



Vértices (Campos dos Goitacazes)

ISSN: 1415-2843

ISSN: 1809-2667

essentia@iff.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia

Fluminense

Brasil

# Produção Teórica de Lodo Utilizando o Coagulante Sulfato de Alumínio nos Decantadores da Estação de Tratamento de Água do Funil em Ouro Preto/MG

Franco, Elton Santos; Marques, Izabel Cristina; Camargo, Júlia Araújo; Almeida, Rafael Alvarenga; Pinto, Daniel Brasil Ferreira; Ferreira, Adriana Alves; Seifert, Leticia Leal; Ferreira, Ana Flávia de Assis

Produção Teórica de Lodo Utilizando o Coagulante Sulfato de Alumínio nos Decantadores da Estação de Tratamento de Água do Funil em Ouro Preto/MG

Vértices (Campos dos Goitacazes), vol. 22, núm. 1, 2020

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Brasil

**Disponível em:** <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=625764859007>

**DOI:** <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v22n12020p100-110>

Este documento é protegido por Copyright © 2020 pelos Autores.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

## Produção Teórica de Lodo Utilizando o Coagulante Sulfato de Alumínio nos Decantadores da Estação de Tratamento de Água do Funil em Ouro Preto/MG

Sludge Theoretical Production Using Aluminum Sulfate Coagulant in the Funil Water Treatment Station Decaners in Ouro Preto, Brazil


Producción teórica de lodo utilizando coagulante de sulfato de aluminio en los decantadores de la Estación de Tratamiento de Agua de Funil en Ouro Preto, Brasil

*Elton Santos Franco*<sup>1</sup>  
*Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Brasil*  
elton.santos@ufvjm.edu.br

DOI: <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v22n12020p100-110>  
Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=625764859007>

 <https://orcid.org/0000-0001-5296-4790>

*Izabel Cristina Marques*<sup>2</sup>  
*Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Brasil*  
izabel.marques@ufvjm.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-5322-1307>

*Júlia Araújo Camargo*<sup>3</sup>  
*Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Brasil*  
camarggo.julia@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4602-1010>

*Rafael Alvarenga Almeida*<sup>4</sup>

---


### NOTAS DE AUTOR

- <sup>1</sup> Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor/Pesquisador no Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) *Campus do Mucuri* – Teófilo Otoni/MG – Brasil. E-mail: elton.santos@ufvjm.edu.br.
- <sup>2</sup> Mestre em Ciência Florestal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK. Professora/ Pesquisadora no Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) *Campus do Mucuri* – Teófilo Otoni/MG – Brasil. E-mail: izabel.marques@ufvjm.edu.br.
- <sup>3</sup> Bacharela em Ciência e Tecnologia; Bacharelada em Engenharia Civil pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) *Campus do Mucuri* – Teófilo Otoni/MG – Brasil. E-mail: camarggo.julia@gmail.com.
- <sup>4</sup> Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor/Pesquisador no Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) – Teófilo Otoni/MG – Brasil. E-mail: rafalmeida\_2005@hotmail.com.
- <sup>5</sup> Doutor em Engenharia de Água e Solo pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Professor/Pesquisador no Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) – Teófilo Otoni/MG – Brasil. E-mail: danielbrasilufvjm@gmail.com.
- <sup>6</sup> Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) – João Monlevade/MG – Brasil. E-mail: dryalves\_88@yahoo.com.br.
- <sup>7</sup> Bacharela em Relações Internacionais e discente em Pedagogia pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) – Rio de Janeiro/RJ – Brasil. E-mail: leleiseifert@gmail.com.
- <sup>8</sup> Bacharela em Ciência e Tecnologia; Engenharia Civil pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) *Campus do Mucuri* – Teófilo Otoni/MG – Brasil. E-mail: anaflavia.assisf@gmail.com.

*Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Brasil*  
rafalmeida\_2005@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3828-7305>

*Daniel Brasil Ferreira Pinto* <sup>5</sup>  
*Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Brasil*  
danielbrasilufvjm@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-6968-8435>

*Adriana Alves Ferreira* <sup>6</sup>  
*Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Brasil*  
dryalves\_88@yahoo.com.br.

