

Automação das estações de tratamento de água: um estudo técnico-econômico

As previsões alarmantes do crescimento populacional fazem com que se desenvolvam novas tecnologias e/ou métodos para suprir a crescente demanda por água em áreas urbanas. Desta maneira, diferentes formas e níveis tecnológicos estão disponíveis para realizar o processo de tratamento de água visando o abastecimento público, com a finalidade de melhorar a eficiência, porém com um menor custo de operação e manutenção. Para isso, uma opção seria a otimização dos processos de tratamento de água por meio da instrumentação, controle e a automação das estações de tratamento de água (ETAs). Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de tratamento e a viabilidade técnica e econômica de automação de uma estação de tratamento de água, comparada com estações de tratamento convencionais. Para isso, foram selecionadas quatro estações com características similares (vazão, característica da água bruta e projeto da estação) e avaliadas quanto aos custos de implantação, operação, valor presente líquido e payback em diferentes cenários (Companhia Estatal e Privada). Como resultado, a ETA 2 (com sistema de automação), apresentou resultado similar a ETA 1 (sem sistema de automação) e foi consideravelmente superior a outras ETAs (sem sistema de automação) de vazões similares. O uso de sistema de automação da estação de tratamento é capaz de gerar uma economia 80,00%. Os dois cenários demonstraram um valor presente líquido positivo. Os indicadores de payback demonstram que o valor do investimento com a aquisição e instalação do equipamento pode ser recuperado em aproximadamente 4 anos na estatal e 7 anos na companhia privada. No geral, este estudo fornece insights que contribuem intrinsecamente para a aplicação de sistemas de automação em sistemas de tratamento de água, demonstrando eficiência e viabilidade técnico-econômica.

Palavras-chave: Água bruta; Eficiência de tratamento; Viabilidade econômica; Indicadores financeiros.

Automation of water treatment plants: a study technical-economic

The alarming predictions of population growth lead to the development of new technologies and/or methods to supply the growing demand for water in urban areas. In this way, different forms and technological levels are available to carry out the water treatment process aimed at public supply, with the purpose of better efficiency and lower operating and maintenance costs. For this, one option would be to optimize the water treatment process through instrumentation, control and automation of water treatment plants (WTPs). In this context, the aim of this study was to evaluate the treatment efficiency and the technical and economic feasibility of automating a water treatment plant, compared to conventional treatment plants. For this, four plants with similar characteristics were selected (flow rate, raw water characteristics and/or design) and evaluated in terms of implementation costs, operation, net present value, internal rate of return and payback in different scenarios (State company and private). The results showed that WTP-2, with an automation system, presented a similar result to WTP-1 (without automation system) and was considerably better than other WTPs with similar flows rates. The use of a treatment plant automation system is capable of saving 80.00%. Both scenarios demonstrated a positive net present value. The payback indicators showed that the value of the investment with the acquisition and installation of the equipment can be recovered in up to 4 years at the state-owned companies and 7 years at the private companies. Overall, this study provides insights that intrinsically contributes to the application of automation systems in water treatment systems, demonstrating efficiency and technical-economic feasibility.

Keywords: Raw water; Treatment efficiency; Economic feasibility; Financial indicators.

Topic: Engenharia Sanitária

Received: 20/06/2022

Approved: 04/10/2022

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

William Michelin 
Universidade do Contestado, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1915524637784633>
<http://orcid.org/0000-0003-0713-0150>
eng.williammichelon@gmail.com

Helton Araujo Couto Carneiro 
Universidade do Contestado, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7023400895052458>
<http://orcid.org/0000-0002-6755-0256>
helton.acc@gmail.com

Daniel Celestino Fornari Bocchese 
Universidade do Contestado, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6506864014446589>
<http://orcid.org/0000-0003-1797-6360>
danielcfb@gmail.com

Fernando Maciel Ramos 
Universidade do Contestado, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1945276106615962>
<http://orcid.org/0000-0002-4222-1253>
f.ramos@unc.br

