



Produção de Água de Reuso Industrial: Estudo de Caso do Aquapolo no Município de São Paulo - SP

Production of Industrial Reclaimed Water: A Case Study of Aquapolo in the Municipality of São Paulo - SP

Producción de Agua Reutilizada Industrial: Estudio de Caso de Aquapolo en el Municipio de São Paulo - SP

Thais Santin Mulla

Graduanda em Engenharia Civil, UFSCar, Brasil
thaissm@estudante.ufscar.br

Cali Laguna Achon

Professora Doutora, UFSCar, Brasil.
caliachon@ufscar.br



RESUMO

Os recursos hídricos são essenciais e sua escassez, gerada muitas vezes pela discrepância entre disponibilidade hídrica e densidade populacional, causa grandes impactos na sociedade. O presente estudo aborda a estação de águas residuais Aquapolo, localizada na cidade de São Paulo e que surge como uma alternativa para mitigar o problema nessa região. O artigo tem como objetivo trazer uma análise da produção de água de reuso industrial, para fins não potáveis, por meio da metodologia do estudo de caso, explorando aspectos como a capacidade instalada e utilizada da planta, diversificação das empresas que recebem água de reúso, unidades de tratamento instaladas, resíduos gerados, além de dados de qualidade do efluente tratado. Por fim, a utilização de uma matriz SWOT revelou pontos negativos, como a subutilização da capacidade instalada e a dependência de 90% de um único consumidor, além de aspectos positivos, como a qualidade da água com turbidez inferior a 1 uT, a redução da descarga de efluentes em corpos hídricos e uma alta vazão tratada, que destacam as forças e oportunidades do empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de águas residuais. Aquapolo. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Water resources are essential, and their scarcity, often caused by the discrepancy between water availability and population density, creates significant societal impacts. This study addresses the Aquapolo wastewater treatment plant, located in the city of São Paulo, which emerges as an alternative to mitigate the problem in this region. The article aims to provide an analysis of industrial reclaimed water production, for non-potable purposes, through a case study methodology, exploring aspects such as the plant's installed and utilized capacity, diversification of companies receiving reclaimed water, installed treatment units, generated waste, as well as treated effluent quality data. Finally, the use of a SWOT matrix revealed negative points, such as the underutilization of installed capacity and the 90% dependence on a single consumer, in addition to positive aspects, such as water quality with turbidity below 1 NTU, reduced effluent discharge into water bodies, and a high treated flow rate, highlighting the strengths and opportunities of the project.

KEYWORDS: Wastewater treatment. Aquapolo. Sustainability.

RESUMEN

Los recursos hídricos son esenciales y su escasez, generada a menudo por la discrepancia entre la disponibilidad hídrica y la densidad poblacional, causa grandes impactos en la sociedad. El presente estudio aborda la planta de tratamiento de aguas residuales Aquapolo, ubicada en la ciudad de São Paulo, que surge como una alternativa para mitigar el problema en esta región. El artículo tiene como objetivo presentar un análisis de la producción de agua reutilizada industrial, para fines no potables, mediante la metodología de estudio de caso, explorando aspectos como la capacidad instalada y utilizada de la planta, la diversificación de las empresas que reciben agua reutilizada, las unidades de tratamiento instaladas, los residuos generados, además de los datos de calidad del efluente tratado. Finalmente, el uso de una matriz SWOT reveló puntos negativos, como la infrautilización de la capacidad instalada y la dependencia del 90% de un único consumidor, además de aspectos positivos, como la calidad del agua con turbidez inferior a 1 NTU, la reducción de la descarga de efluentes en cuerpos hídricos y un alto caudal tratado, que destacan las fortalezas y oportunidades del proyecto.

PALABRAS CLAVE: Tratamiento de aguas residuales. Aquapolo. Sostenibilidad.



1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos afetam diversos setores dentro da sociedade, principalmente quando há algum evento extremo como inundações ou escassez de água, e estão atrelados diretamente ao desenvolvimento social e econômico (Brasil, 2019).

Em 2014, São Paulo enfrentava uma crise hídrica responsável pela redução e pelo racionamento do fornecimento de água para cerca de metade da população da Região Metropolitana de São Paulo (RMSp) (Custódio, 2015).

Segundo as informações do último censo, São Paulo apresentava uma densidade populacional elevada, alcançando 7.528,26 habitantes por quilômetro quadrado, conforme dados do IBGE (2022).

Em consonância com a discrepância entre disponibilidade hídrica e densidade populacional, conforme discutido por Guppy e Anderson (2017), a previsão é que até o ano de 2035 cerca de 40% da população mundial poderá enfrentar escassez de água. Além disso, estima-se que a população urbana possa duplicar até 2050 e a população total do planeta chegue a 9,7 bilhões de pessoas.

Ademais, conforme observado por Richter e Jacobi (2018), os principais setores em competição pela alocação hídrica incluem Irrigação, demanda doméstica, indústria e geração de energia. Segundo (Brasil, 2023) as porcentagens utilizadas para esses setores são: Irrigação (50,5%), demanda doméstica (25,5%), indústria (9,4%) e geração de energia (5%).