 <https://orcid.org/0000-0003-0914-4839>

*Letícia Leal Seifert* <sup>7</sup>  
*Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Brasil*  
leleseifert@gmail.com.

 <https://orcid.org/0000-0003-0965-5794>

*Ana Flávia de Assis Ferreira* <sup>8</sup>  
*Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Brasil*  
anaflavia.assisf@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5683-1917>

Recepción: 27 Septiembre 2018  
Aprobación: 06 Diciembre 2019

## RESUMO:

Objetivou-se neste estudo estimar a produção de lodo nos decantadores da Estação de Tratamento de Água (ETA) Funil, localizada em Ouro Preto – MG, visando fornecer subsídios para atender a legislação vigente, referente ao dimensionamento de Unidades de Tratamento de Resíduos (UTR). Para a estimativa da produção de lodo na forma de sólidos totais e sólidos voláteis, foram aplicadas equações empíricas encontradas na literatura, utilizando-se como parâmetros de entrada os dados da ETA Funil, cedidos pelo Serviço Municipal de Água e Esgoto (SEMAE). Dentre as equações utilizadas, as propostas por Franco (2009) apresentaram maior proximidade do modelo adequado para a ETA Funil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos, Estação de Tratamento de Água, Lodo, Quantificação.

## ABSTRACT:

The objective of this study was to estimate sludge production in the decanters at the Funil Water Treatment Station, located in Ouro Preto, Brazil, in order to provide subsidies to comply with current legislation regarding the design of Waste Treatment Units. To estimate sludge production - in the form of total solids and volatile solids - empirical equations found in the literature were applied, using, as input parameters, the data from the Funil Station, provided by the Municipal Water and Sewage Service. Among the equations used, those formulated by Franco (2009) presented greater proximity to the model suitable for the Funil Station.

**KEYWORDS:** Waste, Water Treatment Stations, Sludge, Quantification.

## RESUMEN:

El objetivo de este estudio fue estimar la producción de lodo en los decantadores de la Estación de Tratamiento de Agua (ETA) Funil, ubicada en Ouro Preto, Brasil, con el fin de proporcionar subsidios para cumplir con la legislación vigente sobre el diseño

de Unidades de Tratamiento de Residuos. Para estimar la producción de lodo en forma de sólidos totales y sólidos volátiles, se aplicaron ecuaciones empíricas encontradas en la literatura, utilizando como parámetros de entrada los datos de la ETA Funil, proporcionados por el Servicio Municipal de Agua y Alcantarillado. Entre las ecuaciones utilizadas, las propuestas por Franco (2009) presentaron una mayor proximidad al modelo apropiado para la ETA Funil.

PALABRAS CLAVE: Residuos, Estación de tratamiento de agua, Lodo, Cuantificación.

## 1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos provenientes das impurezas presentes na água bruta durante o processo de produção de água potável, bem como do uso de substâncias que contribuem para a purificação da mesma, é um dos grandes obstáculos enfrentados pelas Engenharias Sanitária e Ambiental. Isso se deve ao fato de que o lodo gerado a partir da floculação das partículas e acumulado no processo de decantação é caracterizado, de acordo com a Norma ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004), como resíduo sólido, o que torna ilegal seu despejo em corpos hídricos. Além de ser extremamente contaminante em razão da presença de sais de ferro e alumínio nos coagulantes e da carga orgânica proveniente da água bruta, o lodo é também problemático do ponto de vista econômico, tecnológico e ambiental (FRANCO *et al.*, 2017; GONÇALVES *et al.*, 2017).

No Brasil, grande parte das Estações de Tratamento de Água (ETAs) se encontram inadimplentes com relação ao descarte correto dos rejeitos, realizando-o na rede de esgotamento sanitário ou em cursos d'água próximos às estações de tratamento. Segundo Barroso (2009), menos de 0,5% das ETAs do país possui sistemas de remoção de água do lodo e/ou recuperação de água de lavagem de filtros e, na maioria delas, os operadores relatam a existência de problemas operacionais devido às condições precárias de trabalho.

