



AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A TURBIDEZ E A DQO EM AMOSTRAS DE EFLUENTE TRATADO DA ETE SANTA HELENA

Kleber Gomes Ramirez⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental (Uniamérica). Tecnólogo em Saneamento Ambiental (UTFPR). Mestre em Tecnologias Ambientais (UTFPR). Doutor em Energia e Sustentabilidade (UNILA). Coordenador Industrial da Gerência Regional Foz do Iguaçu (GRFI), na Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

Rosani Becker Netto⁽²⁾

Tecnóloga em Química Industrial (UTFPR). Especialista em Gerenciamento de Laboratório (UNIOESTE). Atua na área de análises de efluentes no Laboratório Regional de Esgoto de Foz do Iguaçu e no apoio técnico das Estações de tratamento de esgoto da Gerência Regional Foz do Iguaçu (GRFI), na Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

Karoliny Pavei Prado⁽³⁾

Tecnóloga em Alimentos (UTFPR) e Licenciada em Química (UTFPR). Especialista em Práticas Educacionais em Ciências e Pluralidade (UTFPR) e Especialista em Saneamento Ambiental (UENP). Atua na área de tratamento e controle de qualidade de água e efluentes da Gerência Regional Foz do Iguaçu (GRFI), na Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

Denis Amaro dos Santos⁽⁴⁾

Ciências da Computação (Cesufoz). Técnico em Saneamento (SENAI). Atualmente é Técnico Ambiental da Gerência Regional Foz do Iguaçu (GRFI), na Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

Marcos Antônio do Nascimento Costa⁽⁵⁾

Técnico em Meio Ambiente e Técnico em Logística (IFPR). Atua na área de tratamento de água e tratamento de esgoto na cidade de Santa Helena da Gerência Regional de Foz do Iguaçu (GRFI), na Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

Endereço⁽¹⁾: Av. Brasil, 569 - Centro – Foz do Iguaçu - Paraná - CEP: 85851-000 - Brasil - Tel: +55 (45) 3521-4600 - e-mail: klebergr@sanepar.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta a avaliação da correlação entre a turbidez e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) em amostras de efluente tratado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Santa Helena. A análise de DQO, embora fundamental para monitorar a eficiência do processo de lodo ativado, apresenta limitações operacionais por demandar tempo, equipamentos específicos e gerar resíduos perigosos. Frente a essas limitações, foi proposto o uso da turbidez como parâmetro alternativo para controle da qualidade do efluente. As coletas foram realizadas quinzenalmente entre janeiro de 2023 e outubro de 2024 nos pontos de afluente, efluente do SBR 1 e do SBR 2. As análises mostraram correlação significativa entre os parâmetros, especialmente no SBR 1, onde a equação obtida ($y = 2,4617x + 22,802$) permite estimar a DQO com base na turbidez. A adoção desse método possibilita maior agilidade no diagnóstico de falhas operacionais, redução de custos e minimização da geração de resíduos perigosos. Ressalta-se que esta estimativa é recomendada exclusivamente para fins operacionais, não substituindo os métodos oficiais para fins legais.

PALAVRAS-CHAVE: Turbidez, DQO, Estação de Tratamento.

INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes domésticos é a principal estratégia de controle para reduzir a geração de impacto ao meio ambiente e sobretudo aos recursos hídricos. O tipo de tratamento de esgoto a ser empregado está relacionado ao grau de remoção de poluentes ao qual se deseja atingir, podendo ser submetido a tratamento preliminar, primário, secundário e terciário (VON SPERLING, 2005; JORDÃO E PESSÔA, 2011). A eficiência das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é avaliada por meio de diversos parâmetros físico-químicos, sendo a Demanda Química de Oxigênio (DQO) um dos principais indicadores da carga orgânica presente no efluente. No entanto, a análise de DQO requer o uso de reagentes tóxicos, equipamentos específicos e tempo de resposta mínimo de três horas, o que pode comprometer a agilidade necessária nas ações corretivas do processo de tratamento.