Tendo em vista este cenário, fica evidente a necessidade de ampliação de oferta hídrica, de novas fontes de abastecimento e da implantação de sistemas avançados de tratamento que visem o reuso de água no Brasil. Contudo, é pertinente ressaltar que a reutilização da água enfrenta desafios significativos em termos de aceitação pela população, especialmente para uso humano ou agrícola. Nesse contexto, o uso industrial emerge como uma alternativa viável e atualmente mais aceita (Roccaro; Verlicchi, 2018; Silva, 2019).

Entretanto, a expansão do reuso de água enfrenta entraves legislativos, políticos e técnicos, tanto no Brasil quanto em outros países, como os altos custos iniciais das tecnologias de tratamento e distribuição, a falta de legislação adequada para diferentes tipos de efluentes e os riscos ambientais associados ao uso de produtos não tratados (Bertocini, 2008). No Brasil, ainda não existe uma legislação que garanta a qualidade sanitária do efluente destinado ao reuso, devido às diversas finalidades de utilização da água. A norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 13.969/1997 estabelece diretrizes e parâmetros para o reuso de água em diferentes aplicações, enquanto a Resolução do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH) 54/2005 (Brasil, 2005b) define critérios e diretrizes para o reuso direto não potável, abrangendo usos urbanos, agrícolas, industriais e ambientais. Entretanto, apenas normas não são suficientes para promover o reuso da água, pois são facultativas e carecem de fiscalização.

Ainda assim, no Brasil, como alternativa para atenuar esse cenário, em 2010 têm início as obras para construção do Aquapolo, empreendimento para a produção de água de reuso direta. O Aquapolo, localizado na cidade de São Paulo, produz água de reuso para as indústrias do polo petroquímico de Capuava através do esgoto tratado proveniente da Estação de tratamento de Esgoto ABC (ETE-ABC) da Sabesp (Aquapolo, s.d.).



Portanto, este artigo tem como objetivo apresentar uma análise da produção de água de reuso industrial, para fins não potáveis, através de estudo de caso do empreendimento para produção de água de reuso, Aquapolo, localizada na cidade de São Paulo.

2 METODOLOGIA

O estudo de caso se enquadra dentro das pesquisas de natureza qualitativa, onde é possível realizar a descrição, interpretação, análise e comparação de casos. Além disso, o estudo de caso se trata da análise de um ou mais casos a partir da observação direta da realidade, por meio de diferentes maneiras para a coleta de dados (Berto; Nakano, 2000).

Para a estruturação do estudo de caso foram seguidos os passos sugeridos por Miguel (2007), contando com adaptações para se adequar a presente pesquisa.

O primeiro passo do estudo de caso implica na formulação de uma estrutura conceitual teórica. Esta etapa envolveu a realização de um levantamento bibliográfico para avaliar o estado atual das pesquisas no meio acadêmico, determinar o progresso alcançado até o momento e, concomitantemente, estabelecer um embasamento para a análise dos resultados. O levantamento bibliográfico foi realizado por meio do portal de periódicos CAPES, Google acadêmico e Scielo, no período de outubro de 2023 a setembro de 2024.

Posteriormente, procede-se ao planejamento do estudo de caso. Definiu-se o objeto para o estudo de caso o Aquapolo, empreendimento de produção de água de reúso, situado em São Paulo, uma cidade de significativa importância nacional (Aquapolo, s.d.). Em seguida, foi estabelecido contato com a empresa e foram definidos os meios e métodos para a coleta e análise dos dados. O contato com o Aquapolo foi realizado por meio de comunicação via e-mail, facilitando o agendamento de uma visita técnica.

A etapa subsequente envolveu a coleta e registro dos dados. Para tanto, foi elaborado um formulário (Apêndice A) com base nos seguintes pontos-chave de análise: dados quantitativos, informações sobre os usos do efluente tratado, unidades de tratamento, resíduos gerados e dados de qualidade do efluente tratado. Durante a visita realizada, o processo ocorreu em duas fases distintas. Na primeira fase, foram coletados os dados pré-determinados por meio do formulário, sendo as anotações registradas em papel. Na segunda fase, foi conduzida uma visita guiada pela planta da estação, durante a qual foram explicadas as operações de cada etapa do processo de tratamento do efluente, além de serem capturadas diversas imagens.

Por fim, os dados foram analisados e compilados de acordo com os objetivos da pesquisa, um dos métodos empregados para a análise foi a construção de uma matriz SWOT. A matriz SWOT é uma importante ferramenta para o planejamento estratégico de empresas e organizações. Para desenvolver um planejamento eficaz, é crucial ter uma compreensão abrangente do empreendimento. A matriz SWOT cumpre esse papel, facilitando uma análise detalhada e o diagnóstico da situação da organização, identificando pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças. O termo SWOT é um acrônimo que representa as iniciais das palavras em inglês Strengths (Forças), Weaknesses (Fraquezas), Opportunities (Oportunidades) e Threats (Ameaças). Na matriz SWOT, as características são classificadas em dois grupos principais: positivas (Forças e Oportunidades) e negativas (Fraquezas e Ameaças) (Fernandes, 2012).