Dentre as características físico-químicas do lodo de ETAs, a concentração de metais presentes é um dos fatores que influencia no alto potencial tóxico desses resíduos. Tal potencial também depende das reações químicas sofridas durante o tratamento da água, forma e tempo de retenção, composição e impureza dos coagulantes, características do curso d'água e outros produtos químicos que são usados no processo (BARROSO; CORDEIRO, 2001).

Face ao exposto, é pertinente o estudo do lodo, o qual, segundo Barbosa *et al.* (2000) e Gonçalves *et al.* (2017), pode inferir toxicidade aos organismos aquáticos e, quando lançado *in natura*, aumentar a degradação dos corpos hídricos. Além disso, é importante considerar que esses efluentes apresentam altas concentrações de sólidos totais, elevada turbidez, alta demanda química de oxigênio (DQO), alterações de coloração, arranjo químico da biota aquática e fatores agravantes para eventual assoreamento, além da presença de metais. Todavia, muitos acreditam que a maior parte dos lodos de decantadores e resíduos de filtração são provenientes da água bruta e precisam retornar à origem. Apesar de tal fato fazer sentido em termos de carga total, geralmente os teores dos sólidos são mais significativos que os encontrados em água bruta.

A Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) do estado de Minas Gerais nº 153/2010, vigente desde 26 agosto de 2010, prevê que as ETAs realizem estudos para o dimensionamento da Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR). A UTR tem como finalidade inibir o descarte do lodo *in natura* no meio ambiente, evitando tais transtornos à sociedade. De acordo com a DN, “[...] ETAs com capacidade de tratamento superior a 20 L.s<sup>-1</sup> até 100 L.s<sup>-1</sup>, devem formalizar, até dezembro de 2020, o processo de regularização ambiental da ETA com a UTR” (ABES, 2013). Com efeito, a ETA Funil, por possuir vazão nominal de 36 L.s<sup>-1</sup>, fica obrigada a tratar e destinar corretamente os resíduos produzidos. Nesse contexto, objetivou-se neste estudo estimar a produção de lodo na ETA Funil, utilizando equações empíricas obtidas por meio de consulta em literatura especializada.

## 2 METODOLOGIA

A ETA Funil localiza-se em Cachoeira do Campo, distrito do município de Ouro Preto/MG, e pertence à autarquia Serviço Municipal de Água e Esgoto (SEMAE). Essa estação adequa-se ao modelo padrão convencional de tratamento de água, empregando o sulfato de alumínio como principal coagulante químico. O lodo depositado no fundo dos decantadores - retangulares e de fluxo horizontal - é lançado por gravidade por meio de um emissário no canal do Rio Funil.

A quantificação do lodo na forma de sólidos totais e voláteis gerados no tratamento da água na ETA Funil deu-se a partir da utilização de equações empíricas encontradas na literatura, e os dados de entrada - dados operacionais da ETA Funil - foram cedidos pelo SEMAE para os anos de 2012, 2013 e 2014, dispostos em planilhas de controle e registros que contemplam a vazão de entrada da água, a dose do coagulante, a turbidez, a cor e o pH, tanto da água bruta como da água tratada, em intervalos de 2 horas.

Constatou-se que alguns dos dados diários apresentavam falhas nos valores transcritos ou não havia o preenchimento dos mesmos. Assim, os dados incoerentes e inconstantes foram descartados, considerando-se apenas os intervalos que continham todos os parâmetros preenchidos adequadamente. Desse modo, não foi possível realizar os cálculos para todos os intervalos do dia. Como solução para o problema, considerou-se apenas o total de intervalos no mês que apresentaram todos os parâmetros preenchidos e coerentes.

Algumas equações utilizadas neste estudo dependem da dose correta do coagulante para o tratamento da água, a qual está diretamente relacionada com a turbidez. Para tal, foram utilizadas as estimativas da dose correta de acordo com os resultados obtidos por Franco (2009), que obteve a curva de doses ótimas (Figura 1) do coagulante sulfato de alumínio de acordo com a turbidez da água bruta para a ETA Funil por meio de ensaios de bancada com o *Jar Test*. A utilização dessa curva é de grande importância, pois torna possível a aplicação de doses pontuais do coagulante, evitando, assim, o excesso de doses, reduzindo o volume de resíduo sólido gerado e aumentando a eficiência do tratamento.