Aline Viancelli 
Universidade do Contestado, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/117756678285550>
<http://orcid.org/0000-0003-1654-6510>
alineviancelli@unc.br

Marcos Paulo Hirth 
Universidade do Contestado, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2478572144421498>
<http://orcid.org/0000-0003-4284-0617>
hirt@unc.br



DOI: 10.6008/CBPC2237-9290.2022.002.0004

Referencing this:

MICHELON, W.; CARNEIRO, H. A. C.; BOCCHESE, D. C. F.; RAMOS, F. M.; VIANCELLI, A.; HIRTH, M. P.. Automação das estações de tratamento de água: um estudo técnico-econômico. **Natural Resources**, v.12, n.2, p.39-46, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2022.002.0004>

INTRODUÇÃO

O aumento populacional, a urbanização e as mudanças climáticas estão afetando significativamente as condições do planeta, em especial os regimes de chuvas, com aumento dos períodos de estiagem em certas regiões, trazendo dificuldades para a indústria (companhias) de água (KOOP et al., 2017; LIN et al., 2021). Tais mudanças tendem a ficar mais graves, alterando assim a quantidade e qualidade da água nas próximas décadas (VAN VLIET, 2017). Ainda, estima-se que o consumo global de água aumentará em 55% até 2050 e que neste mesmo período, o crescimento da demanda por água na indústria, na produção de energia e no consumo doméstico será de 400%, 140% e 130%, respectivamente (OECD, 2012), e ocorrerá em economias em ascensão e países em desenvolvimento. Neste sentido, a escassez de água que atualmente afeta mais de 40% da população mundial, aumentará para cerca de 65% até 2050 (FAO, 2018). Destaca-se que cerca de 80% do aumento populacional ocorrerá em áreas urbanas, representando um desafio enorme para a gestão das águas nestes locais (FLÖRKE et al., 2018).

Desta maneira, há uma necessidade urgente de ações que modifiquem este cenário, em especial as relacionadas com sistemas que evitem o desperdício e façam uso da água com maior eficiência (MISHRA et al., 2021). A maior parte da infraestrutura para coleta, tratamento e distribuição hídrica atualmente utilizada, foi projetada e dimensionada com base em circunstâncias climáticas e ambientais passadas. A maneira como essa infraestrutura deve ser operada diante das mudanças climáticas em andamento, se torna um assunto-chave com respostas complexas (DONG et al., 2020). Além disso, em novas estruturas devem ser considerados estes aspectos operacionais, de modo a evitar riscos para a gestão da água urbana (DONG et al., 2020).

Um sistema urbano de fornecimento de água é formado por vários sistemas, tais como, captação, tratamento e distribuição de água, consumo de água (doméstico e industrial), sistemas de coleta e tratamento de águas residuais e sistemas de coleta e tratamento de águas pluviais. Em instalações de tratamento de águas residuais, a instrumentação, controle e automação já são amplamente utilizados, principalmente em países desenvolvidos (YUAN et al., 2019). No início da década de 1970, as companhias de saneamento interessaram-se por sistemas de automação, uma vez que os operadores reconheceram que, embora as estações de tratamento fossem construídas para cargas médias, a carga real variava drasticamente ao longo do tempo, podendo afetar o funcionamento e eficiência dos processos de tratamento (OLSSON, 2012). Como resultado, durante essas variações, o principal trabalho do sistema de automação é manter os sistemas de tratamento funcionando de forma eficiente, oferecendo o desempenho necessário a um custo razoável (OLSSON et al., 2005).