O tratamento de esgoto da ETE Santa Helena é realizado por sistema de lodo ativado por Reator em Batelada Sequencial (RBS) desde 2019. Comparados a outros tipos de tratamento biológico, uma das vantagens dos sistemas por lodos ativados é a elevada eficiência de tratamento (JORDÃO e PESSÔA, 2011). O tratamento biológico de esgoto, segundo Von Sperling (2005), é efetuado por meio de reações bioquímicas, realizadas por micro-organismos em condições aeróbias e anaeróbias, visando à degradação de compostos carbonáceos e eventualmente nutrientes. Entre as várias opções, a mais empregada mundialmente é o sistema de lodos ativados (VON SPERLING, 2005), cujos trabalhos pioneiros foram desenvolvidos no início da década de 1880, na Inglaterra, por Angus Smith (METCALF e EDDY, 2016).

Neste contexto, a turbidez foi avaliada como parâmetro alternativo, por apresentar tempo de análise inferior a 10 minutos e não demandar reagentes perigosos. O presente estudo visa analisar a correlação entre turbidez e DQO, contribuindo para a implementação de ferramentas auxiliares ao controle operacional em ETEs.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a correlação entre os parâmetros de turbidez e Demanda Química de Oxigênio (DQO) em amostras de efluente tratado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Santa Helena, a fim de propor uma metodologia alternativa que permita estimar, com rapidez e confiabilidade, a carga orgânica presente no efluente por meio da análise de turbidez. Busca-se, com isso, oferecer uma ferramenta complementar ao controle operacional, promovendo agilidade na tomada de decisões, redução de custos laboratoriais e minimização da geração de resíduos perigosos, sem comprometer a eficiência do processo de tratamento.,

METODOLOGIA

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Santa Helena, localizada no município de Santa Helena (Figura 1), região oeste do Estado do Paraná, e operada pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. A unidade adota o processo de lodo ativado em batelada, com capacidade projetada para atender uma população de aproximadamente 25 mil habitantes.

Para avaliar a viabilidade do uso da turbidez como parâmetro indicativo da carga orgânica no efluente tratado, foram coletadas amostras em três pontos distintos da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Santa Helena (Figura 2): afluente bruto, efluente do reator SBR 1 e efluente do reator SBR 2. As coletas foram realizadas quinzenalmente, no período de janeiro de 2023 a outubro de 2024, conforme o Plano de Controle Operacional da unidade.



Figura 1 - Localização da área de estudo.



Dados do mapa ©2025 Google

A análise de turbidez foi realizada in loco pelo operador da ETE, utilizando turbidímetro portátil, conforme procedimento descrito na Instrução Técnica IT/LAB/0027. Os resultados foram anotados manualmente e posteriormente inseridos no sistema Unilablite. Paralelamente, as mesmas amostras foram encaminhadas ao Laboratório Regional de Esgoto, onde foi realizada a análise de DQO segundo a Instrução Técnica IT/LAB/0615, por meio de digestão química com uso de reagentes específicos e leitura fotométrica.

Figura 2 - SBR 1 E SBR 2 DA ETE SANTA HELENA.



Com os dados organizados, foram elaborados gráficos de dispersão relacionando os valores de turbidez (eixo x) e DQO (eixo y), com aplicação de regressão linear para obtenção das equações de tendência. Essa modelagem estatística permitiu estimar a DQO a partir da leitura da turbidez, facilitando o diagnóstico operacional de maneira mais ágil.