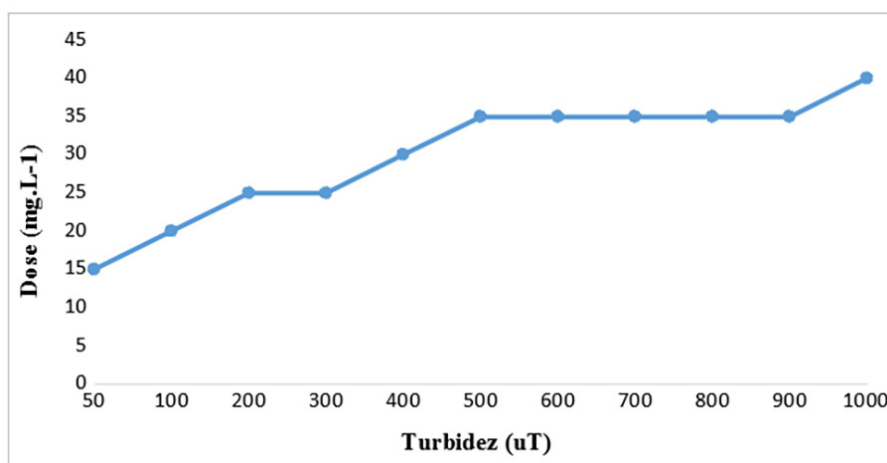


FIGURA 1.

**Faixas de turbidez e suas respectivas doses ótimas do coagulante sulfato de alumínio para a ETA Funil**

Fonte: Os autores (2016)

Os valores de turbidez utilizados neste estudo foram obtidos por meio da média aritmética da turbidez, obtida em amostras presentes nos decantadores 1 e 2 da ETA Funil, subtraindo-se desta o resultado da turbidez obtida na amostra água bruta. A produção de massa seca (sólidos totais) foi calculada para um intervalo de 2 horas, possibilitando realizar o somatório dos intervalos de cada dia e posteriormente para cada mês.

Na execução dos cálculos foram considerados os valores de turbidez da água bruta entre 50 e 1.000 uT, pois, para valores abaixo de 50 uT, não existe etapa de coagulação. Já quando os valores de turbidez da água

bruta ultrapassam 1.000 uT nas ETAs, o tratamento é interrompido pois a grande quantidade de sólidos grosseiros que entra na estação pode prejudicar as etapas do tratamento.

A quantificação do lodo na forma de sólidos totais foi realizada por meio de equações que apresentavam somente a turbidez como variável (Equação 1 e 2), e equações que apresentavam a turbidez, a dose e o fator  $K$  - relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido - como variáveis (Equação 3 e 4). As equações utilizadas estão descritas a seguir:

- American Water Works Association – AWWA, 1996, *apud* Ribeiro, 2007:

$$P = 3,5 \times T^{0,66} \quad (\text{Equação 1})$$

- Franco, 2009:

$$P = 2,1786 \times T^{0,8653} \quad (\text{Equação 2})$$

- Kawamura, 1991, *apud* Reali, 1999:

$$P = (1,5 \times T + K \times D) \quad (\text{Equação 3})$$

- Franco, 2009:

$$P = 0,0008 \times T^2 + \frac{((K \times D + 45,53) \times T) + K \times D + 10253}{130} \quad (\text{Equação 4})$$

Para todas as equações supracitadas, considera-se:  $P$  como a produção de sólidos expressa em toneladas (ton);  $T$  é a turbidez dada em unidade de turbidez (uT);  $K$  é a relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido que, para o sulfato de alumínio, é de 0,25;  $D$  é a dose do coagulante expressa em miligramas por litros ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e varia de acordo com o valor de turbidez, conforme Franco (2009) (para  $0 < T \leq 50$ ,  $D=15$ ;  $50 < T \leq 100$ ,  $D=20$ ;  $100 < T \leq 300$ ,  $D=25$ ;  $300 < T \leq 400$ ,  $D=30$ ;  $400 < T \leq 500$ ,  $D=35$ ).