Devido aos avanços tecnológicos, atualmente é possível o rápido desenvolvimento de sensores, instrumentos e tecnologias de comunicação, para coletar dados em tempo real de uma grande variedade de locais ao longo de todo o sistema de abastecimento e tratamento de água. Ao mesmo tempo, computadores com grande capacidade para armazenamento e análises de dados ajudam na otimização do sistema, alcançando o ideal global (OLSSON, 2012). A aplicação principal da automação está focada no controle do

processo de tratamento de água e de esgoto, levando a um melhor desempenho e eficiência, redução dos custos operacionais e aumento da capacidade de produção (YUAN et al., 2019), e desta forma tornou-se um facilitador chave da gestão integrada da água urbana.

Para tornar o processo de tratamento de água mais aprimorado, a automação de estação de tratamento de água (ETA) é uma opção para manter o sistema funcionando de forma eficiente e alcançar o desempenho desejado (OLSSON et al., 2005; WANG et al., 2022) mesmo havendo oscilações de características da água. No entanto, em países em desenvolvimento, como o Brasil, esta tecnologia de instrumentação, controle e automação ainda está começando. Para isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade técnico-econômico de automação de uma estação de tratamento de água, comparada as estações de tratamento convencionais (sem automação). Assim, foram analisados custos de implantação (CAPEX) e operação (OPEX), e geração de indicadores financeiros incluindo Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna Retorno (TIR) e *Payback*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Características das estações de tratamento de água

Para avaliar a viabilidade técnica e econômica da automação de ETAs, foram selecionadas quatro estações de tratamento de água localizadas na região de Santa Catarina. Na Tabela 1 apresentam-se as características das estações selecionadas para a realização do estudo.

Tabela 1: Características técnicas das estações de tratamento de água.

ETA	Descrição das ETAs	Vazão de projeto (L s ⁻¹)
1	Água bruta com características similares a ETA 2	150
2	ETA automatizada	30
3	Projeto idêntico ao da ETA 2, apenas operando sem automação e tratando água de manancial diferente	30
4	ETA com projeto diferente, mas com vazão similar e tratando água de manancial diferente	30

Qualidade de água

Para avaliar o desempenho operacional das estações de tratamento de água foram obtidos os dados das análises da qualidade de água referentes ao período de março de 2020 a setembro de 2021, disponíveis na companhia de tratamento de água. Os dados analisados correspondem aos parâmetros pH, cor, turbidez, cloro e flúor.

Análise de viabilidade econômica

Para apurar os fluxos de caixas anuais de cada tipo de estação, foram mensurados os valores para a aquisição e instalação de equipamentos (Capital Expenditure - CAPEX) a partir da realização de cotação em junho de 2021 a valor de mercado a partir de orçamento fornecido pela empresa Tecno Control - Tecnologia e Sistemas Ltda., que vende e instala os equipamentos, incluindo turbidímetro digital, microprocessador para análise de cor, medidor de pH, controlador de coagulante, analisador de cloro e flúor, painéis de comando elétrico e de telemetria.

Os gastos operacionais (OPEX) de cada estação podem variar em função do grau de automação de uma ETA, o seu período diário de operação, consumo de produtos químicos, energia elétrica, e o custo de mão de obra. Assim, para determinação dos gastos de manutenção e operação foram duas etapas, sendo a primeira a observação do histórico dos gastos das estações em funcionamento e segundo a correção monetária dos valores operacionais a partir do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) e o Índice Geral de Preços - Mercado (IGP-M) do ano de instalação da estação automatizada (2017).

A despesa de energia elétrica foi mensurada a partir da corrente do quadro de comando da automação da ETA 2 e calculada a potência consumida. A despesa com água foi obtida a partir do gasto energético da estação, considerando uma razão entre o valor total da fatura de energia pelo volume recalado. Os reagentes utilizados para o processo de tratamento são produzidos pelo laboratório da própria companhia, assim, para determinação desse gasto operacional foi realizado o levantamento histórico de consumo. Os valores estimados de custos operacionais são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Custos operacionais da ETA 2.

