



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DE GERAÇÃO DE LODO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Tales, AGUIAR¹; Poliana, ARRUDA²; Wanderlei, JESUS³; António, ALBULQUERQUE⁴; Paulo Sérgio, SCALIZE⁵

¹Mestrando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, talesaguiar@hotmail.com

²Doutoranda em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, arrudaifg@gmail.com

³Graduando em Engenharia Civil, Faculdade Objetivo, Goiânia, Brasil, wanderlei6@hotmail.com

⁴Professor Auxiliar, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, antonio.albuquerque@ubi.pt

⁵Professor Associado I, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, pscalize.ufg@gmail.com

Resumo

As Estações de Tratamento de Água (ETA) em seus processos removem as impurezas da água que juntamente com os produtos químicos adicionados ao tratamento dão origem aos resíduos, que devem ser tratados e dispostos corretamente. Diferentes fórmulas empíricas foram desenvolvidas para estimar a produção desse resíduo, devido a importância de sua quantificação, já que é utilizado para a administração dos ciclos de descarga e para dimensionamento dos sistemas de tratamento do resíduo, bem como da localidade de sua disposição. O objetivo da pesquisa foi verificar entre as equações que estimam a produção de resíduo qual equacionamento se tem igualdade estatística com a medição real. Em uma ETA foram realizadas três coletas de água: bruta, tratada, água de lavagem dos filtros e do lodo de decantador. Os resultados dos parâmetros analisados foram aplicados nas equações: Richter (2001), AWWA (1996), Dillon (1996), AFEE (1993), Kawamura (1991), APHA, (2012). Verificou-se que a produção de lodo foi maior no mês de novembro devido ao início do período chuvoso e que o único método, AFEE (1993), propiciou, estatisticamente ($\alpha=0,05$), uma estimativa igual à medição real.

Palavras-chave: Resíduo de ETA, Gerenciamento de resíduos, Abastecimento de água, turbidez, produção de água.

Tema:7 - Serviços de abastecimento, drenagem e tratamento de águas



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

1. INTRODUÇÃO

O resíduo de tratamento de água para abastecimento público é composto, entre outros por partículas coloidais, substâncias húmicas e sólidos removidos da água bruta durante as etapas do tratamento. A geração desses resíduos é um problema enfrentado pelas estações de tratamento de água (ETA) uma vez que sua destinação requer pré-tratamentos e cuidados sanitários (Abo-El-Enein et al., 2017).

A tecnologia de tratamento de água mais difundida e aplicada mundialmente é a do ciclo completo, que envolve as etapas da coagulação química com posterior floculação e sedimentação, precedida pela filtração rápida e desinfecção (Manamperuma et al., 2017). Essa tecnologia confere ao resíduo desaguado uma característica de teor de sólidos totais variando entre 0,1 a 4% (Richter, 2001) além de maior volume de lodo gerado, em comparação com outras tecnologias, o que faz com que se tenham maiores gastos operacionais no tratamento desse resíduo e na sua destinação final, além de representar de 1 a 3% (Castro et al., 1997) da vazão de água tratada da ETA, acarretando em perdas de água na estação.

Em adição ao problema operacional e econômico, atrelados à geração de lodo, está a problemática dos efeitos prejudiciais ao meio ambiente. No Brasil, a maioria dos resíduos provenientes de ETA é retornada para o manancial de abastecimento na sua forma *in natura*, incorrendo em riscos sanitários (Achon et al., 2013). Contudo, tal resíduo deve ter destinação final correta, seja o encaminhamento para aterros sanitários, ou alternativas mais remediadoras como o seu aproveitamento em substituição a matéria-prima convencional na fabricação de blocos cerâmicos, na recuperação de áreas degradadas por erosão, como matriz para produção de concreto e como material adsorvente para remoção de metais pesados (Hoppen et al., 2006; Abo-El-Enein et al., 2017).

Portanto, o conhecimento da quantidade gerada de resíduo do tratamento configura importante passo para otimização da administração de uma ETA. Para determinar-se essa quantidade, diferentes fórmulas empíricas foram desenvolvidas, sendo incorporados parâmetros que fossem mais acessíveis às ETAs, como é o caso da cor e turbidez, principalmente para o desenvolvimento de estudos prévios à implantação das ETAs.

