

# *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*

*Theoretical production of sludge using the aluminum sulfate coagulant and sizing of a Waste Treatment Unit (UTR) in a Water Treatment Plant*

Elton Santos Franco<sup>\*</sup>  
Guilherme Giese Dias Santos<sup>\*\*</sup>  
Adriana Alves Ferreira<sup>\*\*\*</sup>  
Talita Cristina Reis da Silva<sup>\*\*\*\*</sup>  
Thiago Alcântara Luiz<sup>\*\*\*\*\*</sup>

A análise de soluções economicamente viáveis e ambientalmente corretas para o tratamento e disposição final do lodo dos resíduos de Estações de Tratamento de Água (ETAs), ainda é um desafio técnico e econômico. O presente estudo vem mensurar a produção de sólidos e averiguar a produção de lodo nos decantadores da ETA Funil em Ouro Preto/MG. A pesquisa demonstrou, conforme análises quantitativas, que a técnica mais viável de tratamento do lodo para a ETA Funil é a desidratação dele por leito de secagem e, para disposição final do resíduo, seu aproveitamento como subprodutos ou acomodação em aterros sanitários.

*The analysis of economically feasible and environmentally correct solutions for the treatment and disposal of sludge from Waste Water Treatment Plants is still a technical and economic challenge. The present study is to measure the production of solid waste and verify the sludge production in decanters of a Waste Water Treatment Plant in Ouro Preto, Brazil. Research has shown, as quantitative analysis, the most feasible technique for sludge treatment for that Plant is dewatering by drying bed and, for final disposal of the waste, its use as by-products or accommodation in landfills.*

Palavras-chave: Lodo. Resíduos. Estações de Tratamento de Água. Aterros Sanitários.

*Key words: Sludge. Waste. Water Treatment Plants. Landfills.*

<sup>\*</sup> Mestre em Saneamento Ambiental (UFOP). Professor da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Teófilo Otoni/MG - Brasil. E-mail: elton.santos@ufvjm.edu.br.

<sup>\*\*</sup> Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) – João Monlevade/MG – Brasil. E-mail: guilherme17gds@yahoo.com.br.

<sup>\*\*\*</sup> Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) – João Monlevade/MG – Brasil. E-mail: dryalves\_88@yahoo.com.br.

<sup>\*\*\*\*</sup> Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) – João Monlevade/MG – Brasil. E-mail: talitacrs@hotmail.com

<sup>\*\*\*\*\*</sup> Mestre em Ciência da Computação (UFOP). Professor da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) campus Mucuri/MG - Brasil. E-mail: thiagoalcantara@ufvjm.edu.br.

## 1 Introdução

Durante o processo de produção de água potável, ocorre a geração de resíduos em razão das impurezas contidas na água bruta e pela utilização de substâncias que auxiliam no processo de sua purificação. Tal fato se caracteriza como uma das grandes problemáticas enfrentadas pelas Engenharias Sanitária e Ambiental, pois o lodo, gerado a partir da floculação das partículas e acumulado no processo de decantação, é caracterizado, segundo a NBR 10.004, como resíduo sólido. Por essa razão, seu despejo em cursos d'água torna-se ilegal. Além de ser altamente contaminante devido à carga orgânica derivada da água bruta e de sais de ferro e alumínio presentes nos coagulantes, o lodo também se mostra complexo do ponto de vista tecnológico e econômico.

A maioria das Estações de Tratamento de Água (ETA) se encontra inadimplente quanto ao descarte dos rejeitos. No Brasil, uma parcela insignificante (menos de 0,5%) das ETAs possui sistemas de remoção de água do lodo e/ou recuperação de água de lavagem de filtros (BARROSO, 2009). Além disso, na maioria das ETAs, os operadores citam que existem inúmeros problemas operacionais. A prática mais comum, para disposição dos despejos líquidos gerados em ETA, tem sido o lançamento deles em cursos de água mais próximos à estação de tratamento de água ou na rede de esgoto. Devido às características dos despejos lançados, há o agravamento do grau de poluição dos corpos receptores, contribuindo para a crescente degradação do meio ambiente aquático, bem como para a perda da qualidade de vida das populações existentes a jusante desses lançamentos (SOUZA FILHO, 1999).