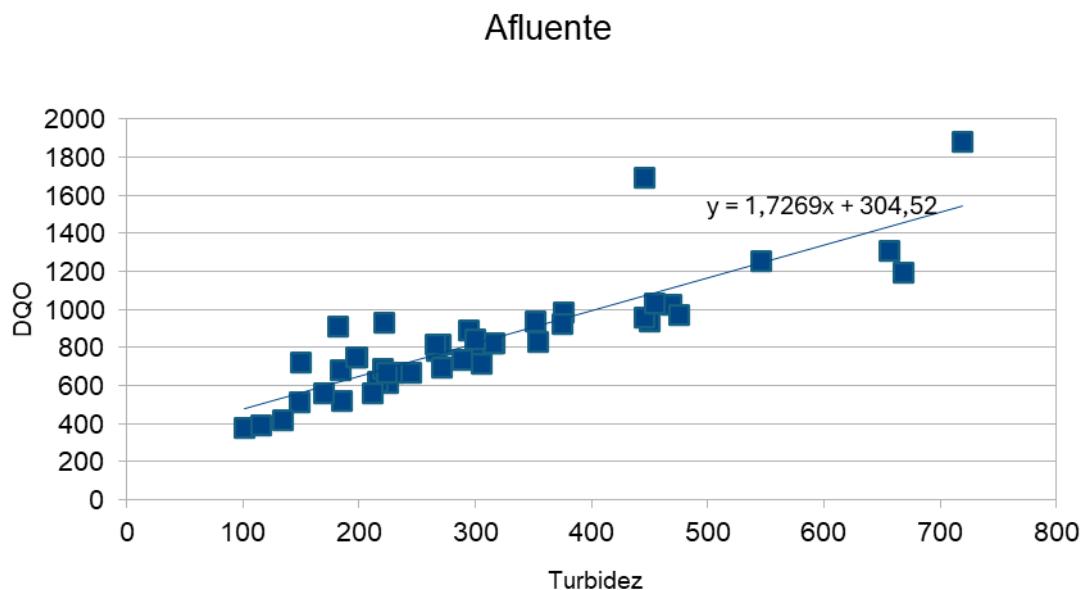
RESULTADOS E DISCUSSÃO



A avaliação da correlação entre os parâmetros de turbidez e Demanda Química de Oxigênio (DQO) em diferentes pontos da ETE Santa Helena permitiu identificar tendências e comportamentos distintos em relação à eficiência do tratamento e à composição das amostras. Os dados foram analisados com base na regressão linear entre os valores medidos de turbidez e as respectivas concentrações de DQO, obtendo-se equações específicas para cada ponto de amostragem: afluente, efluente do SBR 1 e efluente do SBR 2.

No ponto de afluente (Gráfico 1), a relação observada foi representada pela equação $DQO = 1,7269 \times \text{turbidez} + 304,52$. Essa regressão evidenciou uma tendência linear positiva, indicando que aumentos na turbidez estão associados a aumentos na carga orgânica. O coeficiente angular de 1,7269 indica um acréscimo estimado de aproximadamente 1,73 mg/L O₂ para cada unidade de turbidez, enquanto o valor constante de 304,52 mg/L O₂ sugere a presença de matéria orgânica dissolvida não particulada, típica do esgoto bruto. Contudo, verificou-se uma dispersão significativa dos dados, resultado da alta variabilidade intrínseca do afluente, influenciada por fatores como horário de coleta, infiltrações e uso doméstico. Por esse motivo, a aplicação do modelo neste ponto deve ser restrita a fins exploratórios ou de triagem rápida, não sendo recomendada para controle decisório sem validação estatística mais robusta.

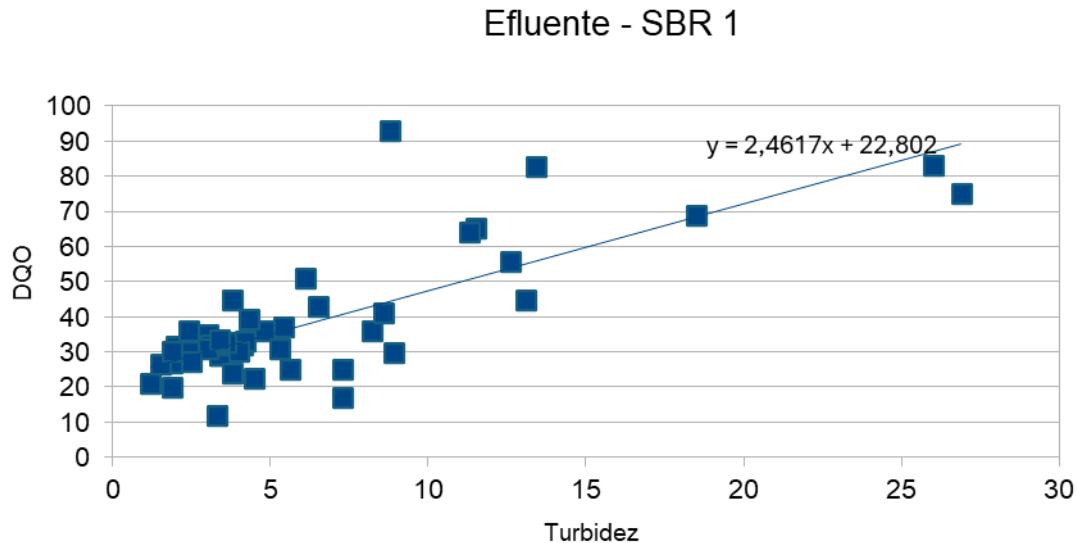
Gráfico 1 – Resultados da correlação entre turbidez e DQO do Afluente.



