

I-1591 – AVALIAÇÃO DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TURBIDEZ E SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS NA ÁGUA BRUTA, DESCARGA DE DECANTADOR E ÁGUA DE RETROLAVAGEM DE FILTRO DE ETA PARA USO EM PROJETOS DE TRATAMENTO DE LODO

Jessica Rodrigues Pires da Silva⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Mestre em Tecnologias Ambientais e Sustentabilidade pelo New York Institute of Technology, Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Especialista de processos de tratamento de água e esgoto na Rio+Saneamento.

Rosana Eleva Ivanuk⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidad Nacional Tecnológica (Argentina), com diploma revalidado pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Coordenadora de qualidade na Rio+Saneamento.

Felipe Siqueira Baida⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Especialista em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Gerente de QSMA da Rio+ Saneamento.

Nelson Ricardo da Silva Carvalho⁽¹⁾

Engenheiro de produção e Administrador de Empresas pela UNESA, Engenheiro de segurança do trabalho pela Universidade Católica de Petrópolis, com MBA - Qualidade, Segurança, Saúde, Meio Ambiente e Responsabilidade Social pela FUNCEFET, MBA - Desenvolvimento Sustentável e Economia Circular pela PUC - RS. Superintendente de sustentabilidade na Rio+Saneamento.

Endereço⁽¹⁾: Rua Victor Civita, 66 - Jacarepaguá – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22775-044 - Brasil - Tel: (21) 997285-8242 - e-mail: jessica.psilva@riomaissaneamento.com.br

RESUMO

Pela conveniência de se ter o histórico de turbidez das Estações de Tratamento de água (ETA), medido de 2h em 2h, costuma-se utilizar a turbidez para estimar indiretamente os Sólidos Suspensos Totais (SST) para uso em projetos de tratamento de lodo de ETA, adotando um coeficiente que relaciona ambas variáveis, normalmente entre 1,0-2,0. Entretanto, o uso desses coeficientes tem limitações, na medida em que a relação SST x turbidez é geralmente específica para cada tipo de água. Nesse trabalho foi explorada a relação SST x turbidez em duas ETAs, considerando quatro correntes: água bruta captada, água de descarte de decantador e água de lavagem dos filtros ao início e ao final da lavagem. A ETA A é de ciclo completo abastecida por manancial superficial (rio) e a ETA B é de filtração direta abastecida por represa. Todas as correntes da ETA B apresentaram um ajuste insatisfatório dos dados SST x turbidez por regressão linear (r^2 igual ou inferior a 0,11), enquanto que as correntes da ETA A mostraram ajuste aceitável por regressão linear (r^2 igual ou superior a 0,37). Esses resultados experimentais mostraram que, para correntes com baixos valores de turbidez em um manancial do tipo represa, e com histórico de elevada densidade de cianobactérias, como é o caso da ETA B, o valor de turbidez não pode ser utilizado para estimar indiretamente o SST em projetos de desaguamento do lodo, sob risco de errar grosseiramente a carga real de sólidos presentes no balanço de massa. Os resultados também mostraram que o uso de coeficientes genéricos da literatura para relacionar SST e turbidez pode ser inadequado, mesmo quando foi possível estabelecer uma correlação aceitável entre estes parâmetros. Foi o caso da ETA A, pois o coeficiente mais adequado para água bruta na ETA A, por exemplo, foi 0,275, enquanto o coeficiente para descarga do decantador da ETA A foi 345, ambos fora da faixa de literatura de 1,0-2,0. Assim, corrobora-se a recomendação que a relação SST x turbidez seja estudada caso a caso antes de iniciar um projeto de tratamento de lodo de ETA, evitando sempre que possível o uso de coeficientes genéricos.

PALAVRAS-CHAVE: Coeficiente de correlação, Lodo de ETA, Sólidos Suspensos da Água, Tratamento de lodo, Turbidez da Água

INTRODUÇÃO

Sólidos Suspensos Totais (SST) referem-se a pequenas partículas sólidas que se mantêm em suspensão em uma solução. Para projetos de tratamento de lodo gerado nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), uma variável de extrema importância é a massa de SST gerado por unidade de tempo (vazão mássica) nas diferentes correntes aquosas do processo, pois essas vazões mássicas serão as determinantes para o correto balanço de massa e subsequente projeto dos tanques e equipamentos para equalização das vazões e desaguamento do lodo. Entretanto, não é usual realizar análise de SST em ETAs haja visto que a legislação de referência para potabilidade de água, a Portaria GM/MS nº888/21 (BRASIL, 2021) não exige o monitoramento contínuo deste parâmetro. Entretanto, esta portaria de referência exige o monitoramento da turbidez de 2h em 2h. A turbidez corresponde a redução da transparência da água, sendo uma propriedade ótica que mede como a água dispersa a luz (Oliveira & Queiroz, 2018). A quantificação de luz refletida aumenta em conformidade com a quantidade de material particulado em suspensão, assim sendo, a turbidez possui reconhecidamente uma relação com SST (Tarleton, 2015).