O potencial tóxico dos resíduos de ETAs depende principalmente do teor de metais presentes, além das características físico-químicas e das condições em que esses resíduos são dispostos. Outros fatores que também influenciam a toxicidade são as reações sofridas durante o processo, a forma e o tempo de retenção. Além disso, características do curso d'água, composição e impureza dos coagulantes e outros produtos químicos utilizados no tratamento da água, também influenciam a toxicidade (BARROSO; CORDEIRO, 2001b).

O estudo do lodo é relevante devido a sua toxicidade e, de acordo com Barbosa et al. (2000), quando lançado *in natura* nos cursos d'água, pode inferir toxicidade aos organismos aquáticos e aumentar a degradação desses ambientes. Deve-se levar em consideração que esses efluentes, além de conterem metais, apresentam também elevadas concentrações de sólidos, alta turbidez e demanda química de oxigênio (DQO). Esses são fatores agravantes para eventual assoreamento, alterações de coloração e arranjo químico da biota aquática, embora muitos acreditem que a maior parte dos lodos de decantadores e resíduos de filtração são provenientes da água bruta e carecem retornar à origem. Em termos de carga total, isso pode fazer sentido, contudo geralmente as concentrações dos sólidos são muito maiores que aquelas encontradas na água bruta.

No Brasil, a maior parte das ETAs foram implantadas antes da Resolução CONAMA nº 237/1997, que estabelece o licenciamento ambiental das atividades potencialmente poluidoras. Devido a isso, dificilmente o sistema de destinação e disposição final do lodo produzido nas ETAs era considerado nos projetos das estações. Atualmente, contemplar o sistema de destinação e disposição final do lodo é exigência legal para novos projetos e ampliações de estações (ACHON; CORDEIRO, 2015).

A lei federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos. Essa lei define o conceito de rejeito e resíduo de forma a estimular o reaproveitamento e a reciclagem dos materiais, uma vez que somente admite a disposição final dos rejeitos. O lodo de ETA, por ser um resíduo sólido, conforme a NBR 10.004, deve ser gerenciado de modo a atender ao que é proposto por essa legislação.

Em Minas Gerais, desde 26 de agosto de 2010 está vigente a Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM nº 153/2010. Esta deliberação 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 tal transtorno à sociedade. De acordo com DN COPAM, “[...] ETAs com capacidade de tratamento superior a 20 L/s até 100 L/s, devem formalizar, até dezembro de 2020, o processo de regularização ambiental da ETA com a UTR” (DN COPAM nº 153, 2010). Com efeito, por possuir vazão nominal de 36 L/s, a ETA Funil fica obrigada a tratar e destinar corretamente os resíduos produzidos.

Um estudo recente de Franco et al. (2016), que propôs o dimensionamento de uma UTR para a ETA Funil, levando em consideração a produção de lodo a partir do uso do coagulante cloreto férrico no processo de tratamento da água bruta, é um exemplo de trabalho que se preocupa em atender a DN COPAM nº 153/2010 e a PNRS. Para o cumprimento das legislações, a pesquisa propõe a quantificação do lodo produzido e sugere o dimensionamento de leitos de secagem, avaliando a interferência dos sólidos voláteis.

O presente trabalho tem como objetivo quantificar a produção de sólidos totais e dimensionar uma UTR, a partir do contexto apresentado por Franco (2009), que analisa a relação de turbidez, cor da água e dosagem ótimas dos coagulantes para atendimento das legislações estadual e federal. O objetivo é permitir um melhor desempenho da ETA Funil, Ouro Preto, Minas Gerais. Além disso, comparar os resultados encontrados com os resultados apresentados em Franco et al. (2016), que quantificou a produção de lodo utilizando cloreto férrico.