3 RESULTADOS

Em 2010, deu-se início à construção do Aquapolo, um dos maiores projetos de água de reuso da América Latina e, em 2012, o fornecimento de água de reuso foi oficialmente iniciado, atendendo às demandas do Polo Petroquímico de Capuava (Aquapolo, s.d.).

O efluente tratado no Aquapolo é originário da ETE-ABC da Sabesp. O empreendimento se localiza no bairro Heliópolis no município de São Paulo-SP, em área ao lado das instalações da ETE-ABC.

O Aquapolo beneficia-se da proximidade com a ETE para transportar o efluente proveniente da estação de tratamento de esgoto por gravidade até uma estação elevatória de baixa carga, conforme Figura 1 (Aquapolo, s.d.).

Figura 1 - Posicionamento e área do Aquapolo e da ETE-ABC



LEGENDA

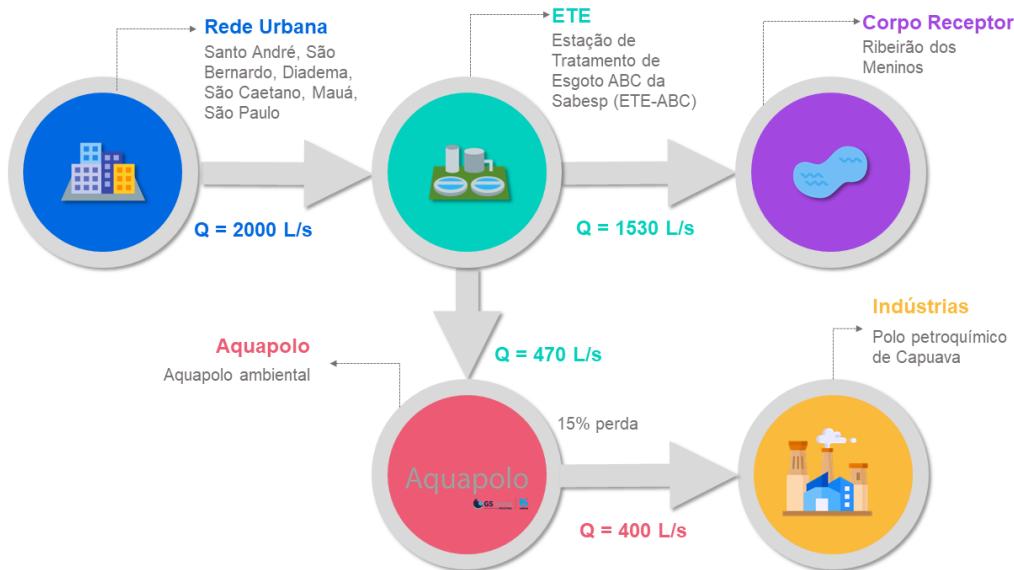
- Planta Aquapolo: 21.963,10 m²
- Planta ETE-ABC: 189.301,61 m²

Fonte: Elaborada pelos autores (2024) e adaptado de Aquapolo (s.d.).

Além da proximidade, a Figura 1 também evidencia as áreas do Aquapolo e da ETE-ABC. A ETE contém uma área de aproximadamente 189.301,61 m², cerca de 8,6 vezes maior que a área do Aquapolo e possui tecnologia de tratamento de esgoto sanitário por lodos ativados convencionais (SAESA, 2024).

Ainda de acordo com SAESA (2024), a Estação (ETE-ABC) demonstra uma eficiência de remoção de 90% da carga orgânica, este desempenho é avaliado por meio do monitoramento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e dos sólidos em suspensão. A ETE trata em média 2000 L/s e é uma importante infraestrutura de saneamento para as cidades de Santo André, São Bernardo do Campo, Diadema, São Caetano do Sul, Mauá e parte de São Paulo (Calda; Samudio, 2016). Além disso, cerca de 24% do efluente tratado da ETE-ABC que seria lançado no Ribeirão dos meninos é direcionado para o Aquapolo (Aquapolo, s.d.). Dessa forma, a carga de depuração que o ribeirão precisa realizar é reduzida, permitindo que o efluente tratado dentro do Aquapolo seja direcionado diretamente ao consumidor final, as indústrias do polo petroquímico de Capuava (Figura 2).

Figura 2 - Esquema ilustrativo do Aquapolo no Tratamento e Distribuição de Efluente tratado



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

A implementação de sistemas de coleta e tratamento de esgoto pode mitigar os impactos negativos sobre os corpos hídricos, no entanto, isso não elimina a necessidade de avaliar e compatibilizar a capacidade de autodepuração dos recursos hídricos. Regiões com alta densidade populacional, como São Paulo, apresentam maior complexidade e demandam soluções tecnológicas avançadas, devido à concentração populacional elevada e à proximidade de corpos hídricos de baixa capacidade de diluição (Brasil, 2017).

