



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

**OPTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA 3 DE UMBELUZI: MELHORIA DO SISTEMA
AUTOMÁTICO**

Autora:

Cumbane, Rachel de Sá Bernardo

Supervisor da UEM:

Engº Roberto Luciano David

Co-Supervisor (FIPAG):

Engº Edson Cuna

Maputo, Julho de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

OPTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA 3 DE UMBELUZI: MELHORIA DO SISTEMA AUTOMÁTICO

Autora:

Cumbane, Rachel de Sá Bernardo

Supervisor da UEM:

Engº Roberto Luciano David

Co-Supervisor (FIPAG):

Engº Edson Cuna

Maputo, Julho de 2025



Optimização da Eficiência Operacional da Estação de Tratamento de Água 3 de Umbeluzi:

Melhoria do Sistema Automático.

Rachel de Sá Bernardo Cumbane



TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que a estudante Cumbane, Rachel de Sá Bernardo, entregou no dia ___/07/2025 as 3 (três) cópias do relatório do seu Relatório de Estágio Profissional, com o título: Otimização da Eficiência Operacional da Estação de Tratamento de Água 3 de Umbeluzi: Melhoria do Sistema Automático.

Maputo, ___ de _____ de 2025

O Estudante

Chefe da Secretária

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer á Deus pelo dom da vida, por ter permitido chegar até aqui e por me permitir concretizar esse sonho sempre estando comigo nos momentos bons e maus durante esse percurso.

Um agradecimento especial aos meus pais **Januário e Sara Cumbane**, pelo amor, dedicação, paciência, confiança e por sempre acreditarem no meu potencial, hoje sim pais posso dizer que vossa filha conseguiu.

Agradecer especialmente aos meus companheiros das batalhas o Engº Raimundo Mandlule e Ethan Mandlule por acreditarem em mim e me apoiarem nessa minha jornada.

Agradecer aos meus irmãos, cunhadas e sobrinhos: Dálíio, Dércio, Gerente, Deize, Arley, Márcia, Raquel, Assucena, Marlene, Heitor, Nayara, Ayanna. Kylie e Kayder, pelo apoio e carinho durante a minha jornada acadêmica.

Agradecer as minhas amigas da vida Yolanda, Anacleto, Edna. As minhas primas do coração Jully e Sara.

Um especial agradecimento aos meus supervisores Engº Roberto (UEM), Eng^a Dalva (FIPAG), Engº Edson (FIPAG) e para os meus colegas do Fipag pelo apoio e dedicação do seu escasso tempo para realização de correções, de sugestões e recomendações durante esse período de estágio.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
Januário e Sara Cumbane.
Ao meu filho,
Ethan Mandlule.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Rachel de Sá Bernardo Cumbane, estudante do curso de Engenharia e Gestão Industrial na Universidade Eduardo Mondlane – Faculdade de Engenharia, declaro, sob compromisso de honra, que o presente Relatório de Estágio foi elaborado por mim de forma individual, com base nas atividades realizadas durante o período de estágio na empresa FIPAG, entre os dias 31 de Março à 30 de Junho de 2025.

Declaro ainda que todas as informações, observações e análises aqui contidas são verdadeiras e resultam da minha experiência prática, respeitando os princípios de integridade, responsabilidade e ética académica.

Estou ciente de que qualquer forma de plágio ou falsificação de informações pode acarretar consequências disciplinares conforme os regulamentos da instituição de ensino.

Maputo, Julho de 2025

Rachel de Sá Bernardo Cumbane

RESUMO

O presente relatório apresenta a proposta de modernização da Estação de Tratamento de Água 3 de Umbeluzi, com o objetivo de otimizar sua eficiência operacional por meio da automação dos processos críticos. A investigação revelou que a estação, apesar de recente, opera com forte dependência manual e enfrenta limitações na monitoria e controle em tempo real, resultando em perdas operacionais e riscos à qualidade da água distribuída. Foram propostas soluções tecnológicas baseadas na instalação de sensores digitais, controladores lógicos programáveis (CLPs) e um sistema supervisão e aquisição de dados (SCADA) para supervisão centralizada, proporcionando maior precisão na dosagem de químicos, automação do acionamento de electrobombas e geração de alarmes preventivos. O estudo demonstrou que, embora o investimento inicial seja elevado, os benefícios a médio e longo prazo superam os custos, incluindo a redução do consumo de reagentes e energia elétrica, maior confiabilidade no abastecimento e capacidade de resposta mais rápida a eventos críticos. O sistema contempla ainda a capacitação dos operadores e a adequação da infraestrutura, assegurando a sustentabilidade e a eficiência contínua do sistema.

Palavras-chave: Automação, Tratamento de Água, Eficiência Operacional, ETA Umbeluzi, SCADA, CLP.

ABSTRACT

This report presents a proposal for the modernization of the Umbeluzi Water Treatment Plant 3, aiming to optimize its operational efficiency through the automation of critical processes. The analysis revealed that the plant, although recently built, operates with significant manual dependence and lacks real-time monitoring and control systems, resulting in operational losses and risks to the quality of the distributed water. Technological solutions were proposed, including the installation of digital sensors, programmable logic controllers (PLCs), and a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system for centralized supervision. These solutions enable more accurate chemical dosing, automated pump operation, and preventive alarm generation. Despite the high initial investment, the medium- and long-term benefits outweigh the costs, including reduced consumption of chemicals and electricity, greater reliability of the water supply, and faster response to critical events. The system also includes training for operators and adapting the infrastructure, ensuring the system's sustainability and ongoing efficiency.

Keywords: Automation, Water Treatment, Operational Efficiency, Umbeluzi WTP, SCADA, PLC.

ÍNDICE

Termo de entrega de relatório de estágio profissional	II
Agradecimentos	III
Dedicatória	IV
Declaração de honra	V
Resumo	VI
<i>Abstract</i>	VII
Lista de figuras	XI
Lista de tabelas	XII
Lista de abreviações	XIII
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Justificativa	2
1.2. Objectivos	3
1.2.1. Objectivo Geral	3
1.2.2. Objectivos Específicos.....	3
1.3. Problemáticas da investigação.....	3
1.4. Perguntas de Investigação.....	3
1.5. Tarefas de Investigação	4
1.6. Estrutura do relatório.....	5
Capítulo 2 – Revisão da literatura	6
2.1. Estações de tratamento de água: conceitos e funcionamento	6
2.1.1. Tipos de estações de tratamento	7
2.1.2. Etapas do tratamento de água em ETAs convencionais	7
2.1.3. Principais desafios operacionais nas ETAs	7
2.2. Sistema de captação de água em Moçambique	8
2.2.1. Desafios na Captação	8
2.3. Sistemas de Tratamento de água	10

2.4. Sistema de distribuição de água.....	11
2.4.1. Componentes do sistema.....	12
2.4.2. Problemas comuns	12
2.5. Conceito de automação de processos.....	12
2.5.1. Aplicações da automação em estações de tratamento de água (ETA) ...	12
2.5.2. Tecnologias utilizadas na automação de ETAs	13
2.5.3. Vantagens da automação no abastecimento de água.....	18
Capítulo 3 – Contextualização da investigação.....	19
3.1. Estação de Tratamento de Água (ETA) 3 de Umbeluzi	19
3.2. Processo de tratamento.....	19
3.3. Percurso da água	20
3.4. Diagnóstico dos problemas da situação actual da ETA 3	21
3.4.1. Perdas de caudal na ETA 3.....	22
3.5. Desafios e perspectivas futuras.....	23
Capítulo 4 – Metodologia e resolução do problema	25
4.1. Tipo de pesquisa.....	25
4.2. Métodos utilizados	25
4.2.1. Observação direta.....	25
4.2.2. Entrevistas com técnicos e operadores	25
4.2.3. Análise documental	26
4.2.4. Pesquisa bibliográfica	26
4.3. Etapas da investigação.....	26
Capítulo 5 – Apresentação, análise e discussão dos resultados	28
5.1. Proposta técnica de automação	28
5.1.1. Implantação de sensores de campo	28
5.1.2. Instalação de CLPs	29
5.1.3. Sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).....	30
5.1.4. Treinamento de pessoal.....	30

5.2. Arquitetura SCADA proposta	34
5.2.1. Escopo das Instalações	35
5.2.2. Arquitetura da rede de controle	36
5.2.3. Software SCADA, Historiador e Geração de Relatórios.....	37
5.3. Controle e operação	38
5.4. Benefícios esperados com a proposta.....	38
5.4.1. Melhoria da eficiência operacional	38
5.4.2. Maior confiabilidade da qualidade da água distribuída	39
5.4.3. Redução do consumo de reagentes químicos e energia elétrica.....	39
5.4.4. Capacidade de resposta mais rápida a eventos críticos	40
5.4.5. Geração de dados históricos confiáveis.....	41
5.5. Análise de custos de implementação do sistema de automação.....	41
5.5.1. Equipamentos e instalação	41
5.5.2. Sistema SCADA e infraestrutura de comunicação	42
5.5.3. Treinamento e capacitação de pessoal.....	43
5.5.4. Custos indirectos e reserva técnica	43
5.5.5. Custo total estimado de implementação	43
5.6. Descrição dos equipamentos.....	43
5.7. Custo de equipamentos para implementação preliminar.....	48
5.8. Análise crítica.....	50
5.9. Observações.....	51
Capítulo 6 – Conclusões e recomendações.....	52
6.1. Recomendações.....	52
Referências	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. A Estação de Tratamento de Água (ETA) do Umbeluzi, província de Maputo (fonte: Autor).	6
Figura 2: Controlador lógico programável.	14
Figura 3. Arquitectura de sistema SCADA.	15
Figura 4. Descrição do Sistema. (Fonte AdRMM, Cadastro Técnico, 2022)	20
Figura 5. Percurso da água (fonte: AdRMM, Cadastro Técnico, 2022)	21
Figura 6. Interface Operacional da ETA - Estado funcional dos equipamentos (fonte: Autor)	22
Figura 7. Perdas de caudal na ETA 3.	23
Figura 8. Arquitetura da rede de controle proposta (fonte: autor).	36
Figura 9: CLP (fonte: https://mall.industry.siemens.com)	44
Figura 10: fonte de alimentação (fonte: https://mall.industry.siemens.com)	44
Figura 11: disjuntores (fonte: https://www.margirius.com.br/)	45
Figura 12: Ethernet industrial (fonte: https://www.phoenixcontact.com/)	45
Figura 13: Termostatos (fonte: https://www.tme.eu/)	46
Figura 14: Conversor de mídia (fonte: https://www.e1-converter.com/)	46
Figura 15: Isoladores de sinal analógico (fonte: https://www.phoenixcontact.com/pt)	47
Figura 16: Relés de proteção de motores (fonte: https://new.abb.com)	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Perdas de caudal na ETA 3.	22
Tabela 2: Comparação do atual estado da ETA com o cenário ideal	23
Tabela 3. Analise SWOT	24
Tabela 4. Proposta de formação inicial para colaboradores.....	34
Tabela 5: Custos dos equipamentos e Instalação.	42
Tabela 6. Custos de implementação do sistema SCADA e infraestrutura de comunicação.	42
Tabela 7. Custos de treinamento e capacitação do pessoal.	43
Tabela 8. Custos indirectos e reserva técnica.	43
Tabela 9. Custo total estimado.	43
Tabela 10: Custos dos equipamentos necessários	48
Tabela 11: Custo das ferramentas necessárias.....	49

LISTA DE ABREVIACÕES

Sigla	Significado
AdRMM	Águas da Região Metropolitana de Maputo
ARA SUL	Administração Regional de Águas do Sul
CLP	Controlador Lógico Programável
ETA	Estação de Tratamento de Água
FIPAG	Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água
GE iFIX	Software de supervisão SCADA
HMI	Interface Homem-Máquina
MCC	Motor Control Center (Centro de Controle de Motores)
OMS	Organização Mundial da Saúde
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal (software da Siemens)
VPN	Virtual Private Network
MISAU	Ministério da Saúde
AURA	Autoridade Reguladora de Água

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos sistemas de tratamento de água constitui um dos principais desafios enfrentados pelas entidades gestoras, especialmente em países onde o crescimento populacional, a urbanização acelerada e as mudanças climáticas exercem uma forte pressão nos recursos hídricos e a infraestrutura existente.