Descrição	Valor
Reagentes da automação	R\$ 59,50
Consumo de energia	R\$ 1.710,16
Água de processo	R\$ 2.544,98
Manutenção	R\$ 1.500,00
Total mensal	R\$ 5.814,64

Para quantificação dos gastos com mão de obra levou-se em consideração a necessidade de colaborador, sendo que uma estação automatizada demanda 1 operador, e uma estação convencional demanda 5 operadores. Foram então construídos dois cenários, sendo um considerando o valor salarial de um colaborador da empresa em estudo, e outro considerando o salário de um operador do setor privado. Os valores correspondentes dos salários-base foram obtidos, respectivamente do Plano de Cargos e Salários da companhia e da Convenção Coletiva do Sindicato dos Trabalhadores em Água, Esgoto e Meio Ambiente de Santa Catarina (SINTAEMA) para a função de Operador de ETA/ETE.

Adotou-se um horizonte de 15 anos na análise, em decorrência da vida útil estimada dos componentes eletrônicos. Após a construção do fluxo de caixa do projeto, foram estimados os indicadores de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback*, considerando uma Taxa Mínima de Atratividade de 7,8%, sendo essa a praticada pela companhia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O percentual de amostras de água, em cada uma das ETAs analisadas, que apresentaram resultados de qualidade fora do padrão estabelecido pelo Ministério da Saúde, para os parâmetros de qualidade descritos na Tabela 3.

A ETA 2, a única automatizada neste comparativo, não teve seu desempenho comprometido, pois manteve o índice de qualidade da ETA similar ao observado para a ETA 1 e foi consideravelmente superior às outras ETAs de vazões similares. De acordo com o percentual estimado de amostra fora do padrão é possível observar que a automação de uma ETA não é um fator que compromete a qualidade da água tratada. Cabe

destacar que o flúor possui uma estreita faixa de dosagem e que este ajuste fino é difícil de ser realizado, tanto em sistema de automação, como em sistemas manuais (MJENGERA et al., 2003).

Tabela 3: Percentual de amostras de água fora do padrão para cada ETA.

Parâmetro	ETA 1	ETA 2	ETA 3	ETA 4
pH	0,49%	0,09%	0,35%	2,72%
Cor	0,20%	0,20%	1,74%	0,00%
Turbidez	0,08%	0,12%	0,10%	0,66%
Cloro	0,04%	0,19%	0,14%	0,84%
Flúor	3,32%	3,99%	11,39%	17,01%
Média	0,83%	0,92%	2,74%	4,25%

Vários produtos químicos têm sido usados com eficiência nos processos de tratamento de água, tais como sulfato de alumínio, cloreto férrico e polímeros catiônicos e aniônicos (VAZ et al., 2010). Tradicionalmente, as doses ótimas destes agentes são determinadas usando o método *jar test*. No entanto, os equipamentos *jar tests* são relativamente caros e o método demanda muito tempo para ser realizado e conseqüentemente, são utilizados apenas periodicamente. Assim, fica difícil a aplicação quando há mudanças rápidas na qualidade da água bruta, dificultando o controle em tempo real (BAXTER et al., 1999; YU et al., 2000). Estas limitações podem ser superadas com o uso de automação de sistemas de tratamento.

Alguns estudos já reportaram a eficiência do uso de controladores on-line da dosagem de coagulante no tratamento de água (DENTEL, 1991; RATNAWEERA et al., 2015). Por exemplo, um sistema de automação por meio de controladores associados (*feedforward + feedback*) forneceu melhores qualidades de água quando comparadas somente com um controlador (*feedforward*) (LIU et al., 2016). Ainda, neste mesmo estudo foi demonstrado que se o objetivo do controle fosse apenas minimizar a superdosagem de coagulante, ao invés de melhorar a qualidade da água, reduções no consumo de produtos químicos de 3,7 a 15,5% poderiam ter sido alcançadas (LIU et al., 2016). Chew et al. (2018) desenvolveram controladores que alteram automaticamente a duração da filtração e retrolavagem para melhorar sua eficiência. Como resultado, a perda de água devido à retrolavagem foi reduzida quando comparada a um cenário com duração constante de filtração e retrolavagem.