## 2 Metodologia

No presente estudo, os métodos de quantificação de lodo foram analisados aplicando-se os dados da ETA Funil, pertencente à autarquia SEMAE, localizada em Cachoeira do Campo, distrito de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais. Essa estação se adequa à tecnologia de tratamento convencional que engloba as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, sendo empregado como coagulante químico principal o sulfato de alumínio. Nos decantadores retangulares e de fluxo horizontal, o lodo depositado em seu fundo é lançado por gravidade através de um emissário no canal do rio Funil.

A quantificação dos resíduos sólidos (fixos e voláteis) gerados no tratamento da água na ETA Funil se deu a partir da utilização de equações empíricas encontradas na literatura e nas equações formuladas por Franco (2009). Para o desenvolvimento do estudo, foram disponibilizados pela autarquia os dados operacionais da ETA Funil. Foram entregues planilhas de controle e registros operacionais que contemplam vazão de entrada da água, dosagem do coagulante, turbidez, cor e pH, tanto da água bruta, como da tratada em intervalos de 2 horas. Os dados operacionais passaram por uma triagem com o objetivo de eliminar erros resultantes da operação não otimizada da ETA, que possui equipamentos obsoletos e desprovidos de calibração e operadores não capacitados. Isso foi necessário, pois alguns dos dados poderiam ser incompatíveis à realidade, influenciando o resultado final de cálculos (como o parâmetro turbidez, dosagem de aplicação, cor, pH, entre outros).

A quantificação do lodo, na forma de sólidos totais, foi feita por meio de equações encontradas no estudo de Franco (2009) com intuito de fazer uma comparação entre os resultados obtidos. A comparação foi realizada entre as equações que apresentavam somente a turbidez como variável (Equações 1 e 2), não havendo a etapa de coagulação. Do mesmo modo, foi realizada uma comparação entre as equações que apresentavam turbidez, dosagem e relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido como variáveis (Equações 3 e 4), apresentando a etapa de coagulação. 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 citadas anteriormente, 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; por fim,  $D$  é a dosagem do coagulante expressa em miligramas por litros [mg/L].

Após a obtenção dos resultados da quantificação do lodo total produzido em formas de sólidos totais, nas equações que utilizam a dosagem do coagulante como parâmetro (Equações 3 e 4), os mesmos foram comparados com os resultados apresentados no trabalho de Franco et al. (2016), que avaliou a produção dos sólidos totais, utilizando o cloreto férrico como coagulante.

Foram utilizadas, ainda, equações para se estimar a quantidade de lodo gerado nos decantadores, levando-se em consideração a volatilização da matéria orgânica, de modo a avaliar a influência dos sólidos voláteis na ETA Funil. Primeiro, avaliou-se a quantidade de sólidos voláteis tendo como único parâmetro a turbidez e, posteriormente, fez-se uso de equação a qual dispunha de parâmetros como turbidez, dosagem e fator  $K$ . As referidas equações se encontram, respectivamente, descritas abaixo:

- Franco (2009):

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

- Franco (2009):

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

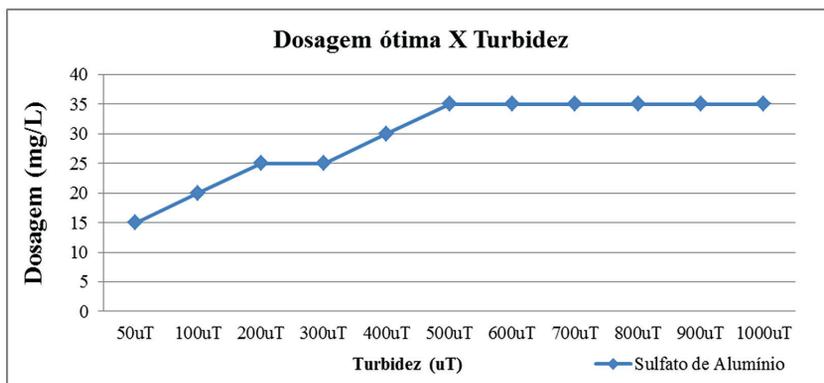
$P_{sv}$  representa a produção de sólidos voláteis expressa em toneladas (ton). As Equações 5 e 6 de Franco (2009) foram comparadas para se conhecer a diferença de produção de sólidos voláteis com e sem o uso do coagulante. O resultado da quantificação do lodo produzido pela Equação 6 foi comparado com os resultados apresentados no trabalho de Franco et al. (2016).

