

I-1080 – PROPOSIÇÃO DE UMA NOVA ABORDAGEM DE ESTIMATIVA DE MASSA SECA GERADA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO PARANÁ

Silvia Fernanda Paffrath⁽¹⁾

Engenheira de Produção Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Engenharia Civil – Meio Ambiente pela UTFPR. Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com período sanduíche na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, Portugal. Engenheira na área de projetos de tratamento de água na Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

Ramiro Gonçalves Etchepare⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Luterana do Brasil. Mestre e Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGE3M), com período sanduíche na Delft University of Technology (TUD, Holanda). Professor Adjunto da Universidade Federal do Paraná (UFPR), integrando o colegiado do Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA).

Endereço⁽¹⁾: Rua Fioravante Dalla Stella, 262 – Cristo Rei – Curitiba - PR - CEP: 80050-150 - Brasil - Tel: (41) 99943-0462 - e-mail: silviafp@sanepar.com.br

RESUMO

As estações de tratamento de água (ETAs) que operam por processos convencionais de tratamento produzem elevadas quantidades de lamas, denominadas de lodos de ETAs e que são enquadrados como resíduos sólidos em países da América Latina, União Europeia e nos Estados Unidos. Uma importante etapa no gerenciamento de lodos consiste na redução do volume a ser disposto, sendo necessária a correta quantificação de lodo produzido nas estações, realizada muito frequentemente a partir de equações empíricas da literatura, que consideram as características da água bruta, como sólidos suspensos totais (SST) ou a Turbidez (T) conjuntamente com um coeficiente de multiplicação para se obter SST, e reagentes adicionados no tratamento da água. Em virtude das diferenças qualitativas das águas utilizadas para abastecimento e pelas diferentes características dos reagentes, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a aplicabilidade dessas equações e propor uma nova abordagem de estimativa de massa seca gerada em ETAs localizadas na Unidade Hidrográfica (UH) Pirapó, Paranapanema 3 e 4 do estado do Paraná, a partir das correlações reais entre T e SST. Para isso, utilizou-se um histórico de dados desses parâmetros em águas brutas da UH citada e, com a aplicação de métodos estatísticos, obteve-se uma nova equação para determinação de SST a partir de T. Também foram verificados os precipitados dos produtos químicos utilizados no tratamento, a partir de relações estequiométricas com a água, para compor a parcela de lodo gerada a partir dos produtos, a qual, somada com a parcela resultante da qualidade da água bruta, deu origem à nova equação de estimativa de massa seca gerada em ETAs dessa região. Para comparação dos resultados obtidos com a nova equação com aqueles das equações da literatura, foi selecionada uma ETA nessa região e feitas medições reais da massa seca gerada, a partir do lodo desaguado destinado. Os resultados obtidos com as medições e com a aplicação das equações da literatura tiveram diferenças de 28 a 65%, dependendo da equação, significativamente maiores que a diferença que se obtém quando se compararam os valores reais com a nova equação proposta, de -0,64%. Considerar as características locais da água e dos reagentes químicos utilizados no tratamento é, portanto, indispensável para um cálculo mais preciso da produção de lodo em ETAs. Acredita-se que a nova abordagem proposta neste trabalho possa aperfeiçoar o dimensionamento de estações de tratamento de lodo, especialmente em novas ETAs, onde não são possíveis medições reais para determinar a massa seca gerada, situação bastante comum no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA; Quantidade de Lodo; Gerenciamento de Lodo.

INTRODUÇÃO

As diferentes fontes de água bruta utilizadas para abastecimento público demandam a aplicação de diferentes processos de tratamento, a depender da qualidade da água captada, sendo o tratamento convencional de ciclo completo o mais utilizado em diversos países, entre eles o Brasil. Na etapa de separação sólido-líquido, os resíduos gerados são comumente chamados de lodos de ETAs (LETAs), podendo ser classificados como resíduos sólidos, perigosos ou orgânicos, conforme a normativa vigente no país (ABNT, 2004). As concessionárias e operadores de água devem, portanto, seguir as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) para o gerenciamento de LETAs, sendo obrigatória a sua destinação ambientalmente adequada. Para reduzir os custos das diversas atividades e operações do gerenciamento de LETAs, são utilizados processos para a remoção da água presente nos LETAs, sendo que o seu dimensionamento é altamente dependente de suas características quali-quantitativas, que variam com a qualidade da água bruta captada, os reagentes químicos usados no tratamento, entre outros fatores.