3.1 Análise da Vazão de Efluente Tratado no Aquapolo

O Aquapolo foi projetado para uma vazão de 1.000 L/s, porém sua capacidade instalada atualmente é de 650 L/s. Isso ocorre porque, apesar de haver unidades estruturais para produzir 1.000 L/s, faltam equipamentos suficientes, e ainda a demanda de água de reúso pelas indústrias do polo petroquímico de Capuava atinge, de fato, apenas 400 L/s. Portanto, atualmente a vazão média de operação do Aquapolo é 470 L/s, para que, considerando as perdas do processo, seja possível entregar 400 L/s para o consumidor final.

Uma das maneiras de avaliar os benefícios do reúso de água pelo Aquapolo é através do cálculo de um equivalente populacional e do percentual de recuperação de vazão pelo Aquapolo em relação a ETE-ABC, conforme apresentado na Tabela 1.



Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 13, N. 41, 2025

Tabela 1 - Equivalente Populacional e percentual de recuperação de vazão

Dados	Projeto	Instalação	Operação
Q (L/s)	1.000	650	470
Equivalente populacional (hab.)	540.338	351.220	253.959
Percentual de recuperação de vazão pelo Aquapolo em relação a ETE-ABC	50%	33%	24%

(1) Para o cálculo do equivalente populacional utilizou-se um consumo per capita de 159,9 litros por habitante por dia, específico da região sudeste, conforme dados do SNIS (2023).

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Os resultados demonstram que o Aquapolo poderia disponibilizar a água que as indústrias deixam de captar do sistema público para uma cidade de médio porte de até 540.338 habitantes, em função de sua vazão de projeto, sendo que atualmente disponibilizaria água para até 253.959 habitantes com a vazão de operação.

Outro ponto relevante está na discrepância entre a vazão de projeto e a vazão de operação do Aquapolo. Esta diferença fica ainda mais evidente ao observar o percentual de recuperação de vazão do Aquapolo, que poderia atingir no máximo 50% com a vazão de projeto do Aquapolo e atualmente atinge apenas 24%. Tal percentual está relacionado ao efluente da ETE-ABC que deixa de ser lançado no Ribeirão dos meninos e é direcionado para o Aquapolo.

3.2 Processos e Fases do Tratamento de Efluente

No Aquapolo, o efluente passa por uma série de tratamentos antes de ser entregue ao consumidor final, conforme ilustrado no esquema da Figura 3.

Figura 3 - Etapas de tratamento dentro do Aquapolo



Legenda: TMBR - Tratamento Biológico e Membranas Submersas de Ultrafiltração.

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

A seguir tem-se o detalhamento dos itens de 1 a 7, conforme ilustradas na Figura 3.

1. Entrada do Esgoto tratado no Aquapolo: O esgoto tratado proveniente da ETE-ABC chega ao Aquapolo por meio do encaminhamento, por gravidade. Esse efluente é direcionado à estação elevatória de baixa carga, que serve como ponto de entrada para o Aquapolo.

2. Tratamento Preliminar: Nessa etapa, ocorre a microfiltração por meio de filtros de disco, responsável remover sólidos com tamanho superior a 400 µm.

3. Tratamento Biológico e Membranas Submersas de Ultrafiltração (TMBR): No TMBR, há duas etapas: a primeira envolve uma câmara anóxica para a remoção de fósforo e nitrogênio amoniacial, enquanto a segunda etapa ocorre em uma zona aeróbia, onde a ultrafiltração por membranas retém partículas maiores que 0,05 µm.

4. Tanque de Reservação: O efluente proveniente do TMBR vai para um tanque de passagem. Esse tanque, embora seja um reservatório, faz parte do processo de tratamento, permitindo ajustar a vazão antes da osmose.

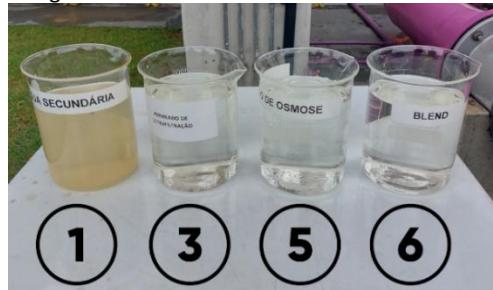
5. Osmose Reversa: Parte do efluente é encaminhada para a osmose reversa, por meio de bombas de alta pressão, visando melhorar a condutividade por meio da remoção de sais. No entanto, apenas cerca de 20% a 25% do efluente passa por essa etapa, devido a sua alta eficiência capaz de reduzir a condutividade de 650 µS/cm para cerca de 30 µS/cm. Antes da osmose reversa há uma nova etapa de microfiltração, para evitar danos às membranas de osmose.

6. Desinfecção e Mistura (Blend): No tanque final, ocorre a desinfecção por meio da adição de dióxido de cloro, e a mistura do efluente de ultrafiltração com o efluente osmotizado para atingir a condutividade desejada.

7. Adutora: O efluente tratado é encaminhado à estação elevatória de alta carga, onde é bombeada por uma adutora de 17 km, por cerca de 8 a 9 horas, até chegar ao cliente final.