No efluente do SBR 1 (Gráfico 2), observou-se a correlação mais expressiva, com a equação $DQO = 2,4617 \times \text{turbidez} + 22,802$. O coeficiente angular indica uma forte associação entre turbidez e matéria orgânica remanescente no efluente, com acréscimo estimado de 2,46 mg/L O₂ por unidade de turbidez. A constante da equação (22,802 mg/L O₂) representa a fração de DQO residual não relacionada à turbidez. A baixa dispersão dos dados, principalmente na faixa de turbidez entre 0 e 10 NTU, reforça a confiabilidade do modelo neste ponto. A turbidez mostrou-se, portanto, um indicador operacional eficiente da DQO, sendo aplicável na rotina da ETE para resposta rápida a desvios e apoio ao controle de processo, recomendada para embasar decisões críticas sem validação estatística complementar ou suporte de dados adicionais.

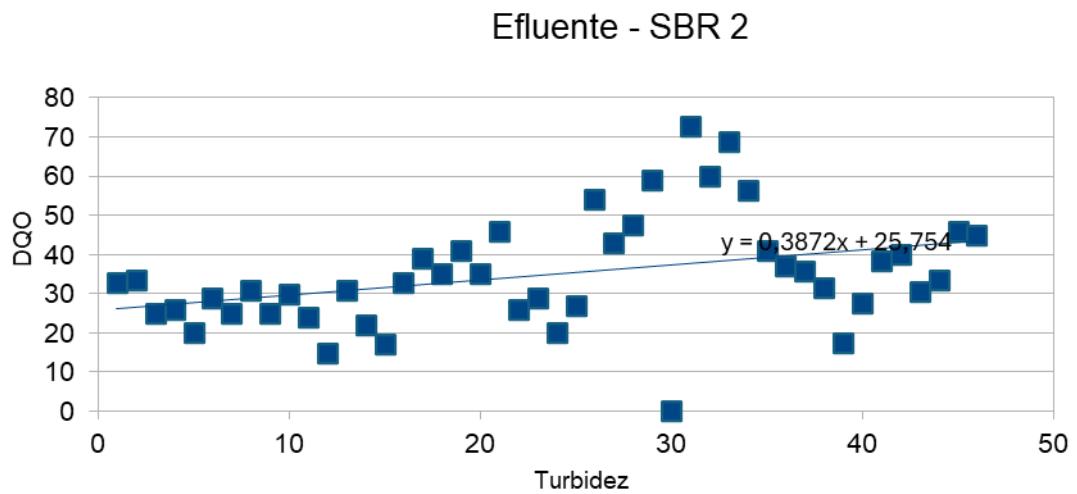


Gráfico 2 - Resultado da correlação entre turbidez e DQO do SBR 1.



No ponto de efluente do SBR 2 (Gráfico 3), a correlação foi mais fraca, resultando na equação $DQO = 0,3872 \times$ turbidez + 25,754. O baixo coeficiente angular (0,3872) indica menor sensibilidade do modelo, possivelmente relacionada à maior estabilidade do processo neste reator ou à presença de sólidos não orgânicos interferindo na turbidez. A análise gráfica revelou uma maior dispersão dos dados, especialmente na faixa de turbidez entre 25 e 40 NTU, indicando influência de outros fatores no comportamento do parâmetro. Assim, embora a turbidez possa oferecer indicações preliminares sobre a qualidade do efluente do SBR 2, seu uso como estimativa direta da DQO deve ser feito com cautela, preferencialmente como ferramenta de triagem complementar.