Algumas equações necessitam da quantidade de coagulante necessário para o tratamento da água em função da turbidez. Para tal, foram utilizadas as estimativas da dosagem correta do coagulante, de acordo com os resultados obtidos por Franco (2009), que obteve as curvas de dosagens ótimas 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*, conforme Figura 1. A utilização desta curva é de grande importância, posto

que, por intermédio dela, é possível a aplicação de dosagens pontuais do coagulante, evitando-se excessos de dosagens, reduzindo-se o volume de resíduo sólido gerado e aumentando-se a eficiência do tratamento.

Na execução dos cálculos, foram considerados os valores de turbidez da água bruta entre 10 e 1.000 uT, pois para valores abaixo de 10 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 entram na estação pode prejudicar as etapas do tratamento.

Os cálculos foram realizados para 10 meses do ano de 2011, descartando os meses de fevereiro e março, pois as planilhas não foram disponibilizadas. Os valores de turbidez utilizados nos cálculos foram obtidos fazendo-se uma média da turbidez dos decantadores 1 e 2 e subtraindo-se o resultado da turbidez da água bruta. A produção de massa seca (sólidos totais) foi calculada para um intervalo de duas horas, possibilitando fazer o somatório dos intervalos de cada dia e posteriormente para cada mês. Os resultados obtidos foram convertidos da unidade grama para tonelada.



**Figura 1: Faixas de Turbidez e suas respectivas dosagens ótimas de coagulante para a ETA Funil**

Para o desenvolvimento dos cálculos e confecção dos gráficos, foi utilizado o *software* Excel 2010 e os dados disponibilizados pelo SEMAE – Ouro Preto, do ano de 2011. Constataram-se falhas nos valores transcritos e não preenchimento de alguns dos dados diários. 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.

Vale ressaltar que, para a realização dos cálculos, foram considerados todos os meses do ano, com exceção dos meses fevereiro e maio, em que não houve acesso aos dados. Os meses de junho, julho, agosto e setembro tiveram poucos intervalos de

horas considerados, sendo isso devido, principalmente, aos baixos valores de turbidez encontrados nesses meses.

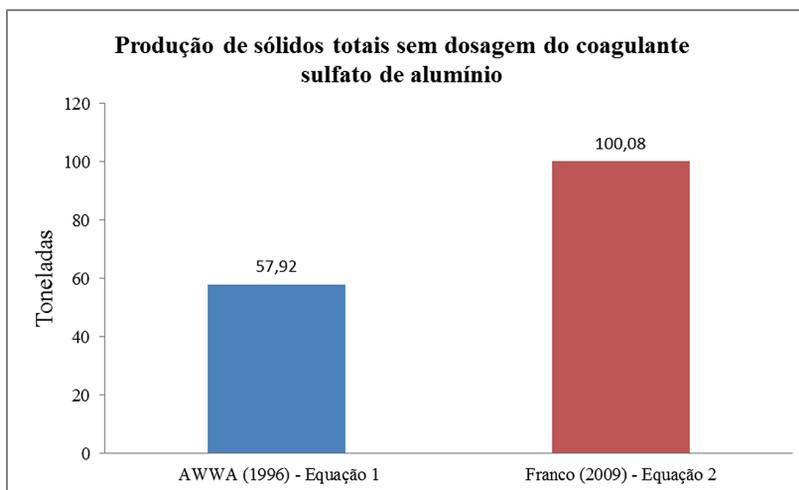
Após a determinação dos sólidos totais e voláteis, os resultados foram analisados para se verificar a influência da volatilização da matéria orgânica na determinação quantitativa do lodo e foi escolhida a modelagem que mais se adequa à realidade da ETA Funil. A partir disso foi possível dimensionar a técnica mais eficaz para o tratamento e disposição final do lodo gerado, ponderando-se sobre as peculiaridades da ETA em estudo, como os aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