Nesse cenário, o objetivo do trabalho é a comparação entre as equações que estimam a produção de resíduo e a produção real medida *in loco* para determinação de qual equacionamento se tem igualdade estatística com a medição real, e, portanto, é a mais recomendada para ser utilizada para realização de um monitoramento contínuo, uma vez que não sejam feitas as medições na quantidade real gerada, devido à impraticidade gerada pelos métodos de determinação de sólidos frente à simples medição de turbidez, cor aparente e dosagem de coagulante, que já são rotineiras nas ETAs.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é a ETA Engº Rodolfo José da Costa e Silva, localizada na cidade de Goiânia, Goiás, Brasil e tem como manancial de captação o Rio Meia Ponte. A tecnologia de



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

tratamento empregada é de ciclo completo e como coagulante utiliza-se o sulfato de alumínio. A ETA possui três decantadores convencionais com raspadores mecanizados e descargas automatizadas, além de seis filtros com lavagem do tipo sistema ar-água e fluxo em contra corrente.

A água de lavagem dos filtros (ALF) e o lodo do decantador (LD) são encaminhados para uma lagoa de sedimentação de lodo, sendo o seu sobrenadante encaminhado para o manancial a jusante do ponto de captação.

Foram realizadas três campanhas de amostragem, nos dias 28/11/2017, 23/01/2018 e 24/01/2018, com coletas de amostra em quatro pontos: chegada de água bruta, nas saídas de água tratada e da ALF e da descarga dos decantadores.

As amostras de água tratada e bruta foram coletadas em intervalos de 2 horas, durante um período de 12 horas em cada dia. As amostras de ALF e LD foram feitas de maneira composta, contemplando a retirada de material durante todo o ciclo diário.

Os valores de vazão, dosagem de coagulante turbidez e cor foram disponibilizados por meio dos boletins informativos pela Companhia Estadual de Saneamento. Os parâmetros de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Suspensos Totais (SST) foram realizados de acordo com *Standard Methods* (APHA; AWWA; WEF, 2012) no Laboratório de Análises de Água (LAnA) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

A quantidade de lodo gerada foi determinada pelo somatório dos resíduos resultantes do decantador e do filtro, sendo multiplicado pelo volume e quantidade diária de descargas de ambos. Como as amostragens foram realizadas em intervalos de 2 horas, considerou-se que nesse período as características se mantiveram uniformes. As fórmulas empíricas utilizadas para as estimativas estão dispostas na Tabela 1.

A comparação foi determinada através do valor absoluto de massa seca bruta de resíduo gerada, no conjunto dos 3 dias analisados, pelos métodos de medida. Foi considerado o mais preditivo aquele método que estatisticamente se apresentou igual ao valor medido *in loco*. Através dos dados fez-se uma ANOVA clássica e, posteriormente, valendo-se do teste de Tukey e da diferença mínima significativa, com nível de significância de 5%, determinou-se os grupos estatísticos.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

Tabela 1. Métodos utilizados para quantificação do resíduo gerado.