Ademais, foram utilizadas equações para a estimativa da quantidade de lodo gerado nos decantadores levando-se em consideração a volatilização da matéria orgânica. Para tal, avaliou-se a quantidade de sólidos voláteis tendo a turbidez como único parâmetro (Equação 5), e, posteriormente, fez-se uso de uma equação que engloba a turbidez, a relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido e a dose do coagulante (Equação 6).

Franco, 2009:

$$P_{sv} = 2,4073 \times T^{0,5056} \quad (\text{Equação 5})$$

Franco, 2009:

$$P_{sv} = 0,0002 \times T^2 + \frac{((K \times D + 12,59) \times T) + K \times D + 3344}{130} \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo  $P_{sv}$  a produção de sólidos voláteis expressa em toneladas (ton).

Para o desenvolvimento dos cálculos e obtenção dos gráficos foram utilizados a ferramenta VBA (*Visual Basic for application*) e o *software* Excel 2010. A partir de um módulo criado no VBA foram desenvolvidas as equações apresentadas anteriormente, e elas foram compiladas e salvas no Excel, otimizando o desenvolvimento da pesquisa.

Após a determinação dos sólidos totais e voláteis foi escolhida a modelagem que mais se adequava à realidade da ETA Funil. A partir disso, foi possível propor a técnica mais eficaz para o tratamento e disposição final do lodo gerado, ponderando-se sobre as peculiaridades da ETA em estudo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No ano de 2012, conforme apresentado na Tabela 1, os resultados obtidos a partir das Equações 1 e 2, que não possuem a dose de coagulante como parâmetro, evidenciam que a aplicação da Equação 2 resultou em uma maior produção de sólidos totais. Entre os resultados obtidos por meio da aplicação das Equações 3 e 4, que possuem a dose de coagulante como parâmetro, observa-se que a aplicação da Equação 4 resultou em uma produção de lodo, no mínimo, 40% maior que a resultante da aplicação da Equação 3. No que se refere às Equações 5 e 6, que quantificaram os sólidos voláteis sem e com dose de coagulante, respectivamente, a aplicação da Equação 6 resultou numa produção de lodo superior ao dobro do lodo produzido pela aplicação da Equação 5.

TABELA 1.  
Produção de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) (ton) 2012 - ETA Funil

	2012					
	Eq. 1 - AWWA ST (sd)	Eq. 2 - Franco ST (sd)	Eq. 3 - Kawamura ST (cd)	Eq. 4 - Franco ST (cd)	Eq. 5 - Franco SV (sd)	Eq. 6 - Franco SV (cd)
Jan.	33,88	113,08	264,69	6.967,97	7,60	1.753,18
Fev.	7,06	11,95	17,90	27,02	2,50	8,30
Mar.	7,61	14,23	23,13	45,40	2,59	13,19
Abr.	4,54	7,65	11,30	15,79	1,61	5,07
Maio	1,25	1,16	1,72	13,14	0,68	4,29
Jun.	0,76	0,87	1,36	7,60	0,37	2,48
Jul.	0,71	0,52	0,94	11,47	0,44	3,74
Ago.	0,62	0,46	0,91	11,31	0,38	3,69
Set.	17,84	49,99	98,78	290,71	4,37	77,40
Out.	0,32	0,41	0,61	2,33	0,15	0,76
Nov.	4,58	6,24	7,92	13,27	1,80	4,32
Dez.	7,86	16,47	28,74	66,29	2,50	18,51

Fonte: Os autores (2016)

\* sd sem dose de coagulante cd com dose de coagulante

Para o ano de 2013, conforme apresentado na Tabela 2, os resultados foram semelhantes aos encontrados para o ano de 2012. A Equação 2 resultou em uma maior produção de sólidos totais, exceto para os meses de julho, agosto e setembro. Entre os resultados obtidos por meio da aplicação das Equações 3 e 4, a produção de lodo, aplicando-se a Equação 4 foi, no mínimo, 60% maior que a resultante da aplicação da Equação 3. Na quantificação dos sólidos voláteis, assim como em 2012, a aplicação da Equação 6 resultou numa produção de lodo superior ao dobro do lodo produzido pela aplicação da Equação 5.