### ***3 Resultados e Discussões***

Após a aplicação das Equações 1 e 2 aos dados registrados referentes ao ano de 2011, obtiveram-se os respectivos valores mensais a respeito da quantidade de lodo gerado na ETA, observados na Tabela 1. A partir dos resultados obtidos, conforme a Figura 2, observa-se que a modelagem criada por Franco (2009) superestima o modelo da AWWA (1996), pois os modelos foram construídos para matrizes de natureza diferentes. Assim, o modelo de Franco (2009) é o que mais se aproxima do modelo polinomial adequado para a ETA Funil, principalmente por ser ajustado aos coagulantes cloreto de alumínio e cloreto férrico.

**Tabela 1: Produção de sólidos totais sem a dosagem do coagulante sulfato de alumínio**

Mês	Equação 1 [ton]	Equação 2 [ton]
Janeiro	11,09	20,17
Fevereiro	0,00	0,00
Março	16,50	24,26
Abril	5,25	7,82
Maio	0,00	0,00
Junho	0,46	0,82
Julho	0,02	0,01
Agosto	0,03	0,04
Setembro	0,01	0,01
Outubro	2,10	3,12
Novembro	7,86	15,40
Dezembro	14,59	28,41
Total	57,92	100,08

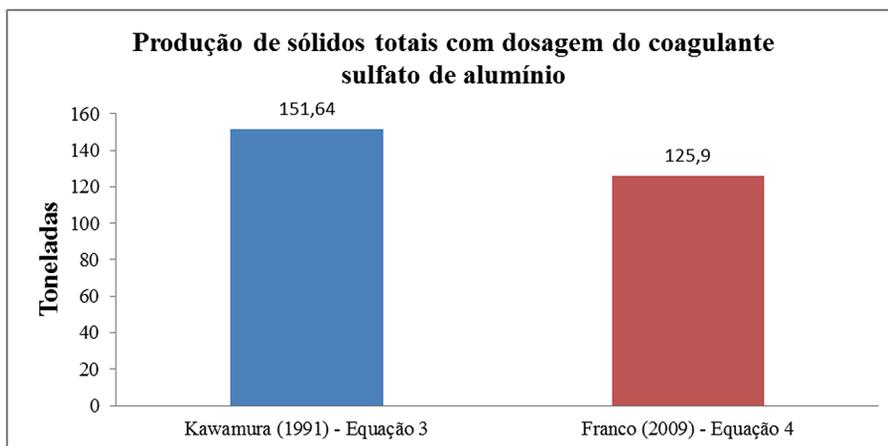


**Figura 2: Comparação da produção de sólidos totais sem a dosagem do coagulante sulfato de alumínio**

Os resultados obtidos a partir dos cálculos para determinação da produção de sólidos totais, considerando-se a turbidez da água bruta e a dosagem ótima do coagulante sulfato de alumínio, fazendo uso das Equações 3 e 4, estão representados na Tabela 2 e Figura 3.

**Tabela 2: Produção de sólidos totais com dosagem do coagulante sulfato de alumínio**

Mês	Equação 3 [ton]	Equação 4 [ton]
Janeiro	33,40	25,17
Fevereiro	0,00	0,00
Março	35,79	27,14
Abril	10,46	14,11
Maio	0,00	0,00
Junho	1,24	2,42
Julho	0,02	0,10
Agosto	0,05	0,07
Setembro	0,01	0,04
Outubro	4,23	6,23
Novembro	23,60	19,30
Dezembro	42,85	31,32
Total	151,64	125,90