A água produzida e distribuída pela Águas da Região Metropolitana de Maputo (AdRMM), a partir do Sistema de Umbeluzi, Sistema de Corumana e das redes, é sujeita a um rigoroso controlo de qualidade. Os resultados do controlo de qualidade são disponibilizados às entidades competentes como o MISAU e AURA – através dos relatórios mensais produzidos pela AdRMM e submetidos ao FIPAG.

A Estação de Tratamento de Água (ETA) de Umbeluzi, localizada na província de Maputo, é operada pela AdRMM e é uma das principais infraestruturas responsáveis pelo tratamento de água na área Metropolitana de Maputo, Matola e Boane.

A ETA de Umbeluzi foi construída em três fases muito distanciadas no tempo, possuindo três linhas distintas (ETA 1 executada há mais de 50 anos, ETA 2 com cerca de 20 anos e mais recentemente a ETA 3 em 2011) e possui capacidade de 240.000m³/dia.

A ETA 3 de Umbeluzi (caso de estudo) foi concebida para complementar as ETA 1 e 2 com 96.000 m³/dia de capacidade adicional apresentando melhorias em termos de capacidade, eficiência e qualidade do tratamento.

A gestão sustentável da água captada no rio Umbeluzi é feita em articulação com a ARA SUL, que tem como mandato a proteção dos recursos hídricos da região. A parceria entre AdRMM e a ARA SUL é fundamental para assegurar a disponibilidade hídrica necessária ao funcionamento das ETAs, bem como para implementar medidas conjuntas de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

Relatórios apontam que as limitações operacionais, o consumo elevado de energia e a dependência excessiva de intervenções manuais, a degradação de equipamentos, obsolescência de alguns equipamentos e a escassez de dados em tempo real para tomada de decisões e a gestão ineficaz dos processos, têm comprometido o desempenho e a eficiência deste sistema. Neste caso, torna-se imperioso adoptar abordagens inovadoras que permitem modernizar e optimizar o funcionamento da ETA-3.

A crescente demanda pelos serviços de abastecimento de água tem sido um desafio muito grande em termos da eficiência operacional dos sistemas existentes.

O presente relatório de estágio foi desenvolvido no âmbito das atividades realizadas no Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água (FIPAG), entidade responsável por gerir os investimentos relacionados com o abastecimento de água em centros urbanos. O FIPAG desempenha um papel crucial no planeamento, implementação e gestão de projectos de infraestruturas hídricas, visando garantir o acesso a água potável para a população. Neste relatório propõe-se analisar a situação actual da ETA 3, operada pela AdRMM com foco na melhoria da automação e a eficiência operacional.

1.1. Justificativa

A automação de processos é uma tendência crescente nas infraestruturas de abastecimento de água, com o objectivo de melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e garantir a qualidade do serviço. No caso da ETA 3 de Umbeluzi, a crescente demanda por água potável, aliada à complexidade do processo de tratamento, tem gerado desafios operacionais que afectam a qualidade e a disponibilidade da água distribuída. A automação pode contribuir para a modernização da estação, proporcionando maior controle sobre os processos de tratamento e aumentando a capacidade de resposta a variações na demanda.

Além disso, a adoção de tecnologias avançadas pode reduzir o desperdício de recursos, melhorar a gestão da energia e garantir uma operação mais sustentável e resiliente aos desafios climáticos. Este relatório é relevante, pois oferece soluções práticas e sustentáveis para melhorar a operação de uma das principais estações de tratamento de água da capital moçambicana, impactando directamente a qualidade de vida da população atendida.

Durante o estágio no FIPAG, foi possível observar de perto os desafios enfrentados na gestão operacional da ETA 3 de Umbeluzi, especialmente no que se refere ao controle manual de processos, que limita a eficiência, eleva os custos operacionais e aumenta o risco de falhas humanas. Essa vivência prática reforçou a percepção da necessidade de modernização e automação dos sistemas de tratamento de água.

Nesse contexto, a presente proposta de automação visa aprimorar a eficiência operacional da ETA 3, por meio da implementação de tecnologias inteligentes que

permitam o monitoramento contínuo, o controle automático e a análise em tempo real dos parâmetros críticos do processo.

Portanto, este trabalho se justifica não só pela relevância acadêmica e técnica, mas também pela contribuição directa para a melhoria dos processos operacionais da ETA, promovendo ganhos significativos em eficiência, economia e qualidade, alinhados às necessidades práticas identificadas durante o estágio.

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo Geral

Propor um sistema de automação para otimizar a eficiência operacional da ETA 3 de Umbeluzi, com foco na redução de custos operacionais e melhoria do desempenho do tratamento de água.

1.2.2. Objectivos Específicos

1. Analisar os processos operacionais actuais da ETA de Umbeluzi para identificar áreas críticas de ineficiência;
2. Analisar as tecnologias de automação aplicáveis ao tratamento de água, avaliando sua viabilidade para implementação na ETA;
3. Propor soluções de automação para os processos críticos da ETA, com foco na optimização da eficiência e redução de custos operacionais.

1.3. Problemáticas da investigação

Como a implementação de soluções de automação pode contribuir para a melhoria da eficiência operacional da Estação de Tratamento de Água 3 de Umbeluzi?

1.4. Perguntas de Investigação

- Quais são os principais factores que afetam negativamente a eficiência da ETA?
- Quais áreas do processo de tratamento de água são mais críticas e passíveis de automação?
- Que tecnologias de automação são mais adequadas para a realidade técnica e financeira da ETA?

- De que forma a automação pode contribuir para a sustentabilidade e resiliência operacional da ETA?
- Quais benefícios concretos podem ser esperados com a implementação da proposta?

1.5. Tarefas de Investigação

- Levantamento bibliográfico sobre automação no tratamento de água;
- Recolha e análise de dados sobre o funcionamento actual da ETA 3;
- Identificação de falhas e limitações nos processos manuais existentes;
- Consulta a especialistas e operadores para compreender os desafios operacionais;
- Mapeamento das etapas do processo suscetíveis à automação;
- Pesquisa e seleção de tecnologias compatíveis com a infraestrutura da ETA 3;
- Elaboração de uma proposta técnica de automação;
- Análise da viabilidade técnica e económica da proposta apresentada.

1.6. Estrutura do relatório

Capítulo 1 – Introdução:

Apresenta o contexto geral do estudo, justificativa do tema, definição do problema, objectivos, perguntas e tarefas de investigação, bem como a estrutura do relatório.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica:

Apresenta os principais conceitos teóricos relacionados à automação de processos em estações de tratamento de água, tecnologias utilizadas, benefícios esperados, e experiências relevantes no sector.

Capítulo 3 – Contextualização da investigação:

Descreve o enquadramento institucional, geográfico e técnico da Estação de Tratamento de Água 3 de Umbeluzi (ETA 3), analisando a situação actual da operação, os principais desafios enfrentados e a necessidade de modernização dos processos por meio da automação.

Capítulo 4 – Metodologia de resolução de problema:

Detalha os procedimentos adoptados para diagnosticar os problemas operacionais na ETA 3 e propõe uma abordagem prática para a resolução desses problemas com base em soluções de automação.

Capítulo 5 – Apresentação, análise e discussão dos resultados:

Apresenta os resultados obtidos com a análise dos dados e do diagnóstico realizado, discutindo a viabilidade e os impactos da proposta de automação no contexto da ETA 3.

Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações:

Resume os principais resultados obtidos, destaca os impactos esperados da proposta e apresenta recomendações para a implementação das soluções sugeridas, bem como sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Estações de tratamento de água: conceitos e funcionamento

As Estações de Tratamento de Água (ETAs) desempenham um papel essencial na saúde pública, assegurando que a água captada de fontes naturais seja tratada adequadamente antes de ser distribuída à população.



Figura 1. A Estação de Tratamento de Água (ETA) do Umbeluzi, província de Maputo (fonte: Autor).

Uma Estação de Tratamento de Água é uma infraestrutura projetada para realizar uma série de processos físicos, químicos e biológicos com o objectivo de remover impurezas e microrganismos presentes na água bruta, tornando-a segura para consumo humano.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2017), a água potável deve estar livre de agentes patogénicos e conter níveis aceitáveis de parâmetros como turbidez, pH, cloro residual, cor e odor.

2.1.1. Tipo de estação de tratamento

As ETAs podem ser classificadas segundo a complexidade do processo e a tecnologia empregada:

- ETA Convencional: utiliza os processos básicos descritos acima.
- ETA Compacta: sistemas pré-fabricados, ideais para pequenas comunidades ou locais remotos.
- ETA Automatizada: com integração de sensores, controladores e sistemas SCADA.
- ETA com Reuso: inclui processos adicionais, como osmose reversa e filtração por membranas, para reuso de água.

2.1.2. Etapas do tratamento de água em ETAs convencionais

As principais etapas do tratamento convencional em uma ETA são:

- Captação, pré-cloração, coagulação e floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e distribuição.

2.1.3. Principais desafios operacionais nas ETAs

As ETAs enfrentam desafios técnicos e operacionais, entre os quais:

- Variabilidade na qualidade da água bruta, exigindo ajustes constantes nos processos;
- Equipamentos antigos ou desgastados, que reduzem a eficiência;
- Interrupções no fornecimento de energia;
- Falta de monitoramento contínuo e preciso;
- Perdas de água durante o tratamento e distribuição.

Em Moçambique, essas dificuldades são agravadas pelo rápido crescimento urbano, pelo envelhecimento da infraestrutura e pelas limitações de recursos técnicos e humanos.

2.2. Sistema de captação de água em Moçambique

Em Moçambique, a captação de água para abastecimento urbano provém principalmente de fontes superficiais, como rios e barragens, sendo os rios Umbeluzi, Incomáti, Zambeze e Revúboè os mais utilizados (DNAAS, 2021). Os sistemas de captação podem ser gravíticos (quando a água flui por gravidade) ou bombeados (quando a água é elevada com recurso a electrobombas). A água é captada através de estações de bombeamento equipadas com electrobombas submersíveis ou centrífugas e, em alguns casos, por gravidade quando a topografia é favorável. No entanto, a infraestrutura de captação enfrenta sérios desafios, como a poluição das fontes, o assoreamento dos reservatórios e a deterioração de equipamentos devido à falta de manutenção e investimentos (FIPAG, 2022; FAO, 2020).

Além disso, a variabilidade climática tem reduzido a previsibilidade das vazões dos rios, dificultando o planeamento de longo prazo e a garantia da oferta contínua de água (UNESCO, 2020).

2.2.1. Desafios na Captação

Sazonalidade e variabilidade climática

A maioria das fontes de captação em Moçambique, como rios e barragens, depende diretamente das chuvas. O país possui um regime pluviométrico marcado por grandes variações sazonais:

- Durante a estação chuvosa (novembro a março), há maior disponibilidade de água.
- Na estação seca (abril a outubro), os níveis dos rios e barragens baixam significativamente.

Essas flutuações tornam o abastecimento irregular e vulnerável, especialmente nas regiões semiáridas do sul. As mudanças climáticas agravam esse problema, com eventos extremos como secas prolongadas e cheias repentinas, dificultando o planeamento hídrico a longo prazo.

Poluição das fontes de água

As fontes superficiais de água (rios e lagos) estão cada vez mais expostas à poluição por:

- Resíduos domésticos não tratados, principalmente em áreas urbanas com saneamento precário;
- Efluentes industriais, sem controlo rigoroso de descargas;
- Escorrência agrícola, rica em fertilizantes e pesticidas;
- Deposição de lixo e esgotos clandestinos nas margens dos rios.

Essa poluição compromete a qualidade da água bruta, aumentando os custos e a complexidade do tratamento, e colocando em risco a saúde pública.