**TABELA 2.**  
**Produção de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) (ton) 2013 - ETA Funil**

	2013					
	Eq. 1 - AWWA ST (sd)	Eq. 2 - Franco ST (sd)	Eq. 3 - Kawamura ST (cd)	Eq. 4 - Franco ST (cd)	Eq. 5 - Franco SV (sd)	Eq. 6 - Franco SV (cd)
Jan.	20,88	58,98	119,73	577,27	5,18	149,85
Fev.	5,33	7,90	10,83	17,51	2,03	5,64
Mar.	7,62	20,47	43,35	284,49	2,21	73,74
Abr.	4,80	8,06	12,31	21,03	1,76	6,58
Mai	3,36	5,54	8,80	20,39	1,29	6,36
Jun.	2,98	4,48	6,92	17,88	1,23	5,67
Jul.	1,25	1,16	1,72	13,14	0,68	4,29
Ago.	0,88	0,67	1,13	12,62	0,53	4,12
Set.	1,27	1,12	1,62	13,16	0,70	4,30
Out.	7,03	17,26	34,47	158,35	2,14	41,83
Nov.	17,51	46,60	88,78	199,29	4,42	26,59
Dez.	34,73	117,00	274,62	7.047,36	7,72	1.773,43

Fonte: Os autores (2016)

\* sd sem dose de coagulante cd com dose de coagulante

Os resultados para o ano de 2014 (Tabela 3) confirmam a influência do coagulante na determinação dos sólidos totais e voláteis. A aplicação da Equação 2 – em que apenas a turbidez é parâmetro – resultou, no mínimo, em uma produção 23% maior de sólidos totais, exceto para os meses de junho, agosto, setembro e novembro. A Equação 4, considerando a dose do coagulante como parâmetro, resultou em uma produção de lodo, no mínimo, 107% maior que a resultante da aplicação da Equação 3. No que se refere às Equações 5 e 6, a aplicação da Equação 6 resultou numa produção de lodo, no mínimo, 314% maior que a produção de lodo produzido pela aplicação da Equação 5. O mês de dezembro não foi considerado nos cálculos, uma vez que as planilhas com os respectivos dados não foi disponibilizada pelo SEMAE.

**TABELA 3.**  
**Produção de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) (ton) 2014 - ETA Funil**

	2014					
	Eq. 1 - AWWA ST (sd)	Eq. 2 - Franco ST (sd)	Eq. 3 - Kawamura ST (cd)	Eq. 4 - Franco ST (cd)	Eq. 5 - Franco SV (sd)	Eq. 6 - Franco SV (cd)
Jan.	6,41	12,19	20,48	44,80	2,21	13,01
Fev.	4,09	7,57	12,64	26,18	1,47	7,96
Mar.	7,22	15,36	27,12	58,41	2,31	16,69
Abr.	3,76	5,91	8,97	19,03	1,47	6,09
Mai	2,43	3,05	4,43	16,11	1,11	5,23
Jun.	1,23	1,03	1,50	13,15	0,69	4,29
Jul.	1,76	1,79	2,47	14,37	0,89	4,69
Ago.	0,81	0,59	1,07	12,95	0,50	4,23
Set.	1,04	0,86	1,39	13,52	0,60	4,41
Out.	2,25	2,78	3,90	14,56	1,02	4,76
Nov.	0,25	0,22	0,30	2,27	0,13	0,74
Dez.	-	-	-	-	-	-

Fonte: Os autores (2016)

\* sd sem dose de coagulante cd com dose de coagulante

Como a ETA Funil utiliza o coagulante sulfato de alumínio para decantação dos sólidos, a estimativa da produção de sólidos fixos foi realizada por meio da aplicação das Equações 4 e 6. Subtraindo-se os resultados da Equação 4, que representam os sólidos totais, pelos resultados da Equação 6, que contabiliza a parcela da matéria orgânica perdida por volatilização, obteve-se um total de 5.577,35 toneladas de sólidos fixos para o ano de 2012; 6.280,1 toneladas para o ano de 2013; e 163,25 toneladas para o ano de 2014 (Tabela 4). Ressalta-se, neste caso, a importância da Equação 6, haja vista que a mesma contabiliza a perda de matéria orgânica por volatilização, permitindo, assim, um dimensionamento adequado de leitos de secagem, evitando a ocorrência de superdimensionamentos.