Para a caracterização quantitativa é comumente empregado o método estimativo a partir de equações empíricas da literatura (AWWA, 1978; AWWA, 1999; REALI, 1999; RICHTER, 2009), que utilizam como variáveis, em sua maioria, a concentração de sólidos suspensos totais (SST) da água bruta e os precipitados dos produtos químicos usados na estação de tratamento de água (ETA). Na ausência de dados de SST, é comum a utilização da turbidez (T) e a multiplicação por um coeficiente, sugerindo uma relação linear entre os parâmetros. Em algumas pesquisas foi avaliada a correlação entre SST e T e concluiu-se que ela é altamente local, devendo ser analisada em cada caso para evitar subdimensionamento nas unidades projetadas para desaguar o lodo e envio de excedente para o corpo hídrico, ou superdimensionamentos e investimentos superfaturados (KATAYAMA *et al.*, 2015; THACKSTON e PALERMO, 2000; AHMAD *et al.*, 2017).

No estado do Paraná, que conta com 168 estações de tratamento de água do tipo convencional operadas por uma única concessionária em todo o estado e fornecendo cerca de 100 mil m³.h⁻¹ de água potável, estima-se que sejam gerados anualmente centenas de milhares de toneladas de lodo, sendo fundamental a sua caracterização precisa para adequado gerenciamento desses resíduos.

Em virtude de haver diferentes Bacias ou Unidades Hidrográficas (UHs) do Paraná, que regionalizam as características das águas dos mananciais, e devido ao fato de que a quantidade de lodo gerado em uma ETA depende dessas características, uma alternativa de caracterização quantitativa é a proposição de um novo modelo regionalizado para estimativa de produção de massa seca em ETAs, a partir da verificação da correlação entre SST e T de cada UH. Assim, o objetivo geral deste trabalho é propor uma nova equação de produção de massa seca (PMS) em ETAs situadas nas UH Pirapó, Paranapanema 3 e Paranapanema 4 e comparar os resultados com as quantidades de lodo desaguado destinado.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Verificar a real correlação entre T e SST da água bruta dos mananciais da UH citada;
- Comparar os resultados obtidos para PMS com nova correlação entre os parâmetros com aqueles das equações da literatura;
- Verificar o erro obtido quando da comparação das equações da literatura com a quantidade de lodo desaguado destinado em ETA da UH.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para cumprir os objetivos do trabalho, foram seguidas as etapas metodológicas descritas a seguir.

HISTÓRICO DE DADOS – ANÁLISES DE SST e T

Foram utilizados resultados de análises de SST e T na água bruta afluyente às ETAs representadas na Figura 1, pertencentes à UH Pirapó/Paranapanema 3 e 4, sendo o tamanho de amostra (n) igual a 43 dados.