Erosão e assoreamento de rios e represas

As fontes superficiais de água (rios e lagos) estão cada vez mais expostas à poluição por:

- Resíduos domésticos não tratados, principalmente em áreas urbanas com saneamento precário;
- Efluentes industriais, sem controlo rigoroso de descargas;
- Escorrência agrícola, rica em fertilizantes e pesticidas;
- Deposição de lixo e esgotos clandestinos nas margens dos rios.

Essa poluição compromete a qualidade da água bruta, aumentando os custos e a complexidade do tratamento, e colocando em risco a saúde pública.

Falta de manutenção de infraestruturas de captação

Muitos sistemas de captação em Moçambique foram construídos nas décadas de 1980 ou antes e não acompanharam o crescimento populacional e urbano das últimas décadas.

Desafios técnicos incluem:

- Electrobombas avariadas ou com baixa eficiência energética;
- Fugas nas tubagens de adução;
- Ausência de sistemas de monitoramento e controlo em tempo real;

- Dificuldades na reposição de peças ou manutenção preventiva.

A falta de investimento regular em manutenção e modernização contribui para falhas operacionais frequentes e perdas de água ainda na fase inicial do sistema.

Conflitos de uso da água

Em algumas regiões, como a bacia do Umbeluzi e do Incomáti, os rios são compartilhados entre Moçambique, Essuatíni (Suazilândia) e África do Sul. Isso cria desafios transfronteiriços, como:

- Redução dos fluxos de água devido a captações a montante;
- Prioridades diferentes entre países para uso da água (irrigação, consumo humano, indústria);
- Dificuldade de monitoramento conjunto e gestão integrada das bacias hidrográficas.

Embora existam acordos como o Tripartite Interim Agreement, a implementação prática e equitativa ainda é limitada.

Crescimento populacional e urbano

O aumento acelerado da população urbana, especialmente nas cidades de Maputo, Matola, Nampula e Beira, tem exercido enorme pressão sobre as fontes de captação existentes, muitas das quais foram projetadas para populações menores.

A demanda crescente não só aumenta a necessidade de água, como também:

- Acelera o esgotamento das reservas de água nos rios e aquíferos;
- Requer investimentos rápidos em novas fontes e tecnologias de captação;
- Dificulta a sustentabilidade do abastecimento sem uma gestão eficiente.

2.3. Sistemas de Tratamento de água

O processo de tratamento em Moçambique segue, geralmente, as etapas clássicas de captação, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, com o uso de cloro como principal agente desinfetante (FIPAG, 2022). A Estação de Tratamento de Água (ETA) 3 de Umbeluzi é um exemplo emblemático: ela utiliza a água captada na Barragem

dos Pequenos Libombos, que passa por todo esse processo antes de ser distribuída para a área metropolitana de Maputo e zonas adjacentes.

Apesar dos avanços, muitos sistemas de tratamento operam com tecnologias obsoletas, apresentando perdas de eficiência e dificuldades em lidar com variações na qualidade da água bruta (World Bank, 2020). Isso compromete a segurança hídrica, especialmente em períodos de cheia ou de elevada turbidez das águas (Tundó, 2018).

O tratamento de água em Moçambique segue, em geral, os padrões convencionais, especialmente em áreas urbanas. As ETAs principais em Moçambique são:

- ETA 3 de Umbeluzi – uma das maiores do país, abastece Maputo, Matola e Boane;
- ETA de Corumana – opera a partir da barragem de Corumana (ainda em fase de expansão);
- ETA de Chimoio – abastece a cidade de Chimoio;
- ETA de Nampula, Beira e Quelimane – cada uma serve grandes centros urbanos.

As ETAs são geridas, na sua maioria, pelo FIPAG (Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água), responsável pelas infraestruturas em centros urbanos.

2.4. Sistema de distribuição de água

A distribuição da água tratada em Moçambique é feita por meio de redes de condutas principais e secundárias, reservatórios e estações elevatórias. No entanto, as perdas físicas por vazamentos são significativas e podem ultrapassar 40% do volume produzido em algumas cidades, devido à antiguidade das redes e à gestão ineficiente (FIPAG, 2022).

Adicionalmente, há zonas periurbanas que permanecem sem acesso formal à rede, sendo dependentes de camiões-cisterna ou poços privados, o que amplia as desigualdades no acesso à água potável (World Bank, 2020; INE, 2022). A falta de medição eficaz também prejudica o controlo de consumo e a sustentabilidade financeira dos operadores.

Depois de tratada, a água é armazenada em reservatórios elevados ou ao nível do solo, de onde é distribuída à população por meio de redes de tubagens.

2.4.1. Componentes do sistema

- Reservatórios de distribuição;
- Rede primária (adutoras);
- Rede secundária (distribuição);
- Ramais domiciliares;
- Hidrantes e torneiras públicas em zonas periurbanas e rurais.

2.4.2. Problemas comuns

- Perdas de água (fugas e ligações clandestinas);
- Infraestruturas antigas e corroídas;
- Baixa pressão em zonas elevadas ou periféricas;
- Racionamento em épocas secas.

2.5. Conceito de automação de processos

Segundo Martins e Silva (2019), a automação industrial pode ser definida como a aplicação de sistemas tecnológicos capazes de operar, controlar e monitorar processos de forma contínua ou intermitente, com mínima intervenção humana. No caso específico do sector de saneamento, a automação permite a integração entre sensores, controladores lógicos programáveis (CLPs), sistemas de supervisão (SCADA) e atuadores, garantindo maior controle dos processos e tomada de decisões em tempo real.

De acordo com Oliveira et al. (2020), a automação contribui significativamente para o aumento da eficiência em ambientes industriais complexos, sendo especialmente útil onde o controle de variáveis críticas é essencial para garantir a qualidade do produto final, como no caso da água potável.

2.5.1. Aplicações da automação em estações de tratamento de água (ETA)

Em estações de tratamento de água (ETAs), a automação permite controlar com precisão as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, otimizando o uso de insumos e assegurando a conformidade com os parâmetros de

qualidade. Para Fernandes (2018), a implementação de sistemas automatizados nas ETAs reduz significativamente os riscos de falhas operacionais, além de permitir um monitoramento contínuo de variáveis como pH, turbidez e cloro residual.

Conforme destaca a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2017), a gestão eficiente da qualidade da água depende de um controle preciso de processos, e a automação representa um avanço crucial nesse sentido, principalmente em países em desenvolvimento, onde a perda de água e a interrupção de serviços ainda são desafios frequentes.

2.5.2. Tecnologias utilizadas na automação de ETAs

A automação em estações de tratamento de água envolve uma integração complexa de componentes físicos e lógicos, que trabalham juntos para monitorar e controlar os processos em tempo real. As tecnologias aplicadas permitem desde a medição de variáveis até a actuação automática sobre os sistemas de tratamento e distribuição. A seguir, são descritos os principais elementos que compõem esse sistema.

Sensores e instrumentação de campo

Os sensores são dispositivos fundamentais na automação, pois são responsáveis por coletar dados em tempo real das variáveis de processo. Entre os principais sensores utilizados em ETAs estão:

- Sensores de nível (ultrassônicos ou de pressão): medem o volume de água em reservatórios e tanques.
- Sensores de vazão: monitoram o fluxo de água em tubulações.
- Sensores de pH e turbidez: essenciais para controlar a qualidade da água.
- Sensores de cloro residual e condutividade elétrica: garantem a eficiência do processo de desinfecção.

Segundo Fernandes (2018), a escolha de sensores adequados e sua correcta calibração são fundamentais para garantir a confiabilidade dos dados, que servirão de base para as decisões automáticas do sistema.

Controladores Lógicos Programáveis (CLPs)

Os CLPs são os cérebros da automação industrial. Eles recebem sinais dos sensores, processam as informações segundo lógicas pré-programadas e enviam comandos para os actuadores. Santos e Melo (2020) destacam que a integração entre CLPs e sensores inteligentes possibilita respostas automáticas a variações na qualidade da água ou no volume de entrada, o que reduz significativamente o risco de distribuição de água fora dos padrões exigidos.

De acordo com Martins e Silva (2019), os CLPs têm vantagens como:

- Alta confiabilidade e resistência a ambientes industriais;
- Capacidade de operação contínua;
- Facilidade de reprogramação para ajustes de lógica de controle.



Figura 2: Controlador lógico programável.

Em ETAs, os CLPs podem controlar, por exemplo, a abertura e fechamento de válvulas, o accionamento de electrobombas e doseadores de produtos químicos, bem como a interligação entre diferentes etapas do tratamento.

Sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

Os sistemas SCADA, conforme descrito por Silva e Almeida (2021), permitem uma supervisão centralizada e em tempo real de todos os processos da estação, além de registrar eventos históricos que podem ser usados para análise de desempenho e manutenção preditiva. Ele funciona como uma interface entre o operador e o processo automatizado.

Conforme Silva e Almeida (2021), os sistemas SCADA são compostos por:

- Interface gráfica (HMI) com sinóticos da planta;
- Alarmes e históricos de eventos;
- Relatórios de produção e consumo;
- Capacidade de controle remoto dos equipamentos.

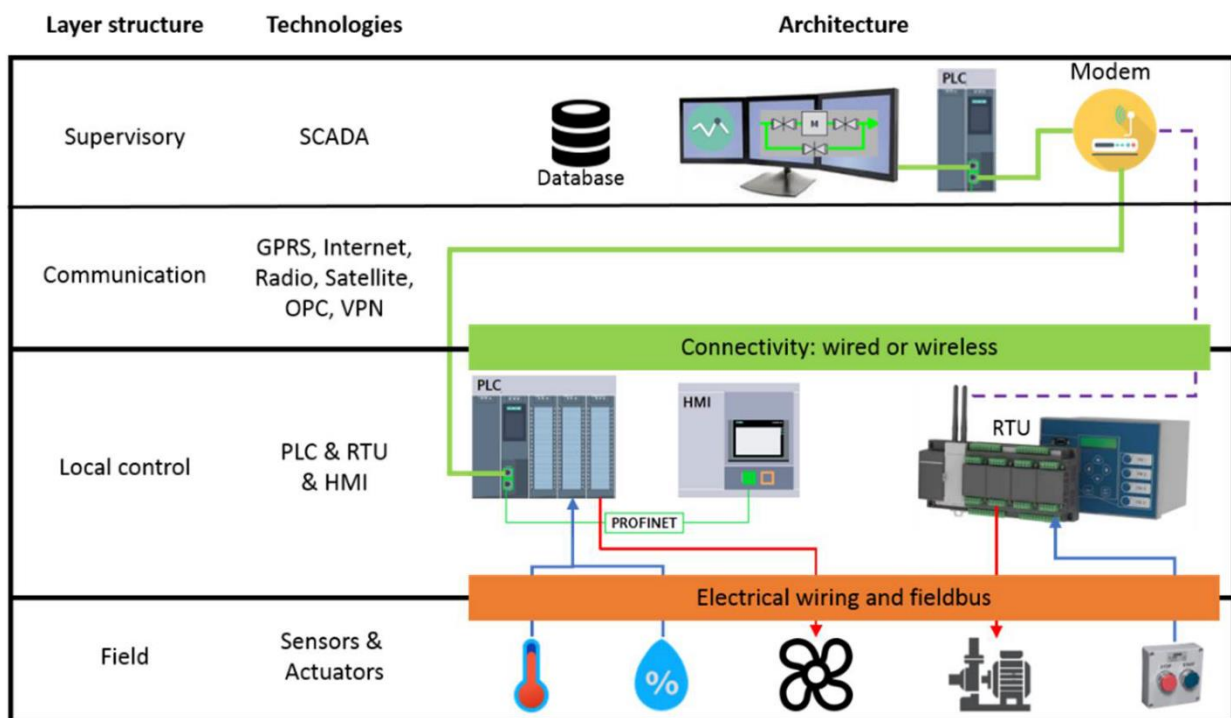


Figura 3. Arquitetura de sistema SCADA.