**Figura 3: Comparação da produção de sólidos totais com a dosagem do coagulante sulfato de alumínio**

Na quantificação dos sólidos totais, utilizando-se a dosagem do coagulante sulfato de alumínio, constatou-se que a modelagem de Kawamura (1991) superestima a de Franco (2009). A Equação 3, apesar de apresentar valores maiores do que os obtidos a partir da Equação 4, não é recomendada para os projetos de dimensionamento da UTR da ETA Funil. Tal fato pode ser constatado levando-se em consideração que ela, como discussão entre as Equações 1 e 2, foram elaboradas com matrizes distintas (características do manancial e dos produtos químicos empregados na estação), sendo as Equações 1 e 3 menos específicas para a ETA Funil. O mesmo não ocorre na Equação 4, pois a mesma estima o uso do coagulante mais próximo da realidade da ETA em questão. Assim, a modelagem mais representativa para a análise quantitativa do lodo na forma de sólidos totais na ETA Funil é a de Franco (2009), que utiliza a dosagem do coagulante sulfato de alumínio (Equação 4). Isso se deve à utilização mais criteriosa dos parâmetros da ETA, retratando de forma mais precisa a provável estimativa de lodo para o ano de 2011.

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 aos das 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, trazendo, assim, mais segurança e confiabilidade em relação aos valores obtidos nas Equações 1 e 2.

Os resultados obtidos nas equações da literatura que utilizam dosagem do coagulante partem do pressuposto de que a ETA opera em condições de máxima eficiência, aplicando-se dosagens 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.

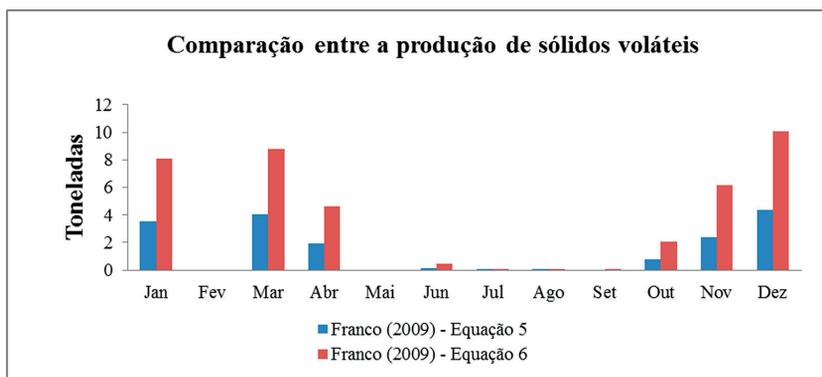
Comparando os valores apresentados na Figura 3 com os resultados do trabalho de Franco et al. (2016) para o coagulante cloreto férrico, temos a seguinte configuração, conforme a Tabela 3. Os resultados do presente estudo para as Equações 3 e 4 estão abaixo dos encontrados por Franco et al. (2016), o que mostra que o uso do sulfato de alumínio como coagulante no processo de tratamento da água produz menor quantidade de sólidos totais.

**Tabela 3: Comparação dos valores encontrados para os diferentes coagulantes**

Equações	Kawamura (1991) – Sulfato de alumínio	Kawamura (1991) – Cloreto férrico / Franco et al. (2016)	Franco (2009) – Sulfato de alumínio	Franco (2009) – Cloreto férrico / Franco et al. (2016)
Resultados (t)	151,64	171,95	125,90	133,07