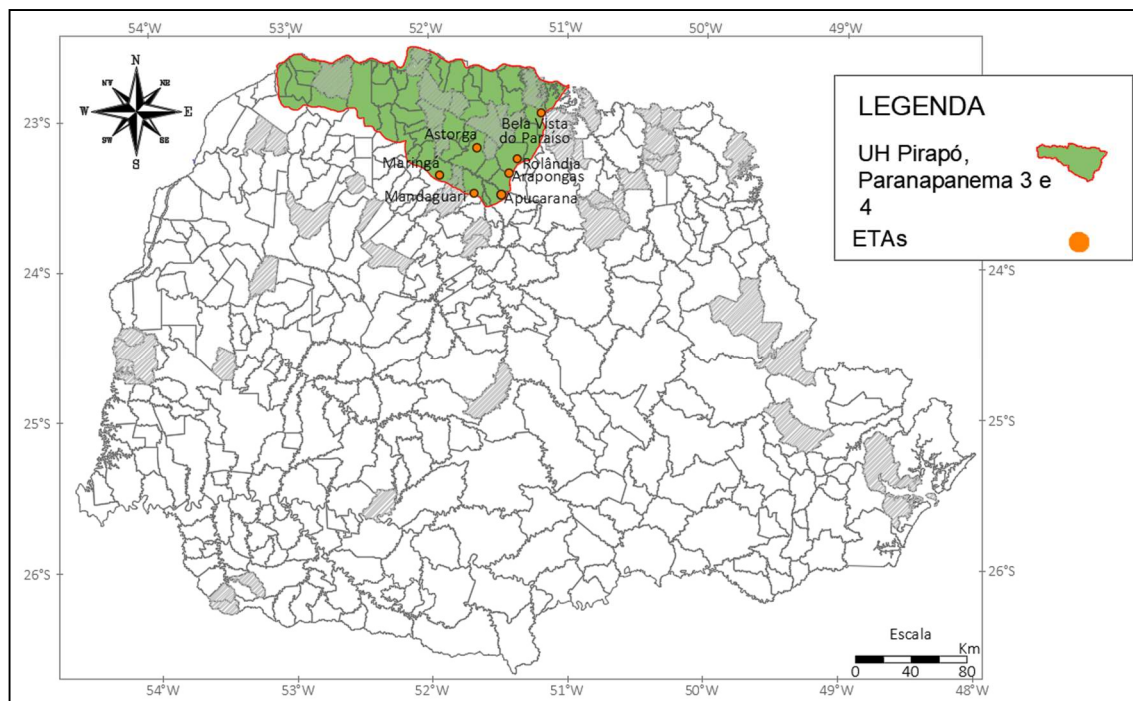


Figura 11 – Estado do Paraná com ETAs da UH Pirapó, Paranapanema 3 e 4.

ANÁLISE DE DADOS – CORRELAÇÃO ENTRE SST e T

Para a parcela de lodo produzida a partir das características da água bruta, isto é, a partir da concentração de sólidos suspensos totais, foi verificada a correlação entre SST e T da UH a partir da análise de dados conforme etapas da Figura 2.

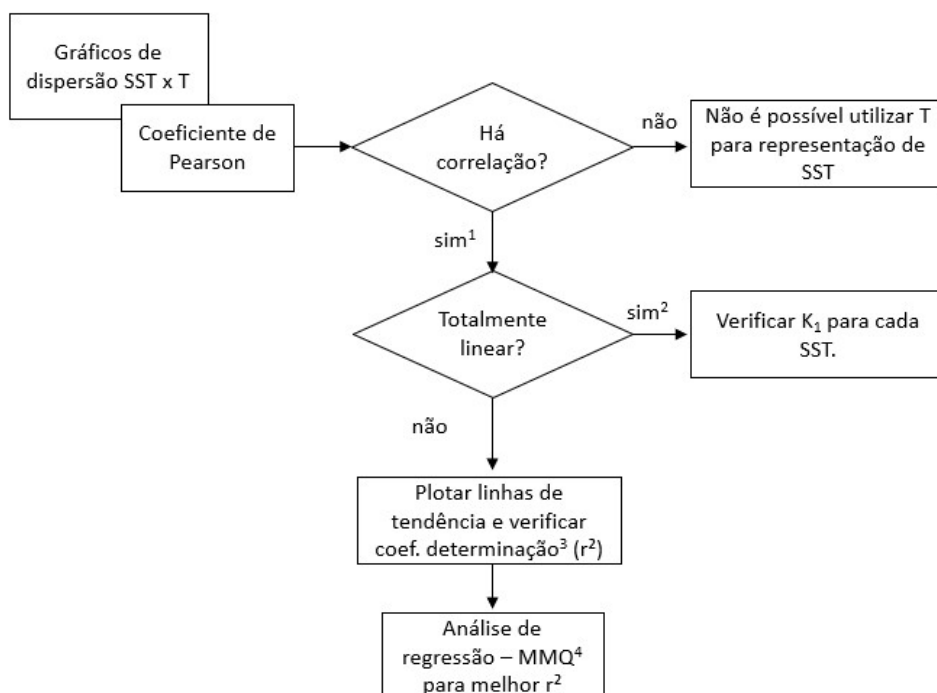


Figura 22 – Etapas para proposição de novas equações.