A figura apresenta uma arquitetura genérica de um sistema SCADA aplicado ao monitoramento e controle de estações de tratamento de água ou águas residuais. A estrutura está organizada em quatro camadas funcionais principais: camada de campo (Field), camada de controle local (Local Control), camada de comunicação (Communication) e camada de supervisão (Supervisory). Cada uma dessas camadas possui funções e tecnologias específicas que, em conjunto, garantem o funcionamento contínuo e seguro de uma instalação descentralizada.

Camada Field

Na camada inferior (Field) encontram-se os dispositivos físicos de medição e atuação, como sensores de temperatura, humidade, nível e vazão, além de atuadores, como

válvulas motorizadas, electrobombas e ventiladores. Esses dispositivos são conectados eletricamente aos controladores por meio de cabeamento tradicional ou barramentos industriais (fieldbus), garantindo que sinais analógicos ou digitais sejam corretamente transmitidos e recebidos.

Camada Local Control

A camada de controle local abriga os controladores lógicos programáveis (CLPs) e as unidades terminais remotas (RTUs), responsáveis por executar as lógicas de controle de forma autônoma. Os painéis HMI (Interface Homem-Máquina) também estão nesta camada, permitindo ao operador local visualizar dados em tempo real, ajustar parâmetros operacionais ou executar comandos manuais diretamente nos equipamentos de campo. A comunicação entre os CLPs e as HMIs, como indicado na figura, é frequentemente realizada através de protocolos industriais como o PROFINET, que oferece confiabilidade e baixa latência na troca de dados.

Camada Communication

A camada de comunicação representa a infraestrutura que permite que os dados dos controladores locais sejam transferidos para um sistema central de supervisão. Essa transmissão pode ocorrer por meio de conexões com fio (Ethernet industrial) ou sem fio, utilizando tecnologias como GPRS, rádio, internet, satélite ou redes privadas virtuais (VPNs). Um modem ou *gateway* é geralmente utilizado para estabelecer esse elo entre a rede local e o sistema remoto. Nessa camada, é comum o uso de protocolos de comunicação padronizados (por exemplo, OPC) que garantem a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes.

Camada Supervisory

Por fim, na camada de supervisão, encontra-se o sistema SCADA, composto por estações operacionais e servidores de banco de dados. Este sistema recebe os dados dos controladores, realiza o pré-processamento, armazena as informações em bancos de dados históricos e disponibiliza visualizações interativas nas interfaces homem-processo (HPI). Os operadores podem então monitorar remotamente o desempenho da instalação, responder a alarmes, gerar relatórios ou acionar comandos de controle à distância, quando necessário.

Essa arquitetura modular permite que unidades de tratamento de água, mesmo quando dispersas geograficamente, operem de forma integrada, segura e eficiente. A divisão em

camadas facilita a manutenção, o escalonamento do sistema e a adoção de medidas de cibersegurança e redundância, elementos cada vez mais indispensáveis em sistemas críticos de infraestrutura.

Atuadores e elementos de controle

Os actuadores são responsáveis por realizar ações físicas no sistema, com base nos comandos dos CLPs. Entre os mais comuns estão:

- Motores elétricos (para electrobombas e agitadores);
- Válvulas motorizadas ou pneumáticas (controle de fluxo);
- Doseadores automáticos (de coagulantes, cloro, cal, etc.).

Segundo Santos e Melo (2020), a automação desses dispositivos evita erros operacionais e permite que o sistema responda rapidamente a variações na qualidade da água ou na demanda.

Redes de comunicação industrial

A comunicação entre os diferentes dispositivos do sistema automatizado é feita por meio de redes industriais robustas, que garantem a troca confiável de dados em tempo real. As principais tecnologias utilizadas são:

- Modbus RTU e Modbus TCP/IP;
- Profibus e Profinet;
- Ethernet Industrial (Ethernet/IP).

De acordo com Marques e Cruz (2016), essas redes são projetadas para suportar ambientes industriais severos, garantindo imunidade a ruídos e altas velocidades de transmissão, essenciais para aplicações críticas como o controle da qualidade da água.

As redes industriais como Modbus, Profibus e Ethernet/IP são amplamente utilizadas para garantir a comunicação entre os diversos dispositivos e o sistema supervisório. Essas redes tornam possível a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes, o que é essencial em estações com equipamentos heterogêneos (Marques & Cruz, 2016).

2.5.3. Vantagens da automação no abastecimento de água

A automação oferece uma série de vantagens nas ETAs. Segundo Lopes et al. (2019), os principais benefícios incluem:

- Redução de perdas de água e energia, graças ao controle mais preciso dos processos;
- Diminuição de custos operacionais, com a automação de tarefas repetitivas e redução de falhas humanas;
- Melhoria da qualidade da água distribuída, ao manter parâmetros de processo dentro de faixas ótimas;
- Agilidade na resposta a eventos críticos, como variações bruscas na qualidade da água bruta;
- Facilidade de manutenção preventiva, com base em dados históricos gerados pelos sistemas automatizados.

CAPÍTULO 3 – CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3.1. Estação de Tratamento de Água (ETA) 3 de Umbeluzi

De acordo com os dados providenciados pela AdRMM (Cadastro Técnico, 2022), o sistema de água de Maputo é composto por 3.400km de rede de distribuição, 15 Centros de Distribuição nas Cidades de Maputo, Matola, Vila de Boane e parte do Distrito de Marracuene. A Estação de Tratamento de Água (ETA) 3 de Umbeluzi é uma infraestrutura essencial localizada no distrito de Boane, província de Maputo, responsável por abastecer as cidades de Maputo, Matola e Boane, desempenhando um papel crucial no fornecimento de água potável à região metropolitana.

Situada a jusante da barragem dos Pequenos Libombos, a ETA 3 capta água do rio Umbeluzi, cuja bacia hidrográfica abrange áreas de Moçambique, Essuatíni e África do Sul. De acordo com a FIPAG e AdRMM, a estação possui uma capacidade de produção máxima de 96.000m³ por dia de água, sendo elevada através do sistema elevatório situado imediatamente a jusante da ETA e transportada ao longo de um sistema adutor com mais de 80km, atendendo a uma população significativa na região.

3.2. Processo de tratamento

O processo de tratamento na ETA 3 envolve várias etapas:

1. Captação: a água é captada do rio Umbeluzi.
2. Pré-Cloração: adição de cloro para desinfecção inicial.
3. Coagulação: adição de sulfato de alumínio para desestabilizar partículas.
4. Floculação: formação de flocos para facilitar a remoção de impurezas.
5. Decantação: separação dos flocos por sedimentação.
6. Filtração: remoção de partículas remanescentes.
7. Desinfecção final: garantia da qualidade microbiológica da água.



Figura 4. Descrição do Sistema. (Fonte AdRMM, Cadastro Técnico, 2022)

Essas etapas asseguram que a água tratada atenda aos padrões de qualidade exigidos para consumo humano.

3.3. Percurso da água

Fase 1: Recolha e tratamento

A água é captada por bombagem mecânica para a Estação de Tratamento para pré-cloração, onde são destruídas as bactérias, algas e outros microrganismos. Depois é feita a separação física da água limpa.

Fase 2: Distribuição da água

Adiciona-se cloro para destruir quaisquer bactérias ou microrganismos que possam ter escapado nos processos de tratamento e confere-se a segurança da água até ao ponto de armazenamento e consumo.

Fase 3: Entrega ao cliente

Assinatura de contrato de adesão que permite o fornecimento da água à instalação do cliente por meio de uma ligação ao sistema. São feitas leituras periódicas para verificar o volume de água consumido para que se possam emitir as faturas de pagamento.

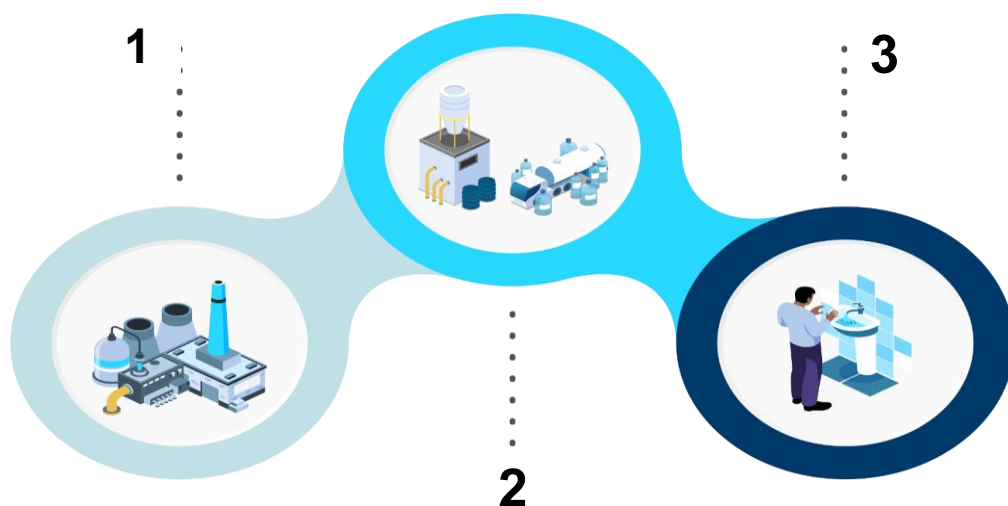


Figura 5. Percurso da água (fonte: AdRMM, Cadastro Técnico, 2022)

3.4. Diagnóstico dos problemas da situação actual da ETA 3

A partir da observação directa e das entrevistas com operadores, foi possível constatar que a ETA 3 passou de um sistema automático para manual em menos de 4 anos e opera com significativa dependência de intervenções manuais. Entre os principais problemas identificados destacam-se:

- Baixo nível de conhecimento técnico nas áreas de automação e instrumentação;
- Falta de materiais e acessórios no mercado nacional e demora na reposição de stock de acessórios;
- Falta de sensores em tempo real: muitas variáveis como pH, turbidez e nível de tanques são medidas manualmente, com baixa frequência;
- Processos de dosagem de químicos pouco precisos: a dosagem é feita com base em estimativas visuais, resultando em desperdício ou subdosagem;
- Ausência de um sistema central de supervisão: não há interface gráfica que permita o acompanhamento global dos processos;
- Frequência elevada de falhas operacionais: devido à actuação tardia em casos de anomalias, como variações bruscas na qualidade da água bruta;
- Comunicação limitada entre sectores: a operação dos diversos sectores da ETA é isolada, dificultando a tomada de decisão integrada.

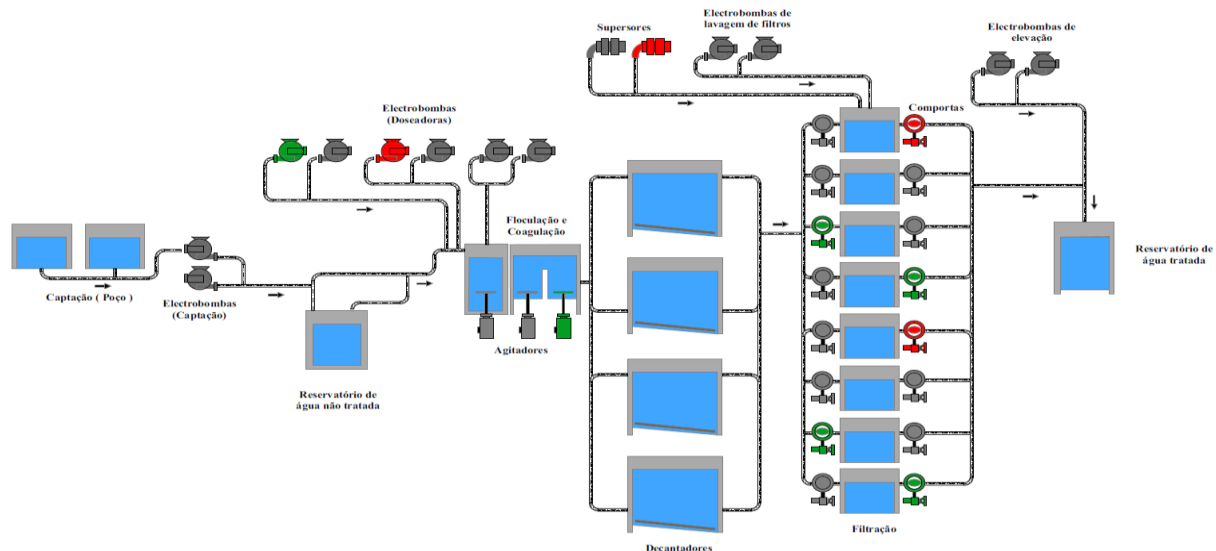


Figura 6. Interface Operacional da ETA - Estado funcional dos equipamentos (fonte: Autor)

Legenda	
●	Operacional
●	Interrompido
●	Desactivado

3.4.1. Perdas de caudal na ETA 3

Fase	Caudal estimado (m ³ /h)	Perda na fase (m ³ /h)	% de Perda	Observações
Captação	4.000	—	0%	Entrada total no sistema
Pré-Cloração	3.950	50	1,25%	Perda por retenção de areia e sólidos
Coagulação / Floculação	3.930	20	0,5%	Lodo inicial, dosagem química ineficiente
Decantação	3.750	180	4,6%	Perda por acúmulo de lodo e falhas hidráulicas
Filtração	3.550	200	5,3%	Filtros entupidos, retrolavagem ineficaz
Desinfecção / Saída	3.500	50	1,25%	Retenção em reservatórios, válvulas

Tabela 1. Perdas de caudal na ETA 3.