A Figura 4 ilustra a qualidade do efluente bruto (Item 1) na entrada do Aquapolo e o efluente tratado em algumas etapas de tratamento (Itens 3,5 e 6). Sendo: esgoto tratado proveniente da ETE-ABC (Item 1), permeado de ultrafiltração (Item 3), permeado de osmose reversa (Item 5) e blend (Item 6). Esta figura ilustra a diferença visual na qualidade do efluente após cada etapa do processo de tratamento, principalmente comparando com o efluente bruto.

Figura 4 - Imagem ilustrativa do efluente bruto e tratado no Aquapolo



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Todas as etapas de tratamento utilizam tecnologia avançada e um alto grau de inovação, permitindo, por exemplo, a remoção de altas concentrações de sais presentes na água da região, além de alcançar as concentrações desejadas de diferentes parâmetros estabelecidos para os processos industriais (Silva, 2019).

Apesar da eficiência dos tratamentos implementados pelo Aquapolo, há alguns desafios que precisam ser enfrentados para otimizar o processo. Um dos principais desafios é a questão do consumo energético. A dependência das bombas de alta pressão e sopradores representa uma carga significativa tanto financeira quanto ambiental, considerando que as bombas da adutora são responsáveis pelo maior gasto energético, seguidas pelas bombas de alta pressão da osmose, e pelos sopradores das membranas de ultrafiltração.

Outro ponto crítico é a manutenção e substituição das membranas. Para as membranas de ultrafiltração, é necessário realizar aeração e retrolavagem em intervalos de tempo definidos (Silva, 2019), além de limpezas periódicas com produtos químicos como hipoclorito e ácido cítrico, realizadas em intervalos maiores. As membranas de osmose, por sua vez, possuem uma vida útil de 5 a 6 anos e também requerem a utilização de produtos químicos, como biocida e anti-incrustante, para a limpeza. As limpezas periódicas e o uso de produtos químicos elevam os custos operacionais e podem gerar impactos ambientais relacionados ao descarte dos produtos.

Além disso, o processo de tratamento gera resíduos sólidos que precisam de gerenciamento e destinação final adequada. A maior parte dos resíduos sólidos gerados é



descartada como resíduos recicláveis, facilitando esse processo. Os principais resíduos sólidos incluem: filtros cartucho de microfiltração, metal de carcaças e resíduos de tubulação PVC.

3.3 Perdas

Para entregar uma vazão de 400 L/s de efluente tratado, o Aquapolo precisa captar uma vazão maior da Sabesp, devido às perdas inerentes ao processo. Essas perdas ocorrem durante o tratamento e não ao longo da adutora. Para alcançar a produção desejada de 400 L/s, é necessário captar aproximadamente 470 L/s, resultando em uma perda na faixa de 15% a 20%, normalmente mais próxima de 15%.

Os resíduos líquidos gerados estão relacionados às perdas no processo de tratamento e incluem: Tratamento preliminar (Retrolavagem do filtro disco), Reator Biológico (Descarte de Lodo), Microfiltração antes da Osmose Reversa (Retrolavagem do filtro disco), Osmose Reversa, Reúso de efluente tratado para Limpezas no local.

Dentre os processos responsáveis pelas perdas destaca-se a Osmose Reversa, este processo é a principal fonte de perda de volume. A osmose reversa remove tanto sólidos dissolvidos quanto sólidos em suspensão, resultando em uma perda significativa de volume. Para cada 4 litros de efluente, 3 litros são produzidos como água de reúso e 1 litro se torna rejeito, representando uma perda de 25%.

Todo o resíduo líquido gerado é devolvido para o decantador primário da ETE-ABC, considerando uma perda próxima de 15%, dos 470 L/s captados, aproximadamente 70 L/s, totalizando 6048 m³/dia, retornam à Sabesp, o que representa uma parcela praticamente insignificante em relação aos 2000 L/s tratados pela ETE, no entanto, significativa do ponto de vista de gestão eficiente dos recursos hídricos.

Ao comparar as perdas dentro do Aquapolo às perdas em uma estação de tratamento de água convencional (ETA), percebe-se uma diferença significativa nos valores, enquanto as perdas no Aquapolo estão próximas a 15% e podem atingir até 20% em uma ETA convencional, os valores de perda variam entre 2% e 10% (Brasil, 2003). É válido mencionar que a osmose reversa responsável pela maior perda dentro do Aquapolo não é empregada em estações de tratamento de água convencionais e pode ser responsável pela diferença percentual encontrada.

3.4 Sistema de Monitoramento da Qualidade do Efluente

Conforme Calda e Samúdio (2016), no efluente tratado pelo Aquapolo os parâmetros devem seguir os níveis estabelecidos pelas indústrias e para manter o padrão de qualidade desejado o Aquapolo conta com 54 dispositivos para monitoramento online. Segundo Silva (2019), os parâmetros que têm maior impacto são aqueles monitorados de maneira online, entre estes pH e condutividade, outros parâmetros de menor impacto são monitorados semanalmente ou até mesmo mensalmente em laboratórios externos.