1: conforme grau de correlação, sendo acima de 0,70, fortes e acima de 0,90, muito fortes (DANCEY & REIDY, 2006; CALLEGARI-JACQUES, 2003); 2: se correlação de Pearson é igual a

1; 3: determinado por: $r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$ (numerador igual à soma dos quadrados devido à regressão, que representa a diferença entre sua média e o valor de y que seria previsto a partir da relação de regressão e o denominador, à soma total dos quadrados, ou a variação nos valores de y em torno de sua média aritmética acrescido pelas variações inexplicadas - valores de y que não são explicados pela regressão). Quanto mais próximo de 1,00, melhor a correlação; 4: Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) após linearização, resolvendo o sistema:

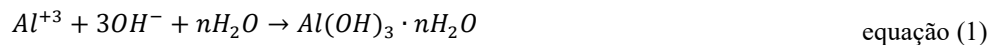
$$\begin{cases} na + (\sum_{i=1}^n x_i)b = \sum_{i=1}^n y_i \\ (\sum_{i=1}^n x_i)a + (\sum_{i=1}^n x_i^2)b = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases}$$

Com novo modelo, verificam-se os pressupostos de adequabilidade: normalidade, homoscedasticidade, independência e linearidade (LEVINE *et al.*, 1998).

COEFICIENTE DE MULTIPLICAÇÃO – PRODUTOS QUÍMICOS

Para a parcela de lodo oriunda dos precipitados dos produtos químicos adicionados nas ETAs, sobretudo o coagulante, e considerando que aquele utilizado nas ETAs da área de estudo é o policloreto de alumínio (PAC), e que seu coeficiente K não é disponibilizado na maior parte das equações da literatura, foi feito o cálculo desse coeficiente conforme a relação de massas molares do produto químico e de seu precipitado, e a concentração do produto em função do alumínio adicionado.

A precipitação dos sais de alumínio em meio aquoso se dá da seguinte forma:



sendo n o número de águas de hidratação (variando de 1 a 3), para o máximo valor de n, a massa molar do precipitado será 132 g. Sendo a massa molar do alumínio igual a 27 g, para cada 1 mg.L⁻¹ de Al adicionado no tratamento, serão gerados 4,89 mg.L⁻¹ de sólidos (132 g / 27 g).

Para obter a relação de sólidos gerados a partir da adição de 1 mg.L⁻¹ de PAC, identificou-se o percentual de Al presente a partir da concentração de alumina (Al₂O₃) e da concentração massa/massa (informações fornecidas pelo fabricante).

NOVA EQUAÇÃO PARA PMS NA UH

A nova equação de estimativa de PMS na UH foi formulada a partir da soma da parcela de lodo gerada a partir de: a) características da água bruta, ou seja, da concentração de SST, que por sua vez é determinada a partir de T (correlação obtida nas etapas anteriores); e b) precipitados do coagulante, utilizando-se K obtido nas etapas anteriores.

APLICAÇÃO DA NOVA EQUAÇÃO E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

A partir de dados operacionais de determinada ETA no ano de 2021, foi calculada a produção de massa seca obtida a partir da nova equação proposta (PMSe) e aquela real da estação (PMSd), calculada a partir da quantidade de lodo desaguado destinado (LDD).

Ainda, foi realizada também a comparação com os resultados obtidos a partir das equações de PMS da literatura.