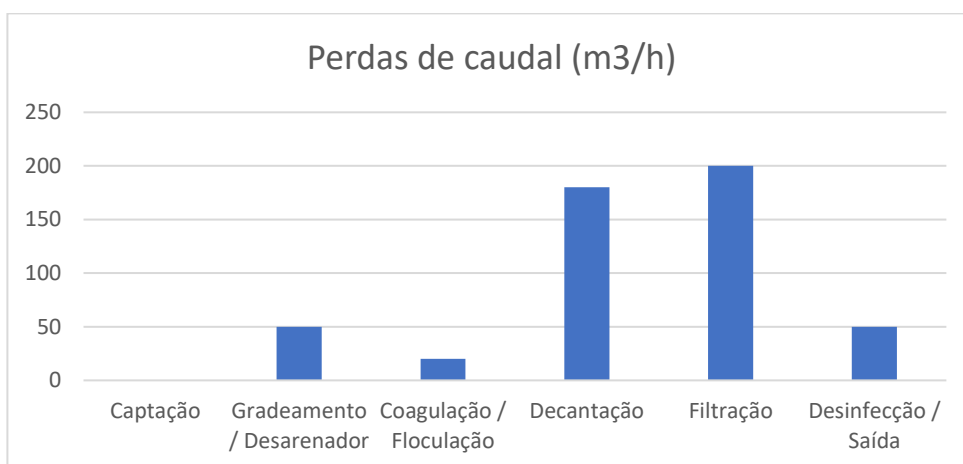


Figura 7. Perdas de caudal na ETA 3.

3.5. Desafios e perspectivas futuras

De acordo com a FIPAG, em 2011, a ETA 3 passou por um processo de reabilitação conduzido pelo FIPAG, com o envolvimento de empresas como Mota-Engil, Efacec e Sogitel. As obras visaram melhorar a qualidade da água tratada, aumentar a eficiência operacional e reduzir perdas no processo de tratamento.

Apesar das melhorias, a ETA 3 enfrenta desafios como a dependência de processos manuais e a necessidade de modernização tecnológica. A implementação de sistemas de automação, como Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), pode otimizar a operação, melhorar a eficiência e garantir a sustentabilidade do abastecimento de água na região.

A modernização da ETA 3 é fundamental para atender à crescente demanda por água potável e assegurar a resiliência do sistema de abastecimento diante de desafios como o crescimento populacional e as mudanças climáticas.

A seguir tem-se a comparação do estado actual com o cenário de operação automatizada ideal, evidenciando as seguintes lacunas:

Aspeto Avaliado	Situação Atual	Cenário Ideal
Sensores	Obsoletos, baixa precisão, com falhas frequentes	Sensores digitais, com protocolos industriais (Modbus, Profibus)
CLPs	Geração antiga, sem suporte à expansão	CLPs modulares, com comunicação Ethernet/IP
Integração de sistemas	Parcial e restrita a alguns sectores	Integração total da ETA, com arquitetura de rede em anel
Resposta a falhas	Manual e demorada	Lógicas automáticas com actuação imediata e notificação remota

Tabela 2: Comparação do actual estado da ETA com o cenário ideal

3.6. Análise SWOT do Sistema

FORÇAS • Infraestrutura física básica em funcionamento (electrobombas, tanques, válvulas). • Equipe técnica com experiência no processo manual. • Localização estratégica da estação	FRAQUEZAS • Ausência de sistema SCADA e automação integrada. • Monitoramento e controle feitos manualmente. • Falta de centralização e histórico de dados operacionais.
OPORTUNIDADES • Possibilidade de implementação de SCADA moderno. • Acesso a tecnologias acessíveis e escaláveis. • Disponibilidade de formação técnica e apoio institucional.	AMEAÇAS • Restrição orçamental para aquisição de equipamentos. • Falhas de energia e instabilidade na rede elétrica. • Resistência à adoção de tecnologias por parte dos operadores.

Tabela 3. Análise SWOT

A análise a seguir oferece uma visão estratégica do ambiente da ETA 3, para optimização da eficiência operacional e justificar a proposta de melhoria do sistema automático. Esta ferramenta permite identificar as forças e fraquezas, bem como as oportunidades e ameaças externas que podem impactar a implementação de soluções tecnológicas.

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA E RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

A metodologia adoptada para este trabalho baseia-se em uma abordagem qualitativa e aplicada, com o objectivo de compreender o funcionamento actual da ETA 3 de Umbeluzi, identificar fragilidades operacionais e propor soluções tecnológicas baseadas em automação. O enfoque metodológico é exploratório e propositivo, articulando a pesquisa teórica com a observação prática no ambiente real da estação.

4.1. Tipo de pesquisa

A pesquisa pode ser classificada como:

- Qualitativa: por buscar compreender, interpretar e propor melhorias com base em observações detalhadas do funcionamento da ETA, sem se restringir apenas a dados numéricos;
- Aplicada: pois visa gerar conhecimento para aplicação prática e imediata no contexto da ETA 3;
- Exploratória e Propositiva: tem como objectivo explorar problemas operacionais e propor soluções inovadoras e realistas.

4.2 Métodos utilizados

Foram utilizados os seguintes métodos:

4.2.1. Observação direta

Durante o estágio, realizou-se a observação sistemática das actividades realizadas na ETA 3, com foco em:

- Etapas do processo de tratamento;
- Tempo de resposta a falhas;
- Modos de operação dos equipamentos;
- Interação dos operadores com os sistemas manuais.

4.2.2. Entrevistas com técnicos e operadores

Foram realizadas entrevistas não estruturadas com operadores, técnicos e engenheiros da estação, a fim de levantar informações empíricas sobre:

- Dificuldades operacionais;
- Limitações do sistema actual;
- Pontos críticos que poderiam ser automatizados;
- Opiniões sobre a viabilidade de modernização da planta.

4.2.3. Análise documental

Incluiu o estudo de:

- Projetos e interface hidráulicos da ETA;
- Manuais técnicos de operação;
- Relatórios de qualidade da água;
- Registos de falhas e manutenções anteriores.

4.2.4. Pesquisa bibliográfica

Foi feita uma extensa revisão de literatura em livros, artigos científicos e publicações técnicas sobre automação em estações de tratamento de água e metodologias de controle e supervisão de processos.

4.3. Etapas da investigação

A investigação foi organizada em seis fases principais:

1. Diagnóstico inicial: levantamento dos problemas operacionais e das tecnologias existentes;
2. Mapeamento dos processos: identificação de pontos de controle, equipamentos críticos e parâmetros monitorados;
3. Análise das lacunas: comparação entre o estado actual e o cenário ideal de operação automatizada;
4. Levantamento de tecnologias adequadas: estudo de sensores, CLPs, sistemas SCADA e arquiteturas de rede viáveis;
5. Proposição de soluções técnicas: elaboração de uma proposta de automação com foco em áreas prioritárias;

6. Discussão de viabilidade: análise dos impactos técnicos, operacionais, econômicos e ambientais das propostas.

CAPÍTULO 5 – APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Proposta técnica de automação

Com base nas deficiências observadas na operação actual da ETA 3 e nos avanços tecnológicos disponíveis, propõe-se a implementação de um sistema automatizado distribuído, composto por sensores inteligentes, (CLPs), um sistema SCADA moderna e a capacitação contínua do corpo técnico. A proposta está detalhada nas seguintes etapas:

5.1.1. Implantação de sensores de campo

A medição em tempo real dos principais parâmetros da qualidade da água é essencial para garantir a eficiência do tratamento. Para isso, propõe-se a instalação de sensores digitais nos seguintes pontos e variáveis:

- **pH, turbidez e cloro residual:**

Devem ser monitorados nos pontos críticos do processo, como após a coagulação, na saída dos decantadores e na linha de distribuição final. Esses sensores permitirão:

- Ajustes automáticos da dosagem de reagentes;
- Resposta imediata a desvios na qualidade da água;
- Redução da dependência de análises laboratoriais manuais.

- **Nível dos tanques e reservatórios:**

A instalação de sensores de nível ultrassônicos ou por pressão permitirá:

- Accionamento automático de electrobombas;
- Controle preciso da entrada e saída de água em cada fase do processo;
- Prevenção de transbordamentos ou esvaziamentos.

- **Vazão nos canais de entrada e saída:**

Sensores magnéticos ou ultrassônicos de vazão devem ser posicionados nas entradas (água bruta) e saídas (água tratada). Isso possibilitará:

- Monitoramento contínuo do volume tratado;
- Correção automática da taxa de dosagem de químicos;
- Geração de relatórios de consumo hídrico em tempo real.

Todos os sensores devem ser integráveis a redes industriais (como Modbus, Profibus ou Ethernet/IP) e possuir calibração automática, sempre que possível, para reduzir erros de medição.

5.1.2. Instalação de CLPs

Os CLPs são equipamentos fundamentais para controlar automaticamente os processos da ETA com alta confiabilidade. Eles devem ser instalados em cada unidade de tratamento (captação, dosagem, decantação, filtração, desinfecção e distribuição) e programados com lógicas específicas para:

- **Regulação automática da dosagem de químicos:**

A partir das leituras dos sensores de pH, turbidez e cloro residual, os CLPs poderão ajustar, em tempo real, o volume de coagulante, cal, cloro, entre outros reagentes, melhorando a precisão e reduzindo desperdícios.

- **Acionamento inteligente de electrobombas e válvulas:**

De acordo com os níveis medidos nos tanques, os CLPs comandarão o funcionamento das electrobombas de forma eficiente, evitando operação em vazio, cavitação ou sobrecarga.

- **Geração de alarmes automáticos**

Qualquer anomalia, como leituras fora dos parâmetros desejados, falhas em electrobombas ou ausência de reagentes, será detetada e comunicada ao sistema de supervisão, promovendo respostas rápidas e seguras.

Os CLPs também permitirão a operação local em modo manual de emergência, garantindo continuidade do serviço mesmo em caso de falha do SCADA.

5.1.3. Sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

A implantação de um sistema SCADA moderno e escalável permitirá o acompanhamento global do processo de tratamento de água, com controle centralizado e visualização em tempo real. Isso inclui:

- **Interface gráfica amigável:**

Com telas organizadas por sector (captação, tratamento, distribuição), permitindo aos operadores identificar facilmente o estado actual de cada processo, com animações, cores e alarmes visuais/sonoros.

- **Geração automática de relatórios:**

O sistema irá compilar dados de qualidade da água, consumo de reagentes, falhas e intervenções realizadas, o que facilitará auditorias e tomadas de decisão baseadas em dados.

- **Histórico de eventos e falhas:**

Cada alteração nos parâmetros, alarme ou intervenção será registrada com data e hora, permitindo rastreamento e análise de causas de falhas. Este histórico serve de alta valia para o diagnóstico em manutenções preventivas.