Método	Equação
	$S = (0,2 C + k_1 T + k_2 D) 10^{-3}$
Richter (2001)	S = Produção de Sólidos secos (kg/m ³ de água tratada); C = Cor da água bruta (uH); T = Turbidez da água bruta (uT); D = Dosagem de coagulante (mg.L ⁻¹); k ₁ = Constante 1,3; k ₂ = Valor usual de 0,26 para coagulante sulfato de alumínio. (1)
	$P = (3,5 \times 10^{-3}) T^{0,66}$
AWWA (1996)	P = Produção de sólidos (kg de matéria seca/m ³ de água bruta tratada); Turbidez da água bruta (uT). (2)
	$P = (SS + 0,07 C + H + A) 10^{-3}$
Dillon (1996)	P= Produção de Sólidos (kg de matéria seca/m ³ de água bruta tratada); SS= sólidos em suspensão na água bruta (mg.L ⁻¹); C= Cor na água bruta (Uc); H= Coagulante (mg.L ⁻¹); A= outros aditivos, tal como polímero (mg.L ⁻¹). (3)
	$P = (1,2 Tu + 0,07 C + 0,17 D + A) 10^{-3}$
AFEE (1993)	P= Produção de sólidos (kg de matéria seca/m ³ de água bruta tratada); Tu- Turbidez da água bruta; D= Dosagem de Sulfato de Alumínio (mg.L ⁻¹); C= Cor aparente da água bruta; A= outros aditivos, tal como polímero (mg.L ⁻¹). (4)
	$P = (Al F_{c1}) + (T F_{c2})$
Kawamura (1991)	P= Produção de sólidos (g de matéria seca/m ³ de água bruta tratada); Al = Dosagem de sulfato de alumínio (mg.L ⁻¹); F _{c1} = fator que depende do número de moléculas de água associadas a cada molécula de sulfato de alumínio. Usualmente varia entre 0,23 a 0,26. Foi utilizado o valor de 0,245 por ser o valor médio do intervalo; T = Turbidez da água bruta (uT); F _{c2} = razão entre a concentração de sólidos em suspensão totais presentes na água bruta e turbidez da mesma. Geralmente na faixa de 1,0 a 2,0. Foi utilizado o valor de 1,5, por ser o valor médio do intervalo. (5)
Balanço de massa (APHA, 2012)	$W = ((SST_{AB} Q_{AB}) + (0,26 Al + 0,1 Ad) - (SST_{AT} Q_{AT})) 0,0864$ SST _{AB} = Concentração de sólidos suspensos na água bruta (mg.L ⁻¹); Q _{AB} = Vazão de água bruta (L.s ⁻¹); Al = Adição diária de sulfato de alumínio (mg/s); Ad = Adição diária de cal (mg/s); SST _{AT} = Concentração de sólidos suspensos na água tratada (mg.L ⁻¹); Q _{AT} = Vazão de água tratada (L.s ⁻¹). (6)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantificação do resíduo por coleta evidenciou uma geração maior de resíduo no mês de novembro de 2017, coincidindo com o início do período chuvoso. Nesse período a turbidez média da água bruta de 44,0 uT, enquanto que nas coletas de 23 e 24 de janeiro de 2018, a média desse parâmetro foi de 22,2 e 20,4 uT, respectivamente.