RESULTADOS

ANÁLISE DE DADOS – CORRELAÇÃO ENTRE SST E T

Do histórico de análises de SST e T nas águas de abastecimento da UH de estudo, verificou-se que o coeficiente de Pearson obtido entre os parâmetros foi de 0,86, ou seja, a relação entre eles não é totalmente linear.

Pela plotagem de diversas curvas de tendência, conforme Figura 3, observou-se que aquela com melhor R² foi a polinomial de grau 2.

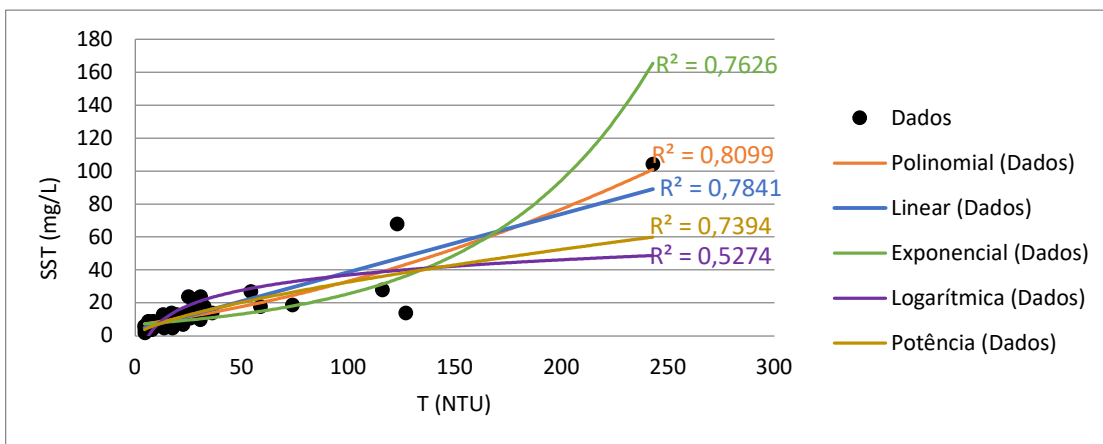


Figura 33 – Curvas de tendência para o histórico de dados.

Com a aplicação da análise de regressão polinomial, por meio do método dos mínimos quadrados, obtiveram-se os coeficientes a, b e c, dos polinômios $y = ax^2 + bx + c$ para a UH, nos quais $y = SST$ e $x = T$, sendo: $a = 0,0009$; $b = 0,182$; $c = 6,4182$, com determinação de SST a partir de T conforme Equação 2.

$$SST = 0,0009 \cdot T^2 + 0,182 \cdot T + 6,4182$$

equação (2)

O atendimento aos pressupostos de adequabilidade do modelo foi verificado a partir dos gráficos das Figuras 4 e 5.

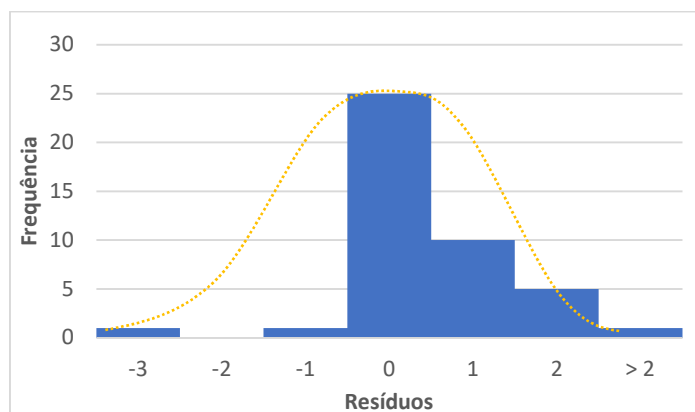


Figura 4 – Gráfico de frequência de resíduos da regressão. UH Pirapó, Paranapanema 3 e Paranapanema 4.