- **Integração com sensores e CLPs via rede industrial (network):**

A comunicação entre os dispositivos será feita por meio de protocolos industriais seguros e padronizados, permitindo alta confiabilidade e fácil manutenção do sistema.

A instalação de terminais de supervisão (HMI) nas áreas-chave da ETA facilitará a operação mesmo em locais remotos.

5.1.4. Treinamento de pessoal

A implementação de um sistema automatizado eficaz na ETA 3 requer, obrigatoriamente, o desenvolvimento de competências técnicas por parte dos operadores e técnicos de manutenção. A automação, por mais avançada que seja, não substitui o papel humano na interpretação dos dados, na tomada de decisão e na resposta a situações imprevistas. Assim, a capacitação do pessoal deve ser considerada uma etapa estratégica e contínua do processo de modernização, e esta etapa pode seguir os seguintes passos:

a) Capacitação técnica sobre a nova arquitetura do sistema

Inicialmente, os operadores devem receber formação teórica e prática sobre o novo sistema implementado, incluindo:

- Estrutura e funcionamento dos CLPs;
- Funções e características dos sensores instalados (pH, turbidez, nível, vazão, cloro residual);
- Princípios de funcionamento do sistema SCADA e suas interfaces gráficas.

Esse conhecimento é essencial para que os profissionais compreendam como as informações são coletadas, processadas e utilizadas no controle automático da ETA. A compreensão do sistema como um todo promove maior confiança, autonomia e responsabilidade nas ações operacionais.

b) Interpretação de dados e alarmes operacionais

Parte fundamental do treinamento deve incluir a leitura e interpretação de gráficos de tendência, históricos de medições, e alarmes emitidos pelo sistema SCADA. É importante que os operadores saibam, por exemplo:

- Reconhecer variações anormais nos parâmetros de qualidade da água;
- Identificar padrões que indiquem falhas iminentes (ex.: queda progressiva de cloro residual);
- Avaliar a necessidade de intervenção manual e saber priorizar ações em situações de risco.

Essa habilidade contribuirá diretamente para a redução do tempo de resposta a falhas, evitando impactos na qualidade da água distribuída e minimizando o consumo de reagentes ou energia.

c) Intervenções básicas no sistema automatizado

Mesmo com uma automação robusta, podem ocorrer falhas que exigem acção humana. Assim, os operadores devem ser preparados para executar intervenções básicas de correção, como:

- Reinicialização de CLPs ou terminais de operação (HMI);
- Alternância entre modos automático e manual de operação;
- Diagnóstico visual e limpeza de sensores;
- Substituição de componentes simples, como sondas ou cabos de comunicação.

Além disso, é essencial fornecer procedimentos operacionais padrão (POPs) bem documentados e acessíveis, permitindo que essas intervenções sejam feitas com segurança e sem comprometer a operação da estação.

d) Actualização de parâmetros de controle

Os técnicos deverão ser treinados para atualizar os parâmetros de operação (*setpoints*), conforme necessário, como:

- Valores de pH e cloro alvo;
- Níveis mínimos e máximos de tanques;
- Limiares para alarmes e gatilhos de controle.

Essa flexibilidade permitirá que a ETA responda a mudanças sazonais, variações na qualidade da água bruta, ou em casos de manutenção específica, sem depender exclusivamente de suporte externo.

e) Desenvolvimento de cultura de melhoria contínua

Além do treinamento técnico, é importante incentivar uma cultura de melhoria contínua, que motive os operadores a:

- Reportar sugestões de optimização do sistema;
- Participar de ciclos de revisão operacional;
- Manter registros detalhados de ocorrências, falhas e intervenções.

Esse envolvimento directo contribui para a sustentabilidade do sistema automatizado e fortalece o vínculo entre a equipe operacional e o desempenho global da ETA.

f) Estratégia de capacitação contínua

Para garantir a actualização constante do conhecimento técnico, recomenda-se que a ETA 3:

- Estabeleça parcerias com centros de formação técnica e universidades locais;
- Promova workshops internos regulares com participação de fabricantes e fornecedores dos equipamentos;
- Invista na certificação de técnicos em automação e instrumentação industrial;
- Utilize plataformas digitais de ensino (e-learning) para formação flexível e acessível.

A criação de manuais operacionais e vídeos tutoriais internos, bem como a promoção de ciclos de reciclagem anual e incentivo à certificação dos técnicos em automação também é uma proposta recomendada.

A tabela abaixo apresenta uma proposta inicial de formação para os colaboradores:

ORDEM	FORMAÇÃO	DESCRIÇÃO	EXPECTATIVA
1	GE iFIX 6.1	Software usado para desenhar o sistema SCADA da ETA	Identificar Erros que o software apresenta. Interpretar erros apresentados pelo software. Solucionar problemas identificados no programa.
2	TIA Portal	Software usado para programar CLP e HMI da Siemens da ETA 3 de Umbeluzi, referia que a versão predominante é a V17. Com o domínio do software podemos detetar e interpretar os erros que o sistema imprime assim como aprimorar certos processos de produção.	Saber configurar, programar, testar e diagnosticar CLP's e HMI.
3	Configuração dos servidores da Dell EMC R340	O Curso consiste em dotar conhecimento relacionado ao servidores que são responsáveis de armazenar informação de todo sistema SCADA.	Com o domínio dos servidores, com facilidade podes corrigir os erros que eventualmente possam aparecer.

Tabela 4. Proposta de formação inicial para colaboradores.

5.2. Arquitetura SCADA proposta

A ETA 3 terá um sistema de controle baseado em CLP (Controlador Lógico Programável) e SCADA (Controle de Supervisão e Aquisição de Dados). A estação SCADA Mestra do novo módulo de tratamento de água estará localizada na sala de controle da casa de electrobombas do reservatório de água limpa. O novo sistema de controle será integrado ao sistema de controle e monitoramento existente das ETA 1 e 3 para garantir que o operador tenha uma interface de operação comum de modo a monitorar e controlar toda a ETA.

O sistema de controle visa fornecer um sistema de monitoramento abrangente que inclui o status e o desempenho do módulo e dos equipamentos de tratamento de água. O operador será notificado de distúrbios operacionais, falha de equipamento ou será solicitado a fornecer entrada quando for necessária intervenção manual. A automação será limitada à troca automática de serviço, controle simples de parada/partida de electrobombas por nível e algumas funções de proteção de electrobombas. Será possível iniciar e parar electrobombas a partir do SCADA. Cada Centro de Controle de Motores (MCC) terá um controlador lógico programável (CLP) que monitorará e controlará o equipamento e transmitirá sinais para o controle maior, ou seja, para o SCADA ou outros CLPs.

5.2.1. Escopo das Instalações

O escopo das instalações de Controle e Instrumentação (C&I) para a nova ETA 3 incluirá:

- Sistema de controle baseado em CLP para a ETA 3;
- Sistema SCADA para a ETA 3 com link remoto do escritório central do FIPAG;
- Conexão ao Painel da Estação de Bombeamento de Água Tratada;
- Conexão de telemetria à Estação de Bombeamento 3;
- Conexão de telemetria ao Sistema de Tanques Breakwater;
- Sala de Controle com estações de trabalho do operador;
- Historiador, Sistema de Informação Gerencial e Plataformas de Business Intelligence;
- Rede Ethernet industrial;
- Conexão à rede industrial existente da estação de tratamento de água;
- Instrumentação e cabeamento de dados;
- Instrumentação de campo;
- Aterramento e proteção contra surtos.

5.2.2. Arquitetura da rede de controle

A arquitetura conceitual da rede de controle da planta está representada abaixo:

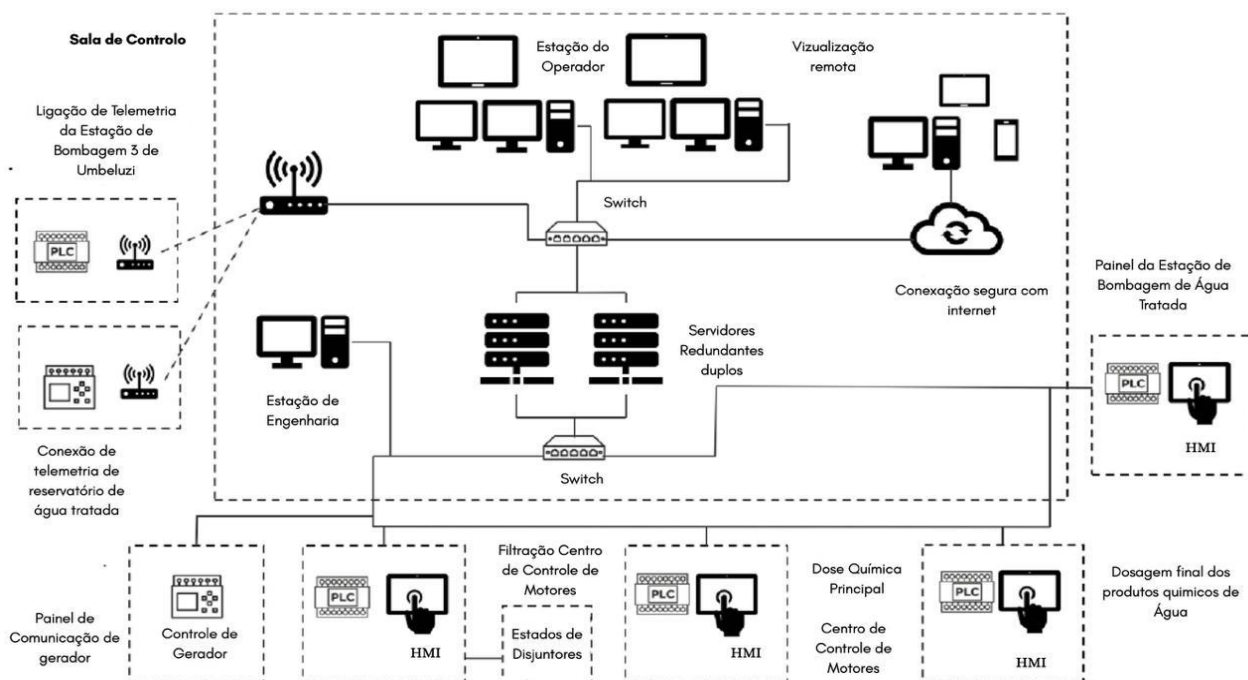


Figura 8. Arquitetura da rede de controle proposta (fonte: autor).

A arquitetura obedece o seguinte:

A rede de controle da planta consistirá em duas camadas de rede de controle e monitoramento: a camada de supervisão e a camada de controle.

A camada de supervisão consistirá em duas estações de trabalho do operador, dois servidores de hardware duplamente redundantes e switches de rede, todos localizados na sala de controle principal. A camada de supervisão também incluirá um nó de visualização remota e será acessível via conexão segura de internet à sala de controle. A visualização remota da ETA 3 será possível via link seguro de internet.

A camada de controle consistirá em uma estação de engenharia e 3 CLPs, um em cada painel MCC de filtração, Dosagem Química Principal e Dosagem Química Final. Os status dos disjuntores do MDB (Painel de Distribuição Principal) também serão incluídos nesta camada. Os CLPs na ETA 3 se comunicarão com os dois servidores de hardware duplamente redundantes através de um link de fibra.

Haverá também uma conexão de rede, via telemetria, para a Estação de Bombeamento 3 de Umbeluzi e o reservatório de água tratada, bem como a Estação de Bombeamento de Água Tratada, que será incluída na rede de controle.

Foi feita uma suposição de que a Estação de Bombeamento 3 de Umbeluzi e o Sistema de reservatório de água tratada possuem uma conexão de telemetria com o SCADA central. Caso isso não ocorra, uma conexão de telemetria será adicionada ao projeto.

Essas conexões serão usadas para que a planta da ETA 3 possa se comunicar e fornecer comandos relevantes à estação de bombeamento com base na filosofia de controle.