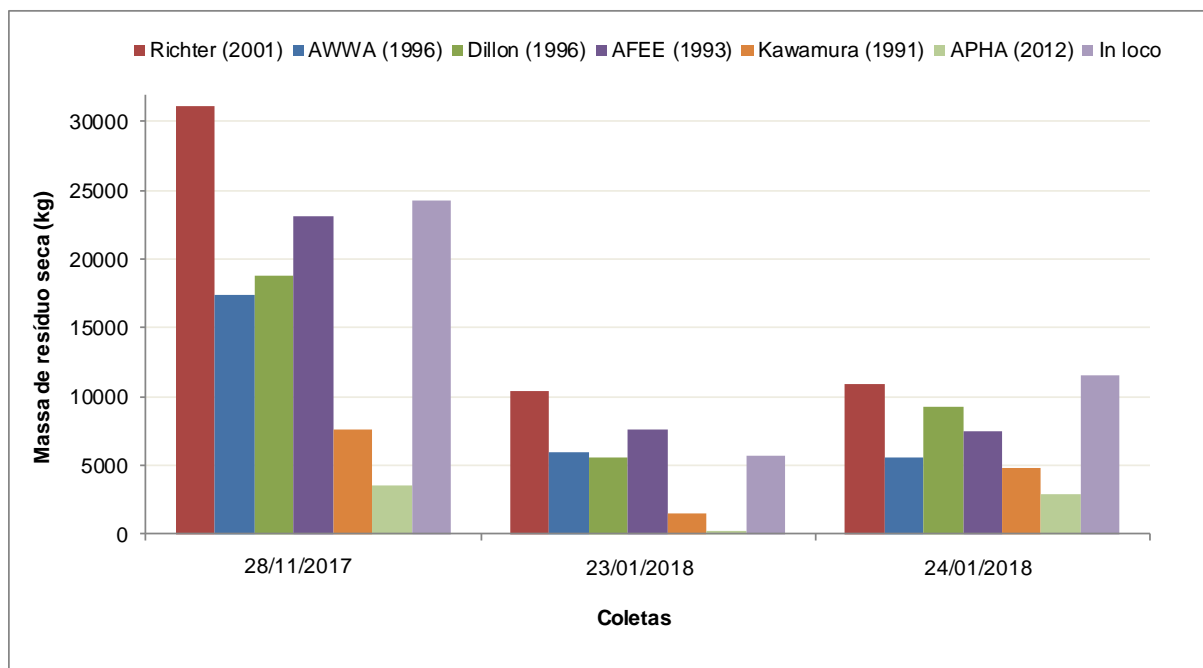


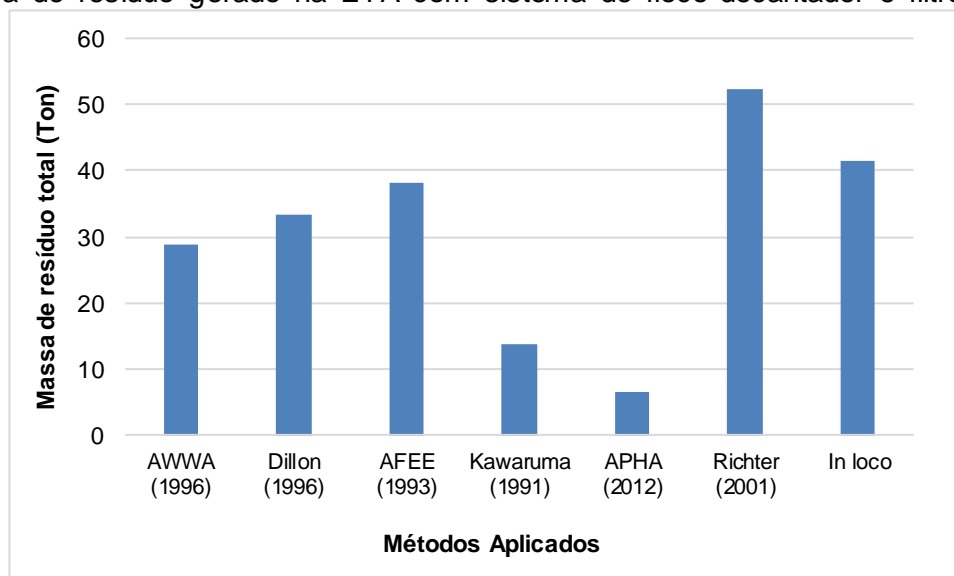
Figura 1. Quantificação do resíduo pelos diferentes métodos por coleta

Nas fórmulas empíricas, a produção de sólidos em um ETA é contabilizada por duas componentes. A primeira está relacionada com sólidos presentes na água bruta, incorporados à fórmula por meio de parâmetros como a turbidez e os SST, admitindo que não há perdas da sua massa durante os processos. Os produtos adicionados à água, como os coagulantes, constituem a segunda componente, podendo se precipitar e serem adsorvidos ou ficarem insolúveis, formando os resíduos (Katayama, 2012).

Quando se observa as equações testadas na presente pesquisa, o parâmetro SST, utilizado na estimativa de sólidos presentes na água, foi substituído pela turbidez nas equações 1,2,4 e 5. Entretanto, as variações dos resultados dos métodos em relação a medição *in loco*, mostrou que não houve um comportamento semelhante devido exclusivamente a esse parâmetro. Apesar da correlação existente entre turbidez e SST, Ribeiro (2007) enfatiza que ensaios devem ser realizados para a ETA de interesse em busca de resultados que traduzam a realidade e as variações sazonais.

O método proposto por Richter (2001) foi responsável pela maior estimativa em todas as coletas, corroborando com resultados de Lopes et al. (2017), que comparou 4 métodos para

estimativa do resíduo gerado na ETA com sistema de floco-decantador e filtro de dupla ação,



atribuindo esse resultado ao parâmetro cor aparente, considerada nessa equação.

Figura 2. Resultados obtidos da massa de resíduo calculada em toneladas pelos diferentes métodos.

Nota-se que houve baixa correspondência entre a medição *in loco* com o balanço de massa, o que não se configura em usual, uma vez que ambos métodos são determinados para ETAs em funcionamento, sendo a predição mais correlata. Nesse caso, pode ter ocorrido uma preponderância dos valores de sólidos sobre a equação do balanço de massa (APHA, 2012), uma vez que ela não leva em consideração os valores de turbidez e cor aparente (Tabela 2).

Tabela 2. Quantificação do resíduo por diferentes métodos e medição *in loco*.