Análise de viabilidade econômica

Além do desempenho operacional é preciso realizar a análise de viabilidade econômica da automação. A ETA 2 possui componentes facilitadores de automação, como atuadores pneumáticos em todos os registros de operação contínua e possui um ciclo de lavagem de filtro e descarte de fundo do decantador controlados por controlador lógico programável (CLP). Além disso, ele possui controles automatizados que são analisadores de todos os parâmetros de controle (cor, turbidez, cloro, pH, flúor e potencial Zeta), conta com a automação de atuação no controle de dosagem dos produtos químicos envolvidos (hipoclorito de cálcio, ácido fluossilícico e cloreto de polialumínio). Fatores esses que corroboram para a redução da demanda de gastos e mão de obra.

Desta forma, o operador fica encarregado de atividades como reposição do produto químico a ser dosado no tratamento, reposição dos reagentes necessários nos aparelhos analíticos, limpezas dos perfis de

decantação e supervisão do funcionamento dos equipamentos mecânicos. Já as demais ETAs não automatizadas, operam vinte e quatro horas por dia e necessitam de cinco operadores. A partir disso, apresentamos na tabela 4, a estimativa de gastos e economia com a mão de obra em estações de tratamento de água automatizadas e não automatizadas, no cenário de uma companhia estatal e de uma companhia da iniciativa privada.

Tabela 4: Estimativa de gastos e economia com ETA automatizada.

	Companhia Estatal		Companhia Privada	
	Manual	Automatizada	Manual	Automatizada
Remuneração base p/ operador	R\$ 2.297,28	R\$ 2.297,28	R\$ 1.639,12	R\$ 1.639,12
Encargos sociais	R\$ 2.067,55	R\$ 2.067,55	R\$ 1.147,38	R\$ 1.147,38
Número de operadores	5	1	5	1
Gasto mensal estimado	R\$ 21.824,15	R\$ 4.364,83	R\$ 13.932,50	R\$ 2.786,50
Gasto anual estimado	R\$ 261.889,80	R\$ 52.377,96	R\$ 167.190,00	R\$ 33.438,00

A partir dos resultados reportados na tabela 4 é possível inferir que a automação da estação de tratamento é capaz de gerar uma economia de 80,00%, a qual em termos monetários representa uma diminuição anual no montante de R\$ 209.511,84 em termos de gastos com colaboradores na companhia estatal, e R\$ 133.752,00 no setor privado.

Apesar de se observar uma economia em termos de gastos com mão de obra, outros gastos e fatores também podem interferir na viabilidade econômica, desse modo, foram projetados dois cenários para apuração dos indicadores de viabilidade econômica, considerando o valor de investimento inicial de R\$ 653.913,60. No primeiro cenário, considerou-se como receita a economia gerada com a automação da estação e tendo por base a economia estatal, enquanto o segundo cenário utilizou a redução em uma companhia da iniciativa privada. A tabela 5 evidencia os indicadores de viabilidade apurados.

Tabela 5: Indicadores de viabilidade econômica.

	Companhia Estatal	Companhia Privada
Investimento Inicial	R\$ 653.913,60	R\$ 653.913,60
Receita pela Economia	R\$ 209.511,94	R\$ 133.752,19
Despesas	R\$ 5.814,64	R\$ 5.814,64
Fluxo de Caixa Estimado	R\$ 203.697,30	R\$ 127.937,55
Horizonte Temporal	15 anos	15 anos
VPL	R\$ 1.161.508,61	R\$ 505.049,97
TIR	14,21%	8,55%
TMA	7,8%	7,8%
Payback time simples	3,21 anos	5,11
Payback time descontado	3,72 anos	6,44