5.2.3. Software SCADA, Historiador e Geração de Relatórios

O software SCADA servirá como a interface do usuário para a ETA 3 e como a fonte única de verdade para os dados operacionais. Os pacotes de software SCADA, historiador e geração de relatórios serão especificados para cumprir os seguintes critérios:

- Flexibilidade para personalizar o software;
- Disponibilidade de integradores de sistema certificados para dar suporte ao software;
- Funcionalidade web e mobile;
- Suporte a protocolos abertos (por exemplo, OPC UA, Modbus TCP, MQTT);
- Custos de licenciamento (ou seja, se licenças de renovação são necessárias);
- Escalabilidade.

Todos os pontos de dados monitorados pelo SCADA serão armazenados em um historiador industrial que é otimizado para armazenamento e recuperação (geração de relatórios) de dados de séries temporais. Além disso, o sistema SCADA permitirá a captura de dados manuais, como amostras de laboratório, e o armazenamento desses dados no historiador.

Um pacote de software de relatórios será especificado, o qual permitirá a criação de dashboards dinâmicos e relatórios automatizados programados sobre os indicadores mais importantes do módulo de tratamento.

5.3. Controle e operação

A ETA 3 será controlada a partir de uma sala de controle moderna e permanentemente ocupada, localizada na casa de electrobombas do reservatório claro. Essa sala centralizará todas as informações da nova unidade de tratamento, como:

- Estado em tempo real da planta;
- Tendências de curto e longo prazo;
- Relatórios operacionais;
- Informações de manutenção;
- Gestão laboratorial e manuais eletrônicos.

Será possível operar remotamente alguns equipamentos a partir da sala de controle, mas algumas operações continuarão manuais, como:

- Válvulas de isolamento,
- Desaguamento de decantadores,
- Sequência de retrolavagem de filtros,
- Operação de comportas,
- Espessamento e secagem de lodos,
- Preparação de produtos químicos.

5.4. Benefícios esperados com a proposta

A implementação do sistema automatizado proposto para a ETA 3 de Umbeluzi representa um avanço significativo na garantia de eficiência, segurança e sustentabilidade no tratamento e distribuição de água potável. Segundo Silva e Andrade (2020), sistemas de automação aplicados ao saneamento básico contribuem decisivamente para a redução de perdas, otimização de recursos e melhoria da qualidade dos serviços prestados. Os principais benefícios são descritos a seguir.

5.4.1. Melhoria da eficiência operacional

A automação permite maior estabilidade nos processos e uma drástica redução da dependência de acções manuais. Com o controle automático de electrobombas, válvulas e doseadores, aliado ao monitoramento contínuo, reduz-se o número de paragens operacionais não programadas e aumenta-se a eficiência da estação (Bressan; Teixeira, 2019). Também se espera um funcionamento mais estável e contínuo da estação, com

menor dependência de intervenção manual e menor risco de erro humano. O controle automático das electrobombas, válvulas e doseadores de reagentes, aliado ao monitoramento em tempo real das variáveis críticas (como nível, pH, turbidez, vazão e cloro residual), permitirá:

- Redução das interrupções operacionais não planeadas;
- Diminuição das perdas de água e reagentes por falhas operacionais;
- Optimização dos tempos de resposta e das rotinas de operação;
- Aumento da disponibilidade operacional da ETA.

Essa melhoria tornará os processos mais previsíveis e controlados, contribuindo para um padrão elevado e contínuo de produção de água tratada.

5.4.2. Maior confiabilidade da qualidade da água distribuída

Conforme estabelece a Organização Mundial da Saúde (2022) e o Ministério da Saúde, a vigilância contínua de parâmetros como pH, turbidez e cloro residual é essencial para garantir água potável segura. A instalação de sensores de qualidade da água em pontos estratégicos do processo permitirá um monitoramento em tempo real, o que é essencial para garantir a entrega de água segura à população. Isso se traduz em:

- Detecção imediata de desvios na qualidade da água;
- Ajuste automático dos parâmetros operacionais para correção rápida;
- Redução da dependência de análises pontuais de laboratório, muitas vezes desactualizadas no momento da resposta;
- Maior conformidade com os padrões estabelecidos pela OMS e pelas autoridades nacionais de saúde pública.

Consequentemente, a ETA 3 passará a operar com mais segurança e previsibilidade, protegendo a saúde dos consumidores e evitando sanções regulatórias.

5.4.3. Redução do consumo de reagentes químicos e energia elétrica

A automação proporciona controle preciso sobre os recursos utilizados no tratamento da água. O sistema será capaz de dosar somente a quantidade necessária de reagentes, de acordo com a leitura actual dos sensores, evitando desperdícios e ineficiências. De

acordo com Souza et al. (2018), o uso de sistemas automatizados pode gerar economias superiores a 20% no consumo de produtos químicos em estações de tratamento, sem contar que o accionamento inteligente de electrobombas e equipamentos reduz significativamente o gasto energético. Os principais ganhos esperados incluem:

- Economia significativa de coagulantes, alcalinizantes, desinfetantes e correctivos;
- Redução no accionamento desnecessário de electrobombas, resultando em menor consumo de energia elétrica;
- Optimização da produção com menores custos operacionais por metro cúbico de água tratada.

Essa medida também contribui para a sustentabilidade ambiental, minimizando a geração de subprodutos e o impacto no meio ambiente.

5.4.4. Capacidade de resposta mais rápida a eventos críticos

Eventos críticos como variações súbitas na qualidade da água bruta, falhas de electrobombas ou picos de demanda exigem respostas rápidas e eficazes. Sistemas de alarme e actuação automática tornam a ETA mais ágil na resposta a eventos inesperados, como variações bruscas na qualidade da água bruta ou falhas de equipamentos. Para Amaral (2021), a automação aumenta a resiliência operacional e permite acções corretivas antes que se comprometa a saúde pública. Com o novo sistema:

- Alarmes automáticos serão disparados em tempo real, permitindo acções imediatas;
- O operador poderá identificar a origem do problema com precisão na interface do SCADA;
- As acções de correcção poderão ser parcialmente automatizadas (ex: corte de bomba, ativação de doseadores de emergência);
- A comunicação entre sectores será mais eficiente, promovendo uma resposta integrada e coordenada.

Desta forma, o tempo de exposição da população a riscos sanitários será reduzido e haverá aumento na resiliência da estação diante de imprevistos operacionais ou ambientais.

5.4.5. Geração de dados históricos confiáveis

O armazenamento sistemático de dados permite a análise de longo prazo, o planejamento de manutenções preditivas e a tomada de decisão baseada em evidências. Conforme Mota e Santos (2020), os dados históricos de um sistema automatizado são recursos estratégicos tanto para a gestão técnica quanto para a gestão administrativa das ETAs. O sistema SCADA será responsável por registrar automaticamente todas as leituras dos sensores, ações dos CLPs, alarmes gerados e intervenções realizadas. Essa base de dados rica e confiável permitirá:

- Análises estatísticas para ajuste fino dos parâmetros de operação;
- Identificação de tendências e previsão de falhas por meio de manutenção preditiva;
- Tomada de decisões baseada em evidências concretas, em vez de estimativas ou suposições;
- Elaboração de relatórios técnicos para auditorias internas e externas.

Os dados históricos também poderão ser utilizados para treinamento de novos operadores, validação de melhorias futuras e elaboração de planos estratégicos para expansão ou requalificação da ETA.

5.5. Análise de custos de implementação do sistema de automação

A seguir apresenta-se uma estimativa de custos para a modernização da ETA 3, contemplando sensores, CLPs, sistema SCADA, infraestrutura de comunicação e capacitação técnica. Os valores são aproximados e podem variar conforme fornecedores, localização e especificações técnicas.

5.5.1. Equipamentos e instalação

Item	Qtd.	Custo Unitário (USD)	Custo Total (USD)	Benefício Esperado	Retorno Esperado
Sensores de pH (digitais, com autolimpeza)	4	1.200	4.800	Monitoramento contínuo e preciso do pH; reduz necessidade de calibração frequente	Redução de 10–15% em perdas de água
Sensores de turbidez	4	1.500	6.000	Controle eficaz da qualidade da água nos	Melhora da qualidade da

				processos de clarificação e filtração	água e economia de insumos
Sensores de cloro residual	3	1.800	5.400	Garantia de desinfecção adequada; evita subdosagem ou superdosagem	Redução de uso excessivo de cloro
Sensores de nível (ultrassônicos ou por pressão)	6	700	4.200	Controle automático dos tanques e reservatórios	Evita transbordamentos e falta d'água
Medidores de vazão (ultrassônicos)	3	2.000	6.000	Monitoramento preciso de fluxo, contribuindo para balanços hídricos e detecção de perdas	Apoia o controle de perdas técnicas
CLPs industriais (com módulos de expansão)	5	3.500	17.500	Controle centralizado, confiável e expansível dos sistemas automatizados	Resposta rápida a falhas operacionais
Instalação elétrica e cabeamento industrial	—	—	8.000	Infraestrutura segura e compatível com redes industriais	Sustentação segura e expansível da automação
Subtotal – Sensores + CLPs + Instalação	—	—	51.900		Retorno do investimento em 3 a 4 anos

Tabela 5: Custos dos equipamentos e Instalação.

5.5.2. Sistema SCADA e infraestrutura de comunicação

Item	Qtd.	Custo Unitário (USD)	Custo Total (USD)
Licença SCADA (licença básica + módulos)	1	12.000	12.000
Computador servidor (estação de controle)	1	2.000	2.000
Terminal HMI (interface local para CLPs)	4	1.000	4.000
Switches industriais e rede Ethernet/Profibus	—	—	3.500
Configuração e integração de software	—	—	5.000
Subtotal – SCADA e Comunicação			26.500

Tabela 6. Custos de implementação do sistema SCADA e infraestrutura de comunicação.

5.5.3. Treinamento e capacitação de pessoal

Item	Qtd.	Custo Unitário (USD)	Custo Total (USD)
Treinamento técnico presencial (empresa externa)	2 cursos	2,500.00	5,000.00
Material didático e manuais operacionais	—	—	1,000.00
Produção de vídeos internos e tutoriais	—	—	800.00
Certificação profissional básica (3 operadores)	3	600.00	1,800.00
Subtotal – Capacitação			8,600.00

Tabela 7. Custos de treinamento e capacitação do pessoal.

5.5.4. Custos indirectos e reserva técnica

Item	Percentual	Valor Estimado (USD)
Transporte, impostos e alfândega	10%	8,700.00
Reserva técnica e imprevistos	5%	4,350.00
Subtotal – Custos Indiretos		13,050.00

Tabela 8. Custos indirectos e reserva técnica.

5.5.5. Custo total estimado de implementação

Categoria	Valor (USD)
Equipamentos e instalação	51,900.00
SCADA e comunicação	26,500.00
Treinamento e capacitação	8,600.00
Custos indirectos e reserva técnica	13,050.00
TOTAL GERAL ESTIMADO	100,050.00

Tabela 9. Custo total estimado.

5.6. Descrição dos equipamentos

SIEMENS CLP SIMATIC S7-300, CPU 315-2-PN/DP

A SIEMENS CLP SIMATIC S7-300, CPU 315-2 PN/DP é uma Unidade Central de Processamento (CPU) da família S7-300, bastante utilizada em sistemas de automação

industrial, como o controle de processos em Estações de Tratamento de Água (ETAs), linhas de produção, e sistemas de transporte automatizados.



Figura 9: CLP (fonte: <https://mall.industry.siemens.com>)

Fonte de alimentação

A 6EP1333-2BA20 da Siemens é uma fonte de alimentação estabilizada SITOP PSU100S. Trata-se de uma unidade inteligente SITOP monofásica de alto desempenho com entrada CA e saída de 24 V/5 A. Esta fonte de alimentação pode gerenciar continuamente 120% da potência nominal com alto grau de eficiência, garantindo baixo consumo de energia e mínima perda de calor no gabinete de controle.



Figura 10: fonte de alimentação (fonte: <https://mall.industry.siemens.com>)

Disjuntores

Os disjuntores são dispositivos que tem a função de proteger as instalações eléctricas, desligando a energia automaticamente em caso de curtos-circuitos e sobrecargas.