Coletas	Lodo seco gerado (Kg)						
	AWWA (1996)	Dillon (1996)	AFEE (1993)	Kawaruma (1991)	APHA (2012)	Richter (2001)	Medição <i>In loco</i>
28/11/2017	17418,72	18744,81	23106,92	7568,78	3498,91	31089,99	24232,65
23/01/2018	5926,22	5549,50	7571,47	1510,47	234,61	10395,87	5639,95
24/01/2018	5592,86	9184,52	7437,97	4789,35	2888,94	10882,97	11528,28
Total (ton)	28,94	33,48	38,12	13,87	6,62	52,37	41,40

A Tabela 3 mostra que houve a segregação em 5 tipos distintos de métodos aplicados, o que demonstra grande variação dos valores resultantes da aplicação dessas equações, sendo que dos métodos aplicados somente o da AFEE (1993) se igualou à medição *in loco*. O valor de p-valor no teste F, na ANOVA clássica, foi altamente significativo apresentando-se com valor de $2,68 \cdot 10^{-139}$. Em consequência, a diferença mínima significativa entre os métodos (DMS) foi de 37,06 Kg de resíduo.

Tabela 3. Resumo da ANOVA com aplicação do dms por Tukey.

Métodos	Classificação
Ritcher 2001	a
Medição <i>In loco</i>	b
AFEE (1993)	b
Dillon (1996)	c
AWWA (1996)	c
Kawaruma(1991)	d
Balanço de massa APHA (2012)	e



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
NOVOS
DESAFIOS

4. CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu concluir que dentre os métodos empregados para determinar a produção de lodo na ETA estudada foi o AFEE (1993). Para essa ETA, a equação proposta por Ritcher (2001) se mostra superestimada, e, não correlata, estatisticamente à geração real.

Observou-se, também, que houve várias classes estatísticas, o que reflete a alta disparidade entre as metodologias empregadas para o cálculo da produção de lodo, reforçando a importância de estudos que relacionem cada ETA com a sua adequada realidade.

Nota-se que nos três dias que foram amostrados, o comportamento da geração de resíduos foi semelhante, contudo, faziam parte da mesma época sazonal, então, seria interessante expandir o monitoramento para mais dias amostrados e contemplar todas as épocas climáticas.

5. REFERÊNCIAS

ABO-EL-ENEIN, S. A., SHEBL, A., & EL-DAHAB, S. A. (2017). Drinking water treatment sludge as an efficient adsorbent for heavy metals removal. *Applied Clay Science*, 146, 343-349.

ACHON, C. L., BARROSO, M. M., & CORDEIRO, J. S. (2013). Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 18(2), 115-122.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Standard methods for the examination of water and wastewater, vol. 22, Washington, DC, 2012.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. American Society of Civil Engineers; U.S. Environmental Protection Agency (1996). Management of water treatment plant residuals. 294p. New York.

ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE DES EAUX - AFEE. Traitement des boues de stations de production d'eau potable. Paris, AFEE, 1993.

CASTRO, A. D. A., DIAS, A. M. V., RENNÓ, C. R. A., CÉSAR, L. A. S., DEMATTOS, M., & MONTEIRO, T. A. S. (1997). Problema de caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes gerados nas estações de tratamento de água: o caso da unidade de tratamento e recuperação de resíduos-UTR do sistema Rio das Velhas. In Congresso Brasileiro de



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

Engenharia Sanitária e Ambiental, 19 Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 2-FITABES'97 (p. 9). Paraná.

DILLON, Glen (1996). Application guide to waterworks sludge treatment and disposal. [S.l.] Water Research Center.

HOPPEN, C., PORTELLA, K. F., JOUKOSKI, A., TRINDADE, E. M., & ANDREÓLI, C. V. (2006). Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. Química Nova, 29(1), 79.

KATAYAMA, V. (2012). Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. 144 p (Dissertação de Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2012.

KAWAMURA, S (1991). Integrated design of water plant facilities. Ed. 1. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 691p.

LOPES H. T. L.; AZEVEDO, H.L.; SANTOS M. L (2017). Funcionamento e operação da ETA DIMIC e seus impactos na geração de resíduos. 71f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Escola de Engenharia Ambiental e Sanitária - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

MANAMPERUMA, L., WEI, L., & RATNAWEERA, H. (2017). Multi-parameter based coagulant dosing control. Water Science and Technology, 75(9), 2157-2162.

RIBEIRO, F. Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito - MG. 2007, 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.

RICHTER, C. Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água. 1ª ed. São Paulo, SP: Ed. Blucher, 2001, 102p.