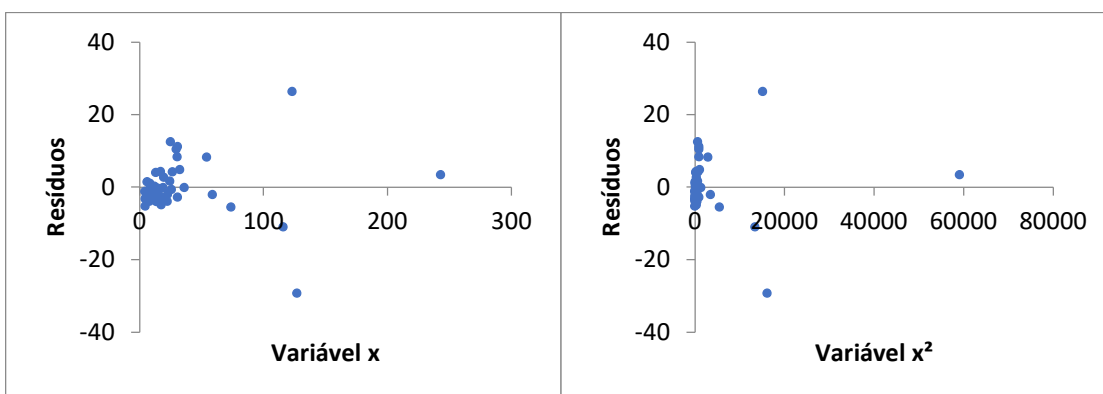


Figura 5 – Gráficos de resíduos de cada variável. À esquerda: Variável x - UH PP3e4. À direita: Variável x^2 - UH PP3e4

COEFICIENTE DE MULTIPLICAÇÃO – PRODUTOS QUÍMICOS

Para o valor de K, quando utilizado PAC, a concentração do produto é igual a 37% massa/massa e possui 10,7% de Al_2O_3 (102 g.mol^{-1}), resultando em 29% de Al_2O_3 ($1/37\% \times 10,73\% = 29\%$) e 15,3% de Al ($54/102 \times 29\%$) no produto. Assim, para cada 1 mg.L^{-1} de PAC adicionado, são gerados $0,751 \text{ mg.L}^{-1}$ de sólidos ($15,35\% \times 4,89 \text{ mg.L}^{-1}$), sendo esse o valor do coeficiente de multiplicação pela dosagem do reagente.

NOVA EQUAÇÃO PARA PMS NA UH

A nova equação de PMS na UH de estudo resultante dos cálculos anteriores é dada na Equação 3:

$$PMS = 0,0009 \cdot T^2 + 0,182 \cdot T + 6,4182 + 0,751 \cdot D_{PAC} \quad \text{equação (3)}$$

sendo:

- PMS = produção de massa seca, em kg.m^{-3} ;
- T= Turbidez da água bruta, em NTU;
- DPAC = dosagem de cloreto de polialumínio, em mg.L^{-1} .

APLICAÇÃO DA NOVA EQUAÇÃO E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Aplicando a nova equação em ETA localizada na UH, foi obtida a produção de massa seca PMSe mensal de janeiro a outubro de 2021. Os valores foram comparados à produção de massa seca que se obtém a partir das quantidades de lodo desaguado destinado (LDD), denominada de PMSd. Os resultados e a comparação entre cada PMS encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados PMS e comparação entre resultados

Mês	T água bruta (NTU)	D _{PAC} (mg.L ⁻¹)	LDD (kg.mês ⁻¹)	PMSd ¹ (kg.mês ⁻¹)	PMSe ² (kg.mês ⁻¹)	Diferença PMSs (%)
Jan/21	46,4	7,6	62.170	20.516	15.529	-37,46%
Fev/21	62,2	69,9	73.800	24.354	52.012	62,02%
Mar/21	93,4	8,4	83.060	27.410	25.651	-7,99%
Abr/21	21,0	4,8	55.870	18.437	9.857	-101,53%
Mai/21	23,9	5,3	50.400	16.632	10.513	-67,89%
Jun/21	15,2	4,8	33.350	11.006	8.602	-32,59%
Jul/21	11,0	4,6	36.870	12.167	7.893	-63,16%
Ago/21	7,7	6,3	18.400	6.072	8.476	33,08%
Set/21	11,9	8,7	68.790	22.701	10.442	-136,93%
Out/21	115,6	11,0	69.930	23.077	32.232	33,13%
			Soma período	182.371	181.206	-0,64%

¹ teor médio de sólidos no lodo desaguado = 33%; ² aplicada três vezes a eficiência de 95%.