É possível verificar que ambos os cenários (Companhia Estatal e Privada) demonstram viabilidade econômica da instalação do equipamento para automação na estação. Ambos os cenários demonstraram um VPL positivo, demonstrando a capacidade dos projetos em gerar economia financeira, e ainda, ter taxas de retorno acima da mínima praticada pela companhia estatal analisada. Os indicadores de payback demonstram que o valor do investimento com a aquisição e instalação do equipamento pode ser recuperado em até 4 anos na companhia estatal, enquanto na companhia privada ele se estende a 7 anos. Essa diferença decorre essencialmente das diferentes economias que cada setor pode obter em função do valor da mão de obra. A redução do gasto com mão de obra é o fator que contribui para a viabilidade do projeto.

Os benefícios da implementação do uso de sistemas de automação são a redução do custo total de gerenciamento e manutenção da estação de tratamento. Uma vez que a exigência de presença de um operador na planta não é mais necessária (RISHITHA et al., 2019). Bakker et al. (2013) mostraram que a implantação de um sistema de automação levou a uma melhor eficiência energética, alcançando uma redução do consumo geral de energia elétrica de 1,0 a 5,3%.

O acoplamento de projeto e operação em sistemas de tratamento de água, em um projeto de controle integrado, é dificilmente visto. Em vez disso, sistemas de automação são frequentemente implementados como uma etapa complementar em plantas existentes para melhorar a eficiência ou reduzir alguns custos. Além disso, as concessionárias de água estão menos preocupadas com despesas de capital e operacionais do que indústrias. Por exemplo, as indústrias, estão dispostas a usar táticas operacionais e de design mais seguras, porém mais caras, para manter os sistemas confortavelmente nos limites (YUAN et al., 2019).

CONCLUSÕES

O sistema de automação da estação de tratamento de água foi consideravelmente eficiente quanto a qualidade da água tratada se comparada às estações convencionais de tratamento de água. Além disso, referente ao aspecto econômico, tanto no cenário com custos da estatal, quanto da iniciativa privada os indicadores demonstraram que a instalação de ETA automatizada é economicamente viável, inclusive com capacidade de gerar economia aos cofres públicos. Apesar disso, cabe sinalizar que um fator limitante para a implantação desse projeto pode ser derivado do valor do investimento inicial, o qual pode ser elevado tanto para o setor estatal quanto o privado.

REFERÊNCIAS

BAKKER, M.; VREEBURG, J. H. G.; PALMEN, L. J.; SPERBER, V.; BAKKER, G.; RIETVELD, L. C.. Better water quality and higher energy efficiency by using model predictive flow control at water supply systems. **Journal of Water Supply: Research and Technology**, v.62, n.1, p.1-13, 2013. DOI: <http://doi.org/10.2166/aqua.2013.063>

BAXTER, C. W.; STANLEY, S. J.; ZHANG, Q.. Development of a full-scale artificial neural network model for the removal of natural organic matter by enhanced coagulation. **Journal of Water Supply: Research and Technology**, v.48, n.4, p.129-136, 1999. DOI: <http://doi.org/10.2166/aqua.1999.0013>

CHEW, C. M.; AROUA, M. K.; HUSSAIN, M. A.. Advanced process control for ultrafiltration membrane water treatment system. **Journal of Cleaner Production**, v.179, p.63-80, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.075>

DENTEL, S. K.. Coagulant control in water treatment. **Critical Reviews in Environmental Control**, v.21, n.1, p.41-135, 1991. DOI: <http://doi.org/10.1080/10643389109388409>

DONG, X.; JIANG, L.; ZENG, S.; GUO, R.; ZENG, Y.. Vulnerability of urban water infrastructures to climate

change at city level. **Resources, Conservation and Recycling**, v.161, p.104918, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104918>

FAO. Food and Agriculture Organization. **Food and Agriculture Organization of the United Nations - 2050: Water Supplies to Dwindle in Parts of the World, Threatening Food Security and Livelihoods**. FAO, 2018.