O monitoramento frequente da remoção de nitratos, por exemplo, não é uma prioridade, devido à alta eficiência do reator biológico com unidade de desnitrificação. O



Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 13, N. 41, 2025

Aquapolo não prioriza também a medição da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), uma vez que a carga de matéria orgânica recebida já é bastante reduzida.

A eficiência do tratamento é monitorada principalmente em relação à remoção de nutrientes e à redução da condutividade elétrica, que é elevada na bacia do ABC devido à presença significativa de indústrias. Nem todos os contaminantes são removidos ao máximo, mas sim o suficiente para atender aos padrões de qualidade exigidos pelas indústrias consumidoras.

Uma comparação entre os parâmetros do efluente de esgoto tratado na ETE-ABC, da água de reúso do Aquapolo, de corpos hídricos de classe 1 e dos padrões de potabilidade pode ser observada no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros de qualidade da água de reuso do Aquapolo comparado com a classe de enquadramento dos corpos d' água e o padrão de potabilidade

Parâmetro	Efluente de Esgoto tratado - ETE-ABC	Água de reuso produzida pelo Aquapolo	Classe 1 CONAMA 357 (Brasil, 2005a)	Potabilidade Portaria GM/MS nº 888 (Brasil, 2021)
Condutividade	Até 650 µS/cm	Até 500 µS/cm	N.D	N.D
Nitrogênio Amoniacal	Até 20 mg/L	Até 1 mg/L	até 3,7 mg/l	N.D
Nitratos	Até 40 mg/L	N.D	até 10 mg/l	Até 40 mg/L
Fósforo	2,2 a 2,3 mg/L (até 5 mg/L)	Até 0,5 mg/L	0,02 a 0,1 mg/L	N.D
pH	5 a 9	6,5 a 7,5	6 a 9	6 a 9
Turbidez	Até 15 uT	1 uT	até 40 uT	até 5 uT
Dureza	Até 100 mg/L	N.D	N.D	até 300 mg/L
Dióxido de Cloro	N.D	Até 0,2 mg/L	N.D	mín 0,2 mg/L

Fonte: Elaborada pelos autores (2024) com base nos dados de CONAMA 357 (Brasil, 2005a) e Portaria GM/MS nº 888 (Brasil, 2021).

Por meio da Quadro 1, observa-se que o efluente tratado do Aquapolo atende alguns parâmetros de qualidade estabelecidos pelo CONAMA 357 (Brasil, 2005a) para rios de classe 1: Nitrogênio Amoniacal, pH e turbidez e ainda atende alguns parâmetros do padrão de potabilidade da Portaria GM/MS nº 888 (Brasil, 2021): Ph, Turbidez, e dióxido de cloro. Também é válido mencionar que o efluente de esgoto tratado sai da ETE-ABC com os parâmetros de nitratos e dureza dentro dos limites exigidos para potabilidade. Embora a classificação de uma água como potável requeira a avaliação de diversos outros parâmetros além dos mencionados na Quadro 1, os dados de turbidez de 1 uT, abaixo de 5 ut exigido pelo padrão de potabilidade, permitem observar a alta eficiência do Aquapolo, mesmo que seu objetivo principal seja o tratamento de efluente para reúso.



3.5 Consumidores

O Polo Petroquímico de Capuava, que recebe quase a totalidade da água de reuso fornecida pelo Aquapolo (Aquapolo, s.d.), iniciou suas atividades em 1954 com a instalação da Refinaria de Capuava, uma das unidades da Petrobras (Azuaga, 2007). Localizado próximo às cidades do ABC Paulista, o polo utiliza a água de reúso proveniente do Aquapolo principalmente para a limpeza de torres de resfriamento e caldeiras, conforme Calda e Samudio (2016).

As empresas abastecidas pelo Aquapolo incluem Air Liquid, Braskem, Bridgestone, Cabot, White Martins, Paranapanema, Hydro, Oxiteno e Vitopel (Aquapolo, s.d.). No entanto, 90% de toda a água de reuso produzida pelo Aquapolo é consumida por um único cliente, a Braskem. Esta concentração de consumo torna o Aquapolo altamente dependente deste cliente específico, o que traz riscos ao projeto, de modo que qualquer mudança dentro da Braskem afetaria diretamente na demanda de água de reúso dentro do Aquapolo.

Embora o Aquapolo tenha aumentado o número de clientes nos últimos anos com a entrada das empresas Paranapanema em 2015, a primeira empresa fora do Polo Petroquímico de Capuava, Bridgestone em 2016, Hydro em 2017 e Vitopel em 2020 (Aquapolo, s.d.), esse crescimento não foi significativo em termos percentuais.

Considerando isso, é crucial destacar que outras indústrias na região poderiam se beneficiar da água de reúso fornecida pelo Aquapolo (Silva, 2019). Ao buscar novas indústrias o Aquapolo iria expandir sua base de clientes industriais e garantir um uso mais eficiente de sua capacidade instalada, além de promover práticas sustentáveis no setor industrial, permitindo que as indústrias possam reduzir sua pegada hídrica e promover uma gestão mais responsável dos recursos (Aquapolo, 2022).