TABELA 4.  
Produção de sólidos totais (ST), voláteis (SV) e fixos (ton) anual - ETA Funil

	Eq. 1 - AWWA ST (sd)	Eq. 2 - Franco ST (sd)	Eq. 3 - Kawamura ST (cd)	Eq. 4 - Franco ST (cd)	Eq. 5 - Franco SV (sd)	Eq. 6 - Franco SV (cd)	Sólidos fixos formados
2012	87,03	223,02	458,01	7.472,3	24,99	1.894,95	5.577,35
2013	107,64	289,26	604,28	8.382,5	29,9	2.102,4	6.280,1
2014	51,25	51,36	84,25	235,35	12,42	72,1	163,25

Fonte: Os autores (2016)

\* sd sem dose cd com dose

Na quantificação dos sólidos totais, utilizando-se como parâmetro de entrada a dose do coagulante, constatou-se que a modelagem de Franco (2009) superestima a de Kawamura (1991) em todos os anos considerados. Franco *et al.* (2017), em trabalho realizado no ano de 2011, mesmo encontrando uma maior produção de lodo por meio da aplicação da Equação 3 em relação a Equação 4, não recomendam a mesma para os projetos de dimensionamento da UTR da ETA Funil pois ela não é específica, enquanto a Equação 4 foi desenvolvida baseando-se nas características da ETA, sendo, portanto, mais adequada. Assim, a modelagem mais representativa para a análise quantitativa do lodo na forma de sólidos totais na ETA Funil é a Equação 4, haja vista a utilização mais criteriosa dos parâmetros da ETA, retratando de forma mais precisa a provável estimativa de lodo.

Analisando a produção de sólidos totais, obtida após aplicação das Equações 1, 2, 3 e 4, percebe-se que há variações consideráveis entre as referidas modelagens. Nota-se que as expressões que fazem o uso do coagulante sulfato de alumínio (Equação 3 e 4) apresentaram resultados superiores – no mínimo, 64% maiores – quando comparados às que não utilizam o coagulante (Equação 1 e 2). Quando há um aumento significativo da turbidez, as Equações 3 e 4 são as mais aconselháveis para retratar a quantificação do lodo na estação, uma vez que a dose de coagulante é uma variante dependente do valor de turbidimetria, trazendo mais segurança e confiabilidade em relação aos valores obtidos nas Equações 1 e 2.

Os resultados obtidos nas equações da literatura que utilizam dose do coagulante como parâmetro partem do pressuposto de que a ETA opera em condições de máxima eficiência, aplicando-se doses ótimas de acordo com a turbidez da água bruta. No período de realização do estudo, essas condições não foram vistas na ETA Funil, já que o processo apresentava falhas e ocorria de forma ineficiente. Como exemplo, pode-se citar a falta de capacitação dos operadores para o preparo da solução do sulfato de alumínio, a incorreta estocagem dos produtos químicos e a falta de manutenção dos equipamentos.

Com a determinação dos sólidos voláteis utilizando a dose do coagulante (Equação 6), foi possível analisar e verificar a influência do coagulante na quantificação do lodo gerado na ETA Funil, na qual, a partir de um comparativo com a Equação 5, notou-se que a maior parte dos sólidos totais eram perdidos por volatilização.

Para o dimensionamento da UTR da ETA Funil foi utilizada a produção de sólidos totais do ano de 2013 – a maior do período – que foi obtida pela diferença entre os resultados das Equações 4 e 6. Os parâmetros utilizados para o dimensionamento dos leitos de secagens para ETA Funil estão descritos na Tabela 5, conforme a metodologia de Richter (2001).