Pela conveniência de se ter o histórico de turbidez em uma ETA, medido de 2h em 2h, é usual utilizar a turbidez para estimar indiretamente o SST para uso em projetos de tratamento de lodo, adotando um coeficiente que relaciona ambas variáveis (Ferreira Filho, 2020). Pode-se utilizar um coeficiente entre 1,0 a 2,0, obtido com base em um ajuste linear de um gráfico SST X turbidez. Esse ajuste deve ter um coeficiente de determinação (r^2) próximo a pelo menos 0,5 para ser considerado aceitável (Ferreira Filho, 2020).

Entretanto, o uso de coeficientes tem limitações, na medida em que a relação SST x turbidez é geralmente específica para cada tipo de água (Ferreira Filho, 2020). Espera-se uma diferença de na correlação entre turbidez e sólidos em suspensão dependendo, por exemplo, das propriedades óticas de uma suspensão, que dependem do tamanho, formato e índice de refração dos sólidos suspensos (Lopes et al. 2009; Tarleton, 2015).

Nesse trabalho, buscou-se a determinação dos coeficientes de correlação a partir da análise dos dados experimentais de SST e turbidez de 02 (duas) ETAs. Em seguida, avaliou-se a viabilidade do uso da turbidez para determinação indireta do SST em diferentes correntes do processo de tratamento de água.

OBJETIVO

Os objetivos do estudo foram:

- i) Determinar o coeficiente de correlação experimental entre os parâmetros SST e turbidez em quatro diferentes correntes de grande importância para projetos de tratamento de lodo, utilizando – se de dados reais de produção de 02 (duas) ETAs. As quatro correntes são:
 1. Água bruta captada;
 2. Água da retrolavagem dos filtros no início da lavagem (período com a maior concentração de SST);
 3. Água da retrolavagem dos filtros ao final da lavagem (período com a menor concentração de SST);
 4. Água da descarga do fundo dos decantadores.
- ii) Avaliar o coeficiente de correlação de cada corrente para determinar se é ou não adequado seu uso para cálculo indireto do SST, visando obtenção de dados para o balanço de massa em projetos de tratamento de lodo.

Espera-se que este trabalho contribua para a geração de conhecimento para aplicação em circunstâncias similares, isto é, concessionárias ou operadoras de ETAs que precisem elaborar balanço de massa da ETA para fins de projetos de tratamento de lodo, mas possuem dados primários históricos somente de turbidez das correntes de interesse, e não de SST. A metodologia aplicada neste trabalho para determinação e avaliação dos coeficientes para cálculo indireto de SST poderá ser replicada. Além disso, embora rigorosamente somente uma análise caso a caso permitirá determinar os coeficientes de correlação de turbidez e SST e a viabilidade de uso deles, entende-se que os resultados ora apresentados permitirão um balizamento inicial do cenário que concessionárias/operadores poderão esperar.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado em duas Estações de Tratamento de Água, ETA A e ETA B. A ETA A possui capacidade nominal de 25 L/s é do tipo ciclo completo, contendo as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração rápida e pós-tratamento (cloração, ajuste de pH, etc). O manancial que abastece a ETA é superficial (rio). A ETA B possui capacidade nominal de 70 L/s é do tipo filtração direta, contendo as etapas de filtração rápida e pós-tratamento (cloração, ajuste de pH, etc). O manancial que abastece a ETA B é superficial (represa).

Na ETA A foram coletadas diariamente amostras de água bruta e a água da retrolavagem dos filtros no início e no final da lavagem. A água de descarga do fundo do decantador foi coletada toda vez que foi feito o descarte do decantador, com periodicidade aproximada a cada 15 dias, podendo ser período de tempo maior ou menor que esse a depender das condições operacionais da estação, que ditam a necessidade de descartes mais ou menos frequentes para manter a qualidade da água tratada. Na ETA B foram coletadas diariamente amostras de água bruta e a água residual da retrolavagem dos filtros no início e no final da lavagem.