3.6 Matriz Swot

Uma análise do Aquapolo foi realizada pelos autores por meio da matriz SWOT apresentada na Quadro 2 com os fatores positivos e negativos, internos e externos à organização.



Quadro 2 - Matriz SWOT do Aquapolo

Positivo	Negativo
Forças	Fraquezas
Produção de água de reuso	Capacidade Instalada inferior a capacidade de projeto
Localização	Subutilização da capacidade instalada
Redução do lançamento de efluentes no corpo receptor	Consumo energético
Significativa capacidade de produção	Geração de resíduos
Inovação tecnológica	Perdas
Oportunidades	Ameaças
Iniciativas Governamentais	Aceitação Pública
Potencial de expansão	Falta de legislação
Produção de água potável	Redução da demanda industrial
Redução de perdas	Dependência de um único cliente
Uso da vazão total para beneficiar o meio ambiente	Riscos ambientais relacionados aos resíduos

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Considerando suas forças o Aquapolo se destaca pela produção de água de reuso que utiliza tecnologia avançada e inovação nas etapas de tratamento e atinge valores de turbidez de 1 uT, abaixo do limite exigido para potabilidade. Outro ponto relevante é sua localização próxima do esgoto tratado que recebe da ETE-ABC e também das indústrias para onde envia a água de reuso. Além disso é capaz de reduzir o lançamento de efluentes no corpo receptor diminuindo a carga de autodepuração do Ribeirão dos meninos e tem uma significativa capacidade de produção que seria capaz de abastecer uma cidade de até 253.959 habitantes com a água que as indústrias deixariam de captar do sistema público de abastecimento e fica disponível para a população.

Por outro lado, suas fraquezas também têm impacto no empreendimento e se caracterizam pela capacidade instalada de 650 L/s inferior a vazão de projeto de 1000 L/s, além disso a demanda atual se limita a 400 L/s inferior à capacidade instalada. O processo de tratamento depende de equipamentos com alto consumo energético e gera resíduos que precisam de gestão e destinação final adequadas. Por fim, há uma perda durante o processo de tratamento que varia de 15 a 20% do efluente captado, totalizando de 6.048 a 8.640 m³ por dia.

Semelhante às forças, as oportunidades são pontos positivos, que podem ser aproveitados caso ocorram. Políticas públicas para incentivar a utilização de água de reuso são importantes para a aceitação e para a diversificação de clientes no Aquapolo, assim como a criação de legislação para amparar a produção de água de reuso. Ademais, o empreendimento tem potencial de expansão no aspecto de vazão, a partir de alterações em sua planta, que pode aumentar sua capacidade instalada (650 L/s) e atingir a capacidade de projeto de 1.000 L/s e no aspecto de mercado por meio da busca por novos clientes industriais ou de outros segmentos. Investir em melhorias no tratamento é outra oportunidade importante que poderia tornar o Aquapolo capaz de gerar água potável e contribuir para expandir sua base de clientes. Além disso, realizar alterações no processo de tratamento que possam reduzir o percentual de perdas também pode representar uma melhoria significativa. Por fim, utilizar toda a capacidade



instalada e enviar o efluente tratado excedente para o Ribeirão dos Meninos poderia contribuir para a melhoria da qualidade da água deste corpo receptor.

Por sua vez, as ameaças assim como as fraquezas são pontos negativos para o empreendimento, para os quais este deve estar preparado caso ocorram. A aceitação pública é uma ameaça que pode afetar o Aquapolo, pois algumas áreas ainda têm maior resistência para utilizar água de reúso, especialmente para usos humanos ou agrícolas, limitando o mercado, nessa mesma linha a falta de legislação também é crucial para promover a utilização da água de reuso. Outro ponto relevante é a possível redução da demanda industrial, o que é agravado pelo fato de que o Aquapolo fornece 90% da água de reuso para um único cliente. Por fim, a geração de resíduos durante o processo de tratamento e o uso de produtos químicos para limpeza, podem apresentar riscos ambientais caso não haja uma gestão adequada.

4 CONCLUSÃO

Através desse estudo conclui-se que o Aquapolo é um empreendimento de grande porte, mas que subutiliza sua capacidade, contém um processo de tratamento que precisa de equipamentos com alto consumo energético, gera resíduos sólidos que precisam de gerenciamento adequado e tem uma porcentagem significativa de perdas. Além disso, depende apenas da demanda industrial e com 90% de sua água de reuso destinada a um único cliente.

Apesar dos pontos negativos, o empreendimento tem um impacto positivo muito grande na sociedade, contando com tecnologia e inovação, além de uma alta capacidade de produção que poderia reduzir a captação de água das indústrias do sistema público de abastecimento e reduzir o lançamento de efluente de esgoto tratado no corpo receptor. O Aquapolo também é capaz de produzir uma água de reuso que atinge alguns parâmetros para um corpo hídrico de classe 1 e para potabilidade, com valores muito baixos de turbidez de 1 uT.