Gráfico 3 - Resultado da correlação entre turbidez e DQO do SBR 2.



De modo geral, os resultados obtidos demonstram que a turbidez pode ser utilizada como parâmetro indicativo da DQO com níveis distintos de confiabilidade conforme o ponto de amostragem. Destaca-se sua aplicabilidade no SBR 1 como ferramenta de apoio ao monitoramento operacional, contribuindo para maior agilidade na gestão do processo de tratamento e na tomada de decisões internas da ETE.

CONCLUSÃO



O presente estudo demonstrou que a análise de turbidez pode ser utilizada como ferramenta complementar na estimativa da carga orgânica, representada pela Demanda Química de Oxigênio (DQO), em diferentes pontos da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Santa Helena. A correlação linear entre os dois parâmetros variou conforme o ponto de amostragem, sendo mais consistente no efluente do SBR 1, onde a regressão apresentou elevada aderência aos dados. Nesse ponto, a turbidez mostrou-se um excelente indicativo da DQO, com forte aplicabilidade para o controle operacional da unidade.

No afluente e no efluente do SBR 2, a correlação foi mais fraca, refletindo a complexidade e variabilidade desses pontos. Ainda assim, as equações obtidas podem ser utilizadas para triagens rápidas e como apoio à rotina de operação, desde que aplicadas com critérios e validação periódica.

A utilização da turbidez como estimativa indireta da DQO trouxe benefícios como a redução no tempo de resposta, economia de insumos laboratoriais e diminuição na geração de resíduos perigosos. Recomenda-se, portanto, a continuidade da aplicação dessa prática na ETE Santa Helena e a realização de estudos semelhantes em outras unidades da companhia, com o objetivo de ampliar a implementação de ferramentas analíticas rápidas, sustentáveis e de baixo custo no setor de saneamento.

A implementação dessa prática possibilita maior agilidade na identificação de desvios no processo de tratamento, redução de custos com insumos laboratoriais e diminuição na geração de resíduos perigosos, como aqueles contendo mercúrio, cromo e ácido sulfúrico, comumente utilizados na determinação convencional de DQO.

Ainda que as estimativas obtidas por turbidez não substituam a análise formal exigida pela legislação ambiental, elas se mostraram úteis para o monitoramento interno e a tomada de decisão em tempo hábil. Recomenda-se a continuidade do uso da turbidez como ferramenta complementar na rotina de operação da ETE Santa Helena, bem como a realização de estudos semelhantes em outras unidades da companhia, considerando as características específicas de cada sistema de tratamento.

RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se:

- A adoção sistemática da análise de turbidez como parâmetro auxiliar para o controle operacional da ETE Santa Helena, especialmente no efluente do reator SBR 1, onde foi observada maior correlação com a DQO.
- A atualização dos procedimentos operacionais da unidade, incorporando a equação de estimativa da DQO à rotina de monitoramento semanal, de forma a orientar ações corretivas com maior agilidade.
- A replicação da metodologia em outras Estações de Tratamento de Esgoto da companhia, precedida de estudos locais de correlação entre os parâmetros, a fim de validar equações específicas para cada unidade.
- A avaliação periódica da relação entre turbidez e DQO, visando garantir a confiabilidade dos resultados ao longo do tempo, considerando possíveis variações sazonais ou operacionais.
- O incentivo à substituição gradual de métodos analíticos que utilizam reagentes perigosos, sempre que possível, por técnicas alternativas validadas internamente para fins de controle operacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. Washington, D.C., 2017.
2. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgoto Doméstico. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.
3. METCALF, L.; EDDY, H. P. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. Trad. de Ivanildo Hespanhol e José Carlos Mierzwa. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.



4. SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Instrução Técnica IT/LAB/0027 – Determinação de Turbidez. Curitiba, 2025.
5. SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Instrução Técnica IT/LAB/0615 – Determinação de DQO. Curitiba, 2025.
6. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.