esta depende não apenas do seu desempenho técnico, mas também do compromisso com o treinamento, suporte contínuo e envolvimento dos usuários finais desde as fases iniciais de desenvolvimento. A abordagem adotada neste trabalho aponta um caminho promissor para a modernização das ETAs, contribuindo para a sustentabilidade, segurança hídrica e qualidade dos serviços prestados à população.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. Disponível em: <https://anepp.org/portaria-gm-ms-no-888-de-4-de-maio-de-2021/>
2. FORHAD, M.; UDDIN, Md. Ripaj; CHAKROVORTY, R. S.; RUHUL, A. M.; FARUK, H. M.; KAMRUZZAMAN, Sarker; SHARMIN, Nahid; JAMAL, A. H. M. Shofiul Islam Molla; HAQUE, Md. Mezba-Ul; MORSHED, A. K. M. M. IoT based real-time water quality monitoring system in water treatment plants (WTPs). Heliyon, [S.l.], v. 10, n. 23, e40746, 2024.
3. KHEDHER, M.; AWAD, J.; DONNER, E.; DRIGO, B.; FABRIS, R.; HARRIS, M.; BRAUN, K.; CHOW, C. W. K. Using the Flocculation Index to optimise coagulant dosing during drinking water treatment. Journal of Water Process Engineering, v. 51, p. 103394, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714422008388>. Acesso em: 14 maio 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103394>.
4. XAVIER, M. das V. S.; QUADROS, H. C.; SILVA, M. S. S. da. Parâmetros de potabilidade da água para consumo humano: uma revisão integrativa. Research, Society and Development, v. 11, n. 1, p. e42511125118, 2022.