FLÖRKE, M.; SCHNEIDER, C.; MCDONALD, R. I.. Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. **Nature Sustainability**, v.1, n.1, p.51-58, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8>

KOOP, S. H. A.; VAN LEEUWEN, C. J.. The challenges of water, waste and climate change in cities. **Environment, Development and Sustainability**, v.19, n.2, p.385-418, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10668-016-9760-4>

LIN, B. B.; OSSOLA, A.; ALBERTI, M.; ANDERSSON, E.; BAI, X.; DOBBS, C.; ELMQVIST, T.; EVANS, K. L.; FRANTZESKAKI, N.; FULLER, R. A.; GASTON, K. J.. Integrating solutions to adapt cities for climate change. **The Lancet Planetary Health**, v.5, n.7, p.e479-e486, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/S2542->

[5196\(21\)00135-2](https://doi.org/10.2166/wst.2016.180)

LIU, W.; RATNAWEERA, H.. Improvement of multi-parameter-based feed-forward coagulant dosing control systems with feed-back functionalities. **Water Science and Technology**, v.74, n.2, p.491-499, 2016. DOI: <http://doi.org/10.2166/wst.2016.180>

MISHRA, B. K.; KUMAR, P.; SARASWAT, C.; CHAKRABORTY, S.; GAUTAM, A.. Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions. **Water**, v.13, n.4, p.490, 2021. DOI: <http://doi.org/10.3390/w13040490>

MJENGERA, H.; MKONGO, G.. Appropriate deflouridation technology for use in flourotic areas in Tanzania. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v.28, n.20-27, p.1097-1104, 2003. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.pce.2003.08.030>

OECD. **OECD Environmental Outlook to 2050: the Consequences of Inaction**. OECD, 2012.

OLSSON, G.. ICA and me: a subjective review. **Water Research**, v.46, n.6, p.1585-1624, 2012.

OLSSON, G.; NIELSEN, M.; YUAN, Z.; JENSEN, A. L.; STEYER, J. P.. **Instrumentation, control and automation in wastewater systems**. Hove: IWA publishing, 2005.

RATNAWEERA, H.; FETTIG, J.. State of the art of online monitoring and control of the coagulation process. **Water**, v.7, n.11, p.6574-6597, 2015. DOI: <http://doi.org/10.3390/w7116574>

RISHITHA, K.; ULLAS, S.. IoT based automation in domestic sewage treatment plant to optimize water quality and

power consumption. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING METHODOLOGIES AND COMMUNICATION (ICCMC), 3. **Annals. IEEE**, 2019.

VAN VLIET, M. T. H.; FLÖRKE, M.; WADA, Y.. Quality matters for water scarcity. **Nature Geoscience**, v.10, n.11, p.800-802, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1038/ngeo3047>

VAZ, L. G. D. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A. D.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R.. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, v.35, n.4, p.45-54, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-46702010000400006>

WANG, G.; JIA, Q. S.; ZHOU, M.; BI, J.; QIAO, J.; ABUSORRAH, A.. Artificial neural networks for water quality soft-sensing in wastewater treatment: a review. **Artificial Intelligence Review**, v.55, n.1, p.565-587, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10462-021-10038-8>

YU, R. F.; KANG, S. F.; LIAW, S. L.; CHEN, M. C.. Application of artificial neural network to control the coagulant dosing in water treatment plant. **Water Science and Technology**, v.42, n.3-4, p.403-408, 2000. DOI: <http://doi.org/10.2166/wst.2000.0410>

YUAN, Z.; OLSSON, G.; OLIVER, R. C.; VAN SCHAGEN, K.; MARCHI, A.; DELETIC, A.; URICH, C.; RAUCH, W.; LIU, Y.; JIANG, G.. Sweating the assets - The role of instrumentation, control and automation in urban water systems. **Water Research**, v.155, p.381-402, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.034>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.