TABELA 5.  
Parâmetros para dimensionamento da UTR da ETA Funil

Parâmetros
Concentração de sólidos (C) = 2,5%
Densidade do lodo ( $\delta_s$ ) = 1.800 kg.m <sup>-3</sup>
Densidade da água ( $\delta$ ) = 1.000 kg.m <sup>-3</sup>
Profundidade útil do leito (H) = 1 m
Número de aplicação (n) = 3 (4 meses de produção)

Fonte: Adaptado de Richter (2001)

A sequência dos cálculos foi:

1) Determinação da massa de lodo precipitada por ano ( $M_L$ ):

$$M_L = \frac{M_S}{C} \quad (\text{Equação 7})$$

2) Determinação do volume de lodo produzido ( $\delta_L$ ):

$$\delta_L = \frac{1}{\frac{C}{\delta_s} + \frac{1-C}{\delta}} \quad (\text{Equação 8})$$

3) Determinação do volume correspondente ( $V_L$ ):

$$V_L = \frac{M_L}{\delta_L} \quad (\text{Equação 9})$$

4) Determinação da área necessária (A):

$$A = \frac{V_L}{n \times H} \quad (\text{Equação 10})$$

5) Dimensões das unidades:

$$A = C \times L \quad (\text{Equação 11})$$

Após a aplicação das Equações 7, 8, 9, 10 e 11, obtiveram-se os seguintes resultados:

- Massa de lodo precipitada por ano:  $M_L = 6,28 \times 10^6 \text{ kg}$
- Densidade referente ao lodo produzido:  $\delta_L = 1.011,23 \text{ kg.m}^{-3}$
- Volume correspondente:  $V_L = 2,48 \times 10^5 \text{ m}^3$
- Área necessária:  $A = 82.666 \text{ m}^2$ .

Para a ETA Funil seriam necessárias vinte unidades com áreas iguais, de forma retangular, sendo a relação comprimento/largura aproximada de 6.

- Área de cada unidade:  $4.133 \text{ m}^2$
- Largura: 26 m
- Comprimento: 156 m.

#### 4 CONCLUSÕES

Conclui-se que o modelo de Franco (2009) é o que mais se aproxima do modelo adequado para a ETA Funil por ser mais representativo para a análise quantitativa do lodo, na forma de sólidos totais na ETA em

questão. Com a determinação dos sólidos voláteis, o modelo de Franco (2009) SV (CD) é o que influencia na quantificação do lodo gerado na ETA Funil.

No entanto, recomenda-se que cada estação faça o estudo das características da água bruta a ser tratada, conforme feito na ETA Funil, para que expressões possam ser modeladas de forma a retratar com mais fidelidade a real produção de sólidos nos decantadores, contribuindo com futuros projetos preconizados na DN COPAM nº 153/2010. Essas equações devem ser adaptadas constantemente, visto que as características das águas podem ser alteradas ao longo do tempo, em função do uso e ocupação do solo.

Além disso, dados estão sendo coletados desde 2014 para um futuro estudo que objetiva correlacionar a quantidade de lodo produzido com o maior período chuvoso na cidade de Ouro Preto.

## REFERÊNCIAS

- ABES. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **COPAM aprova prazos para licenciar UTRs das ETAs**. Belo Horizonte: ABES MG, 2013. Disponível em: <http://www.abes-mg.org.br/visualizacao-de-noticias/ler/3988/copam-aprova-prazos-para-licenciar-utrs-das-etras>. Acesso em: 13 maio 2016.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BARBOSA, R. M. *et al.* A Toxicidade dos despejos (lodos) de Estações de Tratamento de Água à *Daphnia similis* (Cladocera, Crustacea). In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais [...]**.
- BARROSO, M. M. **Gerenciamento de resíduos gerados no tratamento de água**. Paraná: Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Departamento de Engenharia Ambiental, 2009. Disponível em: <http://www.engenhariaambiental.unir.br>. Acesso em: 20 jun. 2016.
- BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 21, 2001, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.
- FRANCO, E. S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água**. 2009. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- FRANCO, E. S. *et al.* Produção teórica de lodo utilizando o coagulante sulfato de alumínio e dimensionamento de Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR) em uma Estação de Tratamento de Água. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, RJ, v. 19, n. 2, p. 61-76, maio/ago. 2017.
- GONÇALVES, F. *et al.* Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. **Revista DAE**, v. 65, n. 205, p. 5-14, jan./abr. 2017.
- REALI, M. A. P. (coord.). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 240 p.
- RIBEIRO, F. L. de M. **Quantificação e Caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito, MG**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.
- RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001. 102 p.