Para cada amostra, foram analisadas as variáveis SST (unidade mg/L) e turbidez (unidade UNT). Os métodos de análises dos parâmetros foram todos de acordo com a literatura de referência (APHA, 2012). O período de coleta de amostras foi de outubro a novembro de 2022.

Conforme metodologia de Ferreira Filho (2020), procedeu-se a construção da curva de correlação entre a turbidez e o SST. Incluiu-se o cálculo da equação da reta utilizando regressão do tipo linear, e cálculo do coeficiente de determinação (r^2). Como o valor de r^2 representa a qualidade do ajuste linear dos dados, ele foi utilizado como parâmetro para avaliação dos coeficientes encontrados, devendo o valor estar próximo a pelo menos 0,5, conforme Ferreira Filho (2020).

Definiu-se como sendo a “faixa de turbidez típica” aquela que representa 90% de todos os dados experimentais de turbidez. Essa faixa foi calculada da seguinte forma: o limite inferior da faixa corresponde ao mínimo (menor valor) de todo o conjunto de dados, e o limite superior da faixa corresponde ao percentil 90%. Por este cálculo, 90% dos valores de turbidez encontrados em todo o período do estudo são menores ou iguais ao limite superior da faixa, sendo o menor valor também representado, como o limite inferior.

RESULTADOS

As Figuras 1 e 2 apresentam os resultados experimentais com ajuste dos dados feito por regressão linear e obtenção do coeficiente de determinação para as ETA A e B, respectivamente.