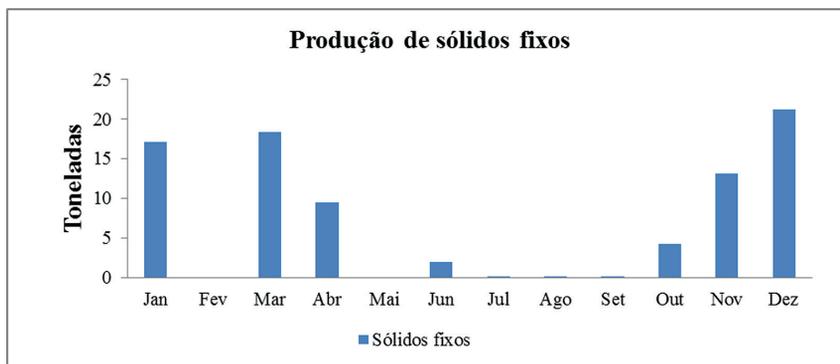
Considerando-se o fenômeno de volatilização da matéria orgânica que supostamente é perdida ao longo do tempo de detenção no decantador, foram realizados cálculos de forma a obter o real valor na estimativa da massa seca. Para tal, fez-se uso das Equações 5 e 6, nas quais posteriormente foi feita subtração entre os valores de sólidos totais e sólidos voláteis, com objetivo de retratar a estimativa mais próxima de lodo nos decantadores. O somatório para cada mês da produção de sólidos voláteis, sem e com a utilização de dosagem do coagulante, pode ser observado na Figura 4.

Com a determinação dos sólidos voláteis, utilizando a dosagem do coagulante (Equação 6), foi possível analisar e verificar a sua influência na quantificação do lodo gerado na ETA Funil, na qual, a partir de um comparativo com a Equação 4, notou-se que 32% dos sólidos totais eram perdidos por volatilização. No estudo de Franco et al. (2016), essa influência é de 42% utilizando as expressões para o coagulante cloreto férrico.



**Figura 4: Comparação entre a produção de sólidos voláteis sem e com a dosagem do coagulante sulfato de alumínio**

Assim, a quantidade de lodo em massa seca que deve ser considerada para o dimensionamento da UTR será representada na forma de sólidos fixos, obtidos por meio da diferença entre os valores de sólidos totais e sólidos voláteis, com a utilização da dosagem do coagulante de sulfato de alumínio, segundo a Figura 5.



**Figura 5: Produção de lodo representado na forma de sólidos fixos**

Dessa forma, o valor do lodo gerado no ano de 2011, para o presente estudo e para o trabalho de Franco et al. (2016), representado por sólidos fixos, encontra-se na Tabela 4. Conclui-se que, apesar de apresentar valores menores para a produção de sólidos totais e voláteis com o uso do coagulante sulfato de alumínio, verifica-se uma maior produção de lodo, que é o resíduo que efetivamente vai para a UTR para ser tratado, do que no tratamento com cloreto férrico.

**Tabela 4: Produção de sólidos no ano de 2011**

Produção de sólidos totais em toneladas (t)						
Total	Sólidos totais		Sólidos voláteis		Sólidos fixos	
	Presente estudo	Franco et al. (2016)	Presente estudo	Franco et al. (2016)	Presente estudo	Franco et al. (2016)
	125,9	133,07	40,25	56,14	85,65	76,93

Com base no valor obtido de lodo, propõe-se o dimensionamento da UTR da ETA Funil, conforme preconiza a COPAM nº 153/2010. No caso da ETA em questão, propõe-se a utilização de leitos de secagem, por ser uma técnica indicada para locais que possuem disponibilidade de área, apresentar um custo relativamente baixo, possuir um sistema de simples operação e não necessitar de energia elétrica (escoamento por gravidade). O procedimento utilizado para o dimensionamento dos leitos de secagens para a ETA Funil foi realizado conforme a metodologia de Richter (2001), que abrange os seguintes 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) = 0,48m;
- Número de aplicação (n) = 3 (4 meses de produção).

A sequência dos cálculos foi:

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

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

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

$$\ddot{a}_L = \frac{1}{\frac{C}{\ddot{a}_s} + \frac{1-C}{\ddot{a}}} \quad (\text{Equação 8})$$

- Determinação do volume correspondente ( $V_L$ ):

$$V_L = \frac{M}{\ddot{a}_L} \quad (\text{Equação 9})$$

- Determinação da área necessária (A):

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

- Dimensões das unidades:

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

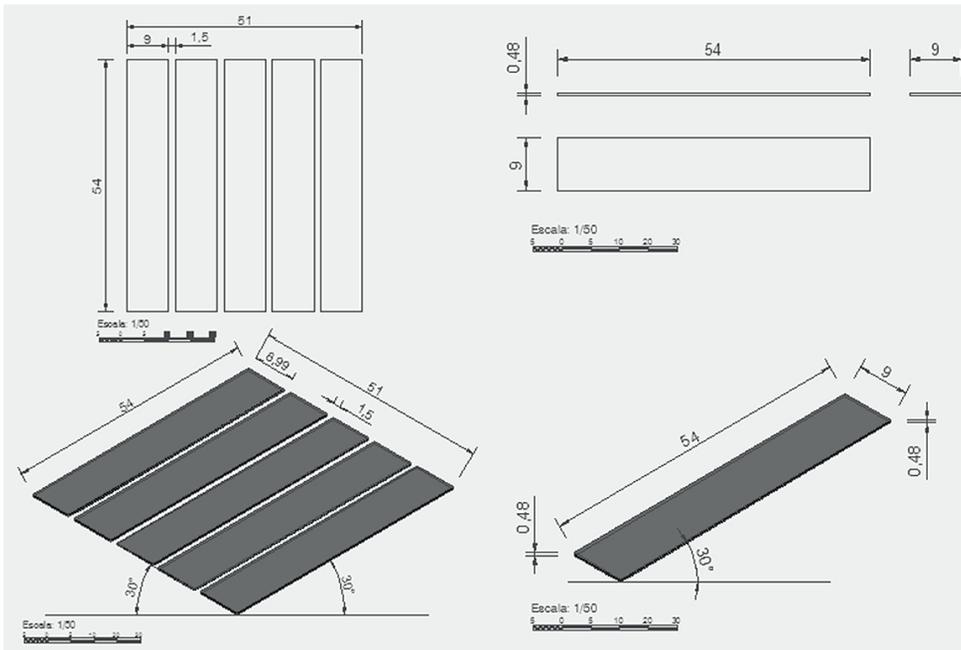
Após a aplicação das Equações 7, 8, 9, 10 e 11, chegou-se aos seguintes resultados:

- Massa de lodo precipitada por ano:  $M_L = 3,426 \times 10^6$  kg
- Densidade referente ao lodo produzido:  $\delta_L = 1011,23$  g/m<sup>3</sup>
- Volume correspondente:  $V_L = 3,388 \times 10^3$  m<sup>3</sup>
- Área necessária:  $A = 2\,353$  m<sup>2</sup>

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

- Área de cada unidade: 471 m<sup>2</sup>;
- Largura: 9 m;
- Comprimento: 54 m.

A partir das dimensões obtidas, foi feita a representação gráfica dos leitos de secagem propostos no *software* AutoCad 2013. Os desenhos apresentam a representação gráfica e a perspectiva isométrica dos leitos de secagem, de forma isolada e em conjunto de 5 unidades, como o proposto para o caso da ETA Funil, como pode ser observado na Figura 6.



**Figura 6: Representação gráfica dos leitos de secagem**

A disposição do lodo, após sua desidratação, pode ser o lançamento em cursos d'água, ao mar ou na rede de esgoto, em lagoas ou aplicação no solo e aterro sanitário segundo Richter (2001). Para a ETA Funil, não é possível o descarte em cursos de água, pois isso vem de encontro ao artigo 54 da Lei nº 9.605/1998 e ao artigo 47, inciso I, da Lei nº 12.305/2010.

A disposição em aterro sanitário é uma opção, uma vez que os resíduos das ETAs geralmente não possuem periculosidade (RICHTER, 2001), mas, em alguns casos, essa técnica pode ser inviável, principalmente devido ao seu elevado custo. Além disso, de acordo com a Lei 12.305/2010, a disposição em aterro sanitário apenas é permitida para os rejeitos. Como o lodo é caracterizado como um resíduo, deve-se buscar o emprego de tecnologias mais limpas que permitam o aproveitamento ou reciclagem.

De acordo com Katayama et al. (2015), um dos grandes problemas em relação ao dimensionamento correto das UTRs está associado à grande dificuldade de se estimar