Ambos os resultados de produção de massa seca anteriores (PMSe e PMSd) foram comparados com aqueles que resultam de algumas equações da literatura (mostradas na Tabela 2). Os valores obtidos e as diferenças entre resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 – Equações de estimativa de massa seca gerada em ETAs.

Referência	Equações
AWWA (1978)	$PMS = 3,5 \times 10^{-3} \cdot T^{0,66}$ equação (1)
RICHTER (2009)	$PMS = \frac{0,2 \cdot C + K_1 \cdot T + K_2 \cdot D}{1000}$ equação (2)
AWWA (2010)	$PMS = \frac{(0,44 \cdot D_{SA} + 2,9 \cdot D_{FE} + 0,8 \cdot D_{PAC}) + SST + OA}{1000}$ equação (3)

PMS = massa de sólidos secos produzida em kg.m⁻³ de água tratada; C = cor da água bruta, em °H; T = turbidez de água bruta, em NTU; D = dosagem de coagulante, em mg.L⁻¹; D_{SA} = se sulfato de alumínio, D_{FE} = para dosagem em mgFe.L⁻¹, D_{PAC} = se cloreto de polialumínio; SST = sólidos em suspensão na água bruta, em mgSST.L⁻¹ (expresso como $b \cdot T$, com b entre 0,7 a 2,2); OA = outros aditivos, em mg.L⁻¹; K₁ = entre 0,5 a 2,0; K₂ = 0,26, 0,40 e 0,54, para sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato férrico, respectivamente.

Tabela 3 – Resultados PMS conforme equações

Dados operacionais				Produção de massa seca (kg.mês ⁻¹)				
Mês	T água bruta (NTU)	D _{PAC} (mg.L ⁻¹)	Cor (uH)	Conforme lodo desaguado destinado	Nova equação proposta	AWWA (1978)	RICHTER ¹ (2009)	AWWA ² (2010)
Jan/21	46,4	7,6	105	20.516	15.529	30.377	57.491	50.579
Fev/21	62,2	69,9	171	24.354	52.012	37.693	93.973	103.050
Mar/21	93,4	8,4	223	27.410	25.651	47.712	114.850	97.025
Abr/21	21,0	4,8	46	18.437	9.857	18.053	26.060	23.700
Mai/21	23,9	5,3	55	16.632	10.513	19.575	29.858	26.759
Jun/21	15,2	4,8	40	11.006	8.602	13.944	19.156	17.097
Jul/21	11,0	4,6	30	12.167	7.893	11.256	14.133	12.959
Ago/21	7,7	6,3	20	6.072	8.476	9.014	10.469	10.842
Set/21	11,9	8,7	29	22.701	10.442	12.267	16.155	16.570
Out/21	115,6	11,0	274	23.077	32.232	54.337	140.455	119.119
Soma				182.371	181.206	254.228	522.600	477.699
Dif. (%)				-	-0,64%	28%	65%	62%

1 Utilizado K₁ = 1,3, citado pelo autor como mais usual, e K₂ = 0,26, dado para outro coagulante à base de sal de alumínio; 2 utilizado K₁ = 1,45, sendo valor médio entre o intervalo dado pelo autor.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir das curvas de tendência plotadas para os parâmetros SST e T da água bruta das ETAs da UH Pirapó, Paranapanema 3 e 4, verificou-se que a relação linear sugerida na literatura para os parâmetros não é aplicável nessa região, já que aquela que apresentou melhor coeficiente de determinação R² foi a polinomial de grau 2, compatível com algumas pesquisas que sugeriram essa correlação (CHAGAS, 2015; NAVRATIL *et al.*, 2011).