Por fim, é válido ressaltar que com algumas mudanças o empreendimento poderia progredir ainda mais, iniciativas governamentais visando a aceitação pública da água de reuso e a criação de legislações para promover a mesma seriam de grande importância para o Aquapolo. Além disso, a possibilidade de expansão com aumento da vazão e da base de clientes aumentaria ainda mais os impactos positivos gerados pela água de reuso.

REFERÊNCIAS

AQUAPOLO. [s.d.]. Disponível em: <http://www.aquapolo.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 28 nov. 2023.

AQUAPOLO. **Relatório de sustentabilidade**. 2022. Disponível em: https://www.aquapolo.com.br/media/upload/ckeditor/2023/12/08/aquapolo_rs2022_d4-04.pdf. Acesso em: 19 jun. 2024

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969: Reuso de água - Classificação e diretrizes de projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

AZUAGA, F. L. **A reestruturação da indústria petroquímica brasileira no período pós-privatização**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio-Econômico. Programa de Pós-Graduação em Economia. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30370715.pdf>. Acesso em 03 jun. 2024.



Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 13, N. 41, 2025

BERTO, R. M. S.; NAKANO, D. N. A Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa. **Produção**, [s.l.] v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65131999000200005>. Acesso em: 14 jan. 2024.

BERTONCINI, E. I. (2008). Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, 1(1), 152-169.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**: Brasília, 18 mar. 2005a. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 5 jun. 2024

BRASIL. Ministério da Integração e Ministério do Desenvolvimento Regional. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023**. Brasília: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 14 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao monitoramento e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 5 maio 2021. Disponível em: <https://cvs.saude.sp.gov.br/zip/PORT.GM-MS-888-21.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água: **Documento Técnico de apoio - DTA A2: Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água**. set. 2003. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/pmss/biblioteca-virtual/documentos-tecnicos-de-apoio-dta>. Acesso em 10 ago. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Agência Nacional de Águas. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 02 dez. 2005b.

BRASIL. Secretaria Nacional De Saneamento Ambiental. Agência Nacional de Águas. **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília - DF: ANA, 2017. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01>. Acesso em: 31 mai. 2024.

CALDA, S. A. B.; SAMUDIO, E. M. M.. Água De Reúso Para Fins Industriais Estudo De Caso. **Brasil Para Todos-Revista Internacional**, [s.l.] v. 3, n. 2, 2016. Disponível em: https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais_Sem_Int_Etn_Racial/article/view/412/pdf. Acesso em: 03 jun. 2024.

CUSTÓDIO, V. **A crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo (2014-2015)**. Geousp – Espaço e Tempo (Online), v. 19, n. 3, p. 445-463, set/dez. 2015. ISSN 2179-0892. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/102136>. Acesso em: 26 nov. 2023.

FERNANDES, D. R. Uma Visão Sobre a Análise da Matriz SWOT como Ferramenta para Elaboração da Estratégia. **Revista de Ciências Jurídicas e Empresariais**, [S. I.], v. 13, n. 2, 2015. DOI: 10.17921/2448-2129.2012v13n2p%p. Disponível em: <https://revistajuridicas.pgscognac.com.br/juridicas/article/view/720>. Acesso em: 01 ago. 2024.

GUPPY, L.; ANDERSON, K. **Global Water Crisis: The Facts**. United Nations University. Institute for Water, Environment and Health, jan. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338954698_Global-Water-Crisis-The-Facts#fullTextFileContent. Acesso em: 8 jan. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Censo Brasileiro de 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>. Acesso em: 02 nov. 2023.



Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 13, N. 41, 2025

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, [s.l.] v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132007000100015>. Acesso em 15 jan. 2024.

RICHTER, R. M.; JACOBI, P. R. Conflitos na macrometrópole paulista pela perspectiva da crise hídrica | Conflicts in the São Paulo macrometropolis from the perspective of the water crisis. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [S. I.], v. 20, n. 3, p. 556, 2018. DOI: 10.22296/2317-1529.2018v20n3p556. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/5688>. Acesso em: 12 abr. 2024.

ROCCARO, P.; VERLICCHI, P. Wastewater and reuse. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, [s.l.] v. 2, p. 61–63, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584418300308?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jan. 2024.

SAESA - Sistema de Água, Esgoto E Saneamento Ambiental. **Estação de tratamento: Estação de tratamento de Esgoto – ETE | ABC**, 2024. Disponível em: <http://www.saesascsp.gov.br/pagina/estacao-de-tratamento>. Acesso em: 17 maio 2024.

SILVA, C. **Reutilização De Águas Residuais Urbanas Pela Indústria: Um Estudo De Caso Do Aquapolo Ambiental**. 2019. Dissertação (Mestrado em Gestão) - Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://pesquisa-eaesp.fgv.br/teses-dissertacoes/reutilizacao-de-aguas-residuais-urbanas-pela-industria-um-estudo-de-caso-do>. Acesso em: 9 jan. 2024.

SNIS - Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto**.

Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, dez. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snisd/produtos-dosnis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf. Acesso em: 09 jan. 2024.