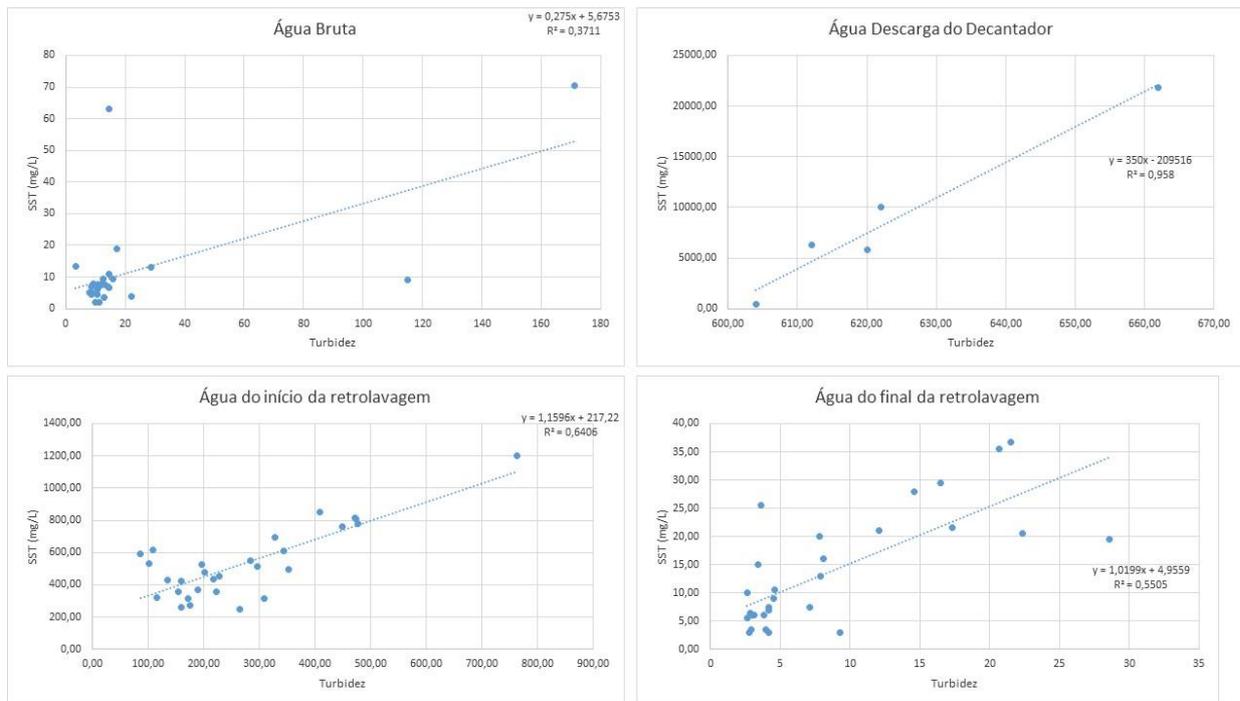


Figura 1: resultados experimentais da ETA A

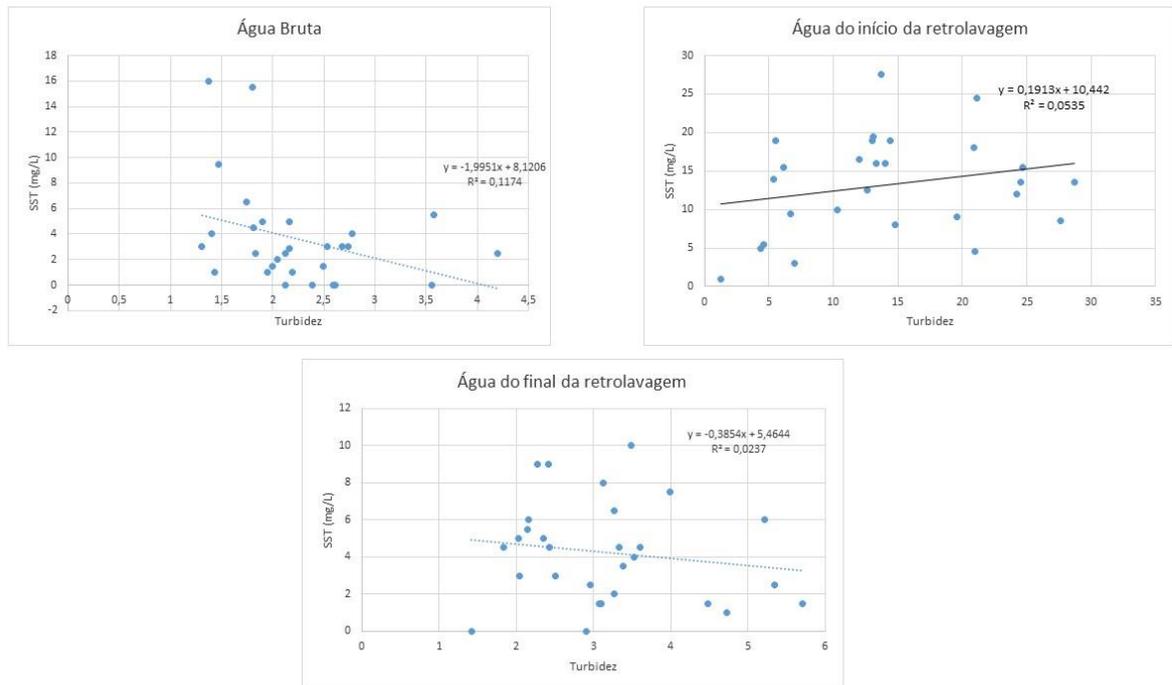


Figura 2: Resultados experimentais da ETA B

A Tabela 1 resume os coeficientes de relação entre SST e turbidez calculados com base nos dados experimentais e apresenta a faixa de turbidez típica, definida na seção de metodologia.

| PONTO AMOSTRADO | ETA A | | | ETA B | | |
|---|-----------------------------|----------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------|------------------------------------|
| | Coefficiente SST x turbidez | r ² | Faixa de turbidez recorrente (UNT) | Coefficiente SST x turbidez | r ² | Faixa de turbidez recorrente (UNT) |
| Água bruta | 0,275 | 0,3711 | 3,3-23,5 | -1,995 | 0,1174 | 1,3-2,9 |
| Água da retrolavagem dos filtros no início da lavagem | 1,1596 | 0,6406 | 86,6-471,4 | 0,1913 | 0,0535 | 1,3-24,5 |
| Água da retrolavagem dos filtros ao final da lavagem | 1,0199 | 0,5505 | 2,6-20,9 | -0,3854 | 0,0237 | 1,42-4,8 |
| Água da descarga do fundo dos decantadores | 350 | 0,9580 | 447-17116 | Não existe decantador | | |

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Todas as correntes da ETA B apresentaram um ajuste insatisfatório dos dados por regressão linear. Essas correntes possuem em comum valores de turbidez baixos, 90% das vezes abaixo de 25 UNT. Esses resultados mostram que não foi possível estabelecer uma correlação entre turbidez e SST nesses casos.