O coeficiente calculado para multiplicação pela dosagem de PAC também difere daqueles dados para sais de alumínio em equações da literatura, sendo recomendável, portanto, avaliar a relação entre massas molares de reagentes e de seus precipitados sempre que possível, para confirmação do K.

A partir da comparação entre os resultados de massa seca obtidos com a nova equação (PMSe) e os obtidos a partir das quantidades de lodo desaguado destinado (PMSd), e considerando os somatórios dos períodos, obteve-se a diferença de -0,64%, validando a equação proposta para estimativa do lodo gerado nessa ETA.

Ainda, com a aplicação de equações da literatura para cálculo de massa seca gerado na estação no mesmo período, e a comparação dos resultados com aqueles resultantes da quantidade de lodo desaguado destinado, verificou-se diferenças de 28 a 65%, dependendo da equação.

CONCLUSÕES

Na UH Pirapó, Parapanema 3 e Parapanema 4, do estado do Paraná, verificou-se que a correlação entre SST e turbidez da água bruta não é linear como sugerido na literatura, mas é dada por um polinômio de grau 2. Utilizando a correlação adequada para os parâmetros, tem-se uma estimativa de massa seca gerada em ETAs mais próxima da quantidade real, o que não pode ser observado quando utilizam-se as equações da literatura, sem considerar essas diferenças na água bruta.

Para a ETA do estudo, em todos os casos, os valores de massa seca obtidos a partir das equações da literatura foram maiores que aqueles medidos (escala plena) na ETA, o que provavelmente resulta em superdimensionamentos e maiores custos de investimentos em estruturas de deságue de lodo, caso tal abordagem convencional seja adotada em projetos. O presente trabalho comprova a necessidade da verificação da correlação entre SST e T na água bruta utilizada para abastecimento e o potencial do novo modelo regionalizado de estimativa de massa seca gerada em ETAs para melhor gerenciamento destes resíduos e dimensionamento de equipamentos para deságue.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AFEE - ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE DES EAUX. Levesque, L. Traitement des boues de stations de production d'eau potable. l'Office International de l'eau (OIEAU): Paris, 1982.
2. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004 – Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 77p.
3. AHMAD, Tariq; AHMAD, Kafeel; ALAM, Mehtab. Sludge quantification at water treatment plant and its management scenario. Environmental Monitoring and Assessment, India, 2017.
4. AWWA – American Water Works Association. Water Treatment Plant Sludges. Journal, v. 70, n. 9, 1978.
5. AWWA – American Water Works Association. Water quality and treatment: a handbook of Community water supplies. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
6. BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010. Diário Oficial da União. Casa Civil, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em 12 nov 2018.
7. CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003.
8. CHAGAS, Denize S. Relação entre concentração de sólidos suspensos e turbidez da água medida com sensor de retroespalhamento óptico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015.
9. DANCEY, Christine; REIDY, John. Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre, Artmed, 2006.
10. KATAYAMA, Victor T.; MONTES, Caroline P.; FERRAZ, Thadeu H.; MORITA, Dione M. Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 20, n. 4, p.559-569, dez. 2015.
11. LEVINE, David M.; BERENSON, Mark L.; STEPHAN, David. Estatística: Teoria e Aplicações Usando Microsoft Excel em Português. Rio De Janeiro, LTC, 1998.
12. REALI, Marco A. P.. Principais características quantitativas e qualitativas de lodo de ETAs. In: REALI, Marco A. P. (Coord). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Projeto PROSAB.
13. RICHTER, Carlos. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Blucher, 2009.
14. THACKSTON; PALERMO. Improved methods for correlating turbidity and suspended solids for monitoring. ERDC TN-DOER, 2000.
15. NAVRATIL, O.; ESTEVES, M.; LEGOUT, C.; GRATIOT, N.; NEMERY, J.; WILMORE, S.; GRANGEON, T. Global uncertainty analysis of suspended sediment monitoring using turbidimeter in a small mountainous river catchment. Journal of Hydrology, 2011.