Figura 11: disjuntores (fonte: <https://www.margirius.com.br/>)

Phoenix FL SWITCH 1105N - Industrial Ethernet Switch

O FL SWITCH 1105N é um switch Ethernet industrial compacto e confiável, com gigabit, QoS e eficiência energética, ideal para redes industriais simples, mas robustas. Se precisar de enlaces ópticos, a versão com SFP é altamente recomendável.



Figura 12: Ethernet industrial (fonte: <https://www.phoenixcontact.com/>)

Thermistor STEGO KTO 011, KTS 011 NO

São termostatos mecânicos compactos com montagem em trilho DIN, utilizados para o controle de temperatura em painéis eléctricos e armários de distribuição. Eles actuam directamente no accionamento ou desligamento de dispositivos como ventiladores, aquecedores ou alarmes, ajudando a manter condições ideais dentro dos painéis.



Figura 13: Termostatos (fonte: <https://www.tme.eu/>)

Fiber Transceiver 10/100 Base-TX Base-FX converter

É um conversor de mídia de fibra ótica de 100 m (100 m) projetado para converter cobre 10/100BASE-TX em fibra 100BASE-FX, proporcionando conectividade de rede e extensão de fibra confiáveis e econômicas.



Figura 14: Conversor de mídia (fonte: <https://www.e1-converter.com/>)

Phoenix Isolador de sinal Analógico

Os isoladores de sinal analógico da Phoenix Contact são dispositivos utilizados para garantir o isolamento galvânico entre sinais de entrada e saída em sistemas de automação industrial. Esses equipamentos são essenciais para proteger controladores e instrumentos sensíveis contra interferências, surtos e diferenças de potencial.



Figura 15: Isoladores de sinal analógico (fonte: <https://www.phoenixcontact.com/pt>)

Termistor de proteção de motor CM-MSS

Os relés de protecção de motores a termistor da linha CM-MSx.xx monitoram a temperatura dos enrolamentos dos motores que tenham sensores de temperatura PTC instalados. Estes sensores são incorporados aos enrolamentos dos motores e, por isso, medem directamente o aquecimento do motor.



Figura 16: Relés de protecção de motores (fonte: <https://new.abb.com>)

5.7. Custo de equipamentos para implementação preliminar

EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS			Preço (MT)
	Descrição dos equipamentos	Qtd	Total
1	SIEMENS PLC SIMATIC S7-300, CPU 315-2-PN/DP	2	487,959.00
2	SIEMENS POWER SUPPLY Input 220V AV e Output DC 24V/5A	3	87,766.00
3	Disjuntor Unipolar ABB, Curva C, 2A, 6kA	25	48,140.00
4	Disjuntor Unipolar ABB, Curva C, 10A, 3kA	10	23,200.00
5	Disjuntor Unipolar ABB, Curva C, 6A, 3kA	10	20,103.00
6	Disjuntor Bipolar ABB, Curva C, 16A, 3kA	2	8,173.00
7	Disjuntor diferencial bipolar 25A-300mA 230V AC, Encaixe DIN	2	30,237.00
8	Phoenix FL SWITCH 1105N - Industrial Ethernet Switch	1	27,528.00
9	Thermistor STEGO KTO 011, KTS 011 NO	4	9,512.00
10	Fiber Transceiver 10/100 Base-TX Base-FX converter	1	3,175.00
11	Phoenix Isolador de sinal Analógico	10	294,280.00
12	Termistor de protecção de motor CM-MSS	4	71,966.00
Total - Materiais / Acessórios=			1,112,039.00

Tabela 10: Custos dos equipamentos necessários

Ferramenta Necessária				Preço (Mt)	
	Equipamentos	Qtd		Unitário	Total
1	Alicate de crimpagem (universal-RJ45)	2		15,178.00	30,356.00
2	Adapter RS485 PROFIBUS/MPI/PPI e os seus respectivos cabos 6ES7972-0CB20-0XA0	2		63,225.00	126,450.00
3	KIT TESTADOR E LOCALIZADOR DE CABOS MUTX1500	1		7,832.00	7,832,00
4	Multímetro Fluke 789	1		219,797.00	219,797.00
5	Multímetro voltage calibration Fluke 715	1		238,538.00	238,538,00
6	Kit de chaves com protecção (fenda e cruzada)	3		11,042.00	33,127.00
	Testador de Fibra óptica	2		3,300.00	6,600.00
	Cabos			Por metro - 150	20,000.00
				Por metro - 150	
Total= 682,700.00 Mt					

Tabela 11: Custo das ferramentas necessárias

5.8. Análise crítica

É inegável que a automação exige um investimento inicial elevado, tanto na aquisição de equipamentos quanto na capacitação do pessoal e na adaptação da infraestrutura existente. Contudo, conforme apontam Souza et al. (2018), os benefícios operacionais, econômicos e ambientais compensam amplamente os custos ao longo do tempo, especialmente pela redução de perdas, economia de recursos e maior estabilidade no fornecimento de água potável.

Apesar disso, a proposta apresenta desafios críticos que merecem atenção especial tais como:

- **Capacitação dos técnicos:**

É essencial que haja profissionais capacitados, tanto para a operação quanto para a manutenção preventiva e correctiva do sistema automatizado. A ausência de suporte técnico local pode comprometer a continuidade e a confiabilidade do sistema. Assim, deve-se promover uma política permanente de formação e valorização da equipa operacional.

- **Atualização e suporte dos softwares de controle:**

Os sistemas SCADA e os controladores lógicos programáveis (CLPs) requerem actualizações periódicas para garantir segurança, compatibilidade e eficiência. Isso exige uma gestão ativa dos contratos de *software* e acompanhamento tecnológico, evitando obsolescência.

Adequação da infraestrutura eléctrica, hidráulica e de comunicação:

A automação exige condições mínimas de qualidade da rede eléctrica (estabilizada, com aterramento adequado), além de comunicação segura entre os dispositivos. A presença de ruídos, falhas de energia ou estruturas obsoletas pode interferir gravemente na funcionalidade do sistema.

Além dos aspectos técnicos, a gestão da mudança organizacional deve ser cuidadosamente conduzida. A transição da operação manual para automatizada não deve ser abrupta; ao contrário, recomenda-se que seja feita de forma gradual e por etapas, com testes locais, ajustes progressivos e monitoramento contínuo dos resultados.

Essa transição deve envolver directamente os operadores da ETA, promovendo seu engajamento, capacitação prática e participação activa no processo de modernização. Isso fortalece o senso de responsabilidade, facilitando a adopção plena e eficaz da nova tecnologia.

Em síntese, embora desafiadora, a automação da ETA 3 é uma medida necessária e viável, desde que acompanhada por uma gestão técnica responsável, investimentos em capacitação humana e uma visão estratégica de longo prazo.

5.9. Observações

Os custos apresentados são estimativas médias e podem variar conforme o câmbio actual do dólar, os fornecedores e o escopo técnico escolhido. Esse custo de automação pode ser recuperado em 2 a 4 anos, tendo em conta a economia de produtos químicos, a energia eléctrica e redução de perdas operacionais. A sua implementação será em fases onde deve-se priorizar os sectores críticos.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente relatório teve como um dos objectivos, propor soluções de automação para a Estação de Tratamento de Água 3 de Umbeluzi, com foco na optimização da eficiência operacional e redução de custos, considerando as limitações e condições actuais da infraestrutura.

De forma a se cumprir com os objectivos, foi alcançada a análise dos processos operacionais actuais da ETA por meio de observações directas e entrevistas com operadores. Essa análise revelou uma série de ineficiências, como a forte dependência de intervenções manuais, ausência de sensores em tempo real, dosagem química imprecisa e falhas na comunicação entre sectores. Tais fragilidades operacionais comprometem a estabilidade do sistema e aumentam o risco de falhas que podem afectar a qualidade da água distribuída.

A avaliação das tecnologias de automação aplicáveis ao tratamento de água permitiu identificar alternativas viáveis de modernização, compatíveis com a realidade da ETA. A análise técnica mostrou que sensores digitais, controladores lógicos programáveis (CLPs) e plataformas SCADA são tecnologias consolidadas e adaptáveis, capazes de elevar o nível de controle e segurança dos processos de tratamento de água.

6.1. Recomendações

Diante dos resultados obtidos e das considerações finais, recomenda-se:

- Implementar a automação de forma faseada, iniciando pelos sectores mais críticos (como dosagem de químicos e controle de qualidade da água), para testar e ajustar o sistema antes da sua expansão total;
- Estabelecer um programa de capacitação contínua para operadores e técnicos de manutenção, com treinamentos práticos, certificações e manuais operacionais actualizados;
- Adequar a infraestrutura eléctrica e de comunicação da ETA, garantindo condições técnicas para a operação estável dos equipamentos automatizados;
- Firmar parcerias com fornecedores confiáveis, para suporte técnico, actualizações de software e acesso a peças de reposição;

- Elaborar e executar um plano de gestão da mudança, promovendo o envolvimento direto dos operadores durante todas as fases da implementação e reduzindo a resistência às novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

1. Amaral, L. R. **Automação em Estações de Tratamento de Água: Eficiência e Resiliência Operacional**. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária, v. 37, n. 4, p. 28–35, 2021.
2. Bressan, G.; Teixeira, R. **Controle e Automação em Processos Ambientais**. São Paulo: Atlas, 2019.
3. Direcção Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento. (2021). **Plano Estratégico Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento Rural 2021–2030**. Maputo: MINEC.
4. FAO – Food and Agriculture Organization. (2020). **AQUASTAT: Mozambique – Country Profile**. Roma: FAO.
5. Fernandes, C. (2018). **Automação aplicada ao tratamento de água: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Érica.
6. FIPAG – Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água. (2022). **Relatório Anual de Actividades**. Maputo: FIPAG.
7. INE – Instituto Nacional de Estatística. (2022). **Anuário Estatístico de Moçambique**. Maputo: INE.
8. Lopes, M., Ferreira, D., & Pires, A. (2019). **Eficiência operacional em estações de tratamento de água por meio da automação**. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24(3), 345–352.
9. Marques, R. & Cruz, V. (2016). **Redes industriais e comunicação em sistemas automatizados**. Porto: Publindústria.
10. Martins, R. & Silva, F. (2019). **Introdução à Automação Industrial**. Lisboa: FCA.
11. Mota, D. F.; Santos, E. P. **Gestão de Dados em ETAs Automatizadas: Práticas e Benefícios**. Revista de Engenharia Ambiental, v. 26, n. 1, p. 55–63, 2020.
12. Oliveira, T., Nascimento, L., & Rocha, F. (2020). **Automação em sistemas de abastecimento de água: uma revisão de literatura**. Revista Ambiente & Água.
13. OMS – Organização Mundial da Saúde. (2017). **Guidelines for Drinking-Water Quality**, 4^a ed. Genebra: WHO Press.

14. Organização Mundial da Saúde (OMS). ***Diretrizes de Qualidade da Água Potável***. 4. ed. Genebra: OMS, 2022.
15. SABESP – ***Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo***. (2018). Relatório Técnico de Automação e Controle. São Paulo: SABESP.
16. Santos, D. & Melo, P. (2020). ***Tecnologias de controle e instrumentação para ETAs***. Curitiba: InterSaberes.
17. Silva, J. C.; Andrade, M. A. ***Automação e Controle em Sistemas de Saneamento***. Belo Horizonte: Editora Saneamento Moderno, 2020.
18. Silva, L. & Almeida, G. (2021). ***Integração de sistemas SCADA em estações de tratamento de água***. Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada, 10(2), 101–110.
19. Souza, A. R. et al. ***Eficiência no Uso de Reagentes em ETAs com Automação***. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2018.
20. Tundó, V. A. (2018). ***Gestão de Recursos Hídricos em Moçambique: Desafios e Perspectivas***. Revista de Estudos Ambientais e Sociais, 5(2), 45–63.
21. UNESCO. (2020). ***Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água e Mudanças Climáticas***. Paris: UNESCO.

ANEXOS