Tarleton (2015) apresentou evidências que a níveis muito baixos turbidez (< 1 UNT), o uso de coeficientes para converter turbidez e SST não fazia sentido, e os resultados da ETA B corroboram este resultado, mas mostram que não faz sentido pensar em correlações até mesmo em faixas de 1-25 UNT, para o caso estudado. A perda de linearidade nas baixas concentrações possivelmente tem relação com o erro experimental dos métodos de análise de SST e turbidez (o impacto do erro é proporcionalmente maior quando as concentrações são muito baixas) e com as características físico-químicas da água. Para o caso particular da ETA B, trata-se de uma água bruta de represa, onde há histórico de ocorrência frequente de cianobactérias, com densidade em faixa acima de 50.000 células/mL. Sabe-se que pode haver uma relação inversa entre densidade de cianobactérias e turbidez da água; maiores valores de turbidez afetam diretamente a entrada de luz na água, e consequentemente, podem inibir o crescimento das cianobactérias. Por outro lado, mesmo com pico de cianobactérias a turbidez se mantém baixa (Ferraz, 2012), e efetivamente a turbidez a água bruta da ETA é sempre muito baixa (90% das vezes é menor ou igual a 2,9 UNT). Como cianobactérias têm biomassa e contribuem para formação de SST, cria-se uma distorção com valores de SST mais elevados e turbidez baixa, impossibilitando uma correlação nesse caso, o que, possivelmente, contribuiu para o péssimo ajuste linear em todas as correntes da ETA B no presente estudo.

Por outro lado, obtiveram-se ajustes satisfatórios com os dados da ETA A, na maioria dos casos igual ou superior ao encontrado na literatura de referência, que é um r² de 0,5 (Ferreira Filho, 2020). O decantador da

ETA A, que tem a maior concentração de SST e turbidez, chegou a r^2 de 0,958. O resultado indica que quanto maior a turbidez, maior a relação com o SST e esta relação é bem representada por uma reta. Entretanto, embora o ajuste linear dos dados tenha sido satisfatório na ETA A, os coeficientes obtidos somente se encontram na faixa típica da literatura (entre 1,0 e 2,0) nas correntes de água de retrolavagem (conforme Tabela 1).

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que para correntes com baixos valores de turbidez em um manancial do tipo represa, com histórico de elevada densidade de cianobactérias, o valor de turbidez não pode ser utilizado para estimar indiretamente o SST. Conseqüentemente, valores de turbidez não podem ser utilizados como parâmetro para balanço de massa em projetos de tratamento de lodo, sob pena de errar grosseiramente a carga real de sólidos presentes no balanço de massa e sub ou superestimar o projeto de desaguamento dos sólidos. Esta conclusão é válida para água bruta e para água de retrolavagem de filtros. Assim sendo, nesses casos é fundamental o monitoramento direto do SST, que deve ser realizado para fins de criação de banco de dados para uso em projetos de tratamento de lodo.

Para faixas de turbidez maiores e mananciais que não apresentam elevada densidade de cianobactérias, os resultados deste trabalho indicam que pode ser adequado usar o valor de turbidez para estimar indiretamente SST, pois foi possível estabelecer uma correlação aceitável (r^2 em torno de 0,4-0,9) entre estes parâmetros. Entretanto, é de fundamental importância ressaltar que tal conclusão não valida automaticamente o uso de coeficientes genéricos encontrados na literatura para fazer a correlação entre SST e turbidez. No caso em questão, o uso de coeficientes entre 1,0-2,0 conduziria a um grande erro ao fazer a estimativa para a água bruta e água de descarga do decantador, pois os coeficientes experimentais encontrados nesses casos foram 0,275 e 350, respectivamente.

Os resultados experimentais deste estudo podem ser interpretados como uma anuência à proposição de que a relação SST x turbidez é bastante específica para cada tipo de água sendo, portanto, necessário estudar caso a caso a relação entre SST e turbidez antes de se propor um cálculo indireto de SST a partir de dados de turbidez. Isso se torna especialmente importante em se tratando de ETAs cujos mananciais apresentam características de baixa turbidez associada com ocorrência habitual de cianobactérias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - SMEWW. 22 ed. American Public Health Association, 2012.
2. BRASIL, Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Brasília, 2021.
3. FERRAZ, H.D.A. Associação da Ocorrência de cianobactérias às variações de parâmetros de qualidade de água em quatro bacias hidrográficas de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, p. 81. 2012.
4. FERREIRA FILHO, S.S. Tratamento de Água - Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento. 1. ed. GEN LTC, 2017. 472 p.
5. LOPES, G.R., et al. Estudo sobre correlação entre turbidez e sólidos em suspensão para estimativa da vazão sólida em uma pequena bacia, XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019.
6. OLIVEIRA, J.R., QUEIROZ, T.M. Relação sólidos/turbidez no rio Grande Vermelho - MT: afluente do rio Paraguai na cabeceira do Pantanal. Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, p.201-209, 2018.
7. TARLETON, S. Progress in Filtration and Separation. 1. ed. Elsevier, 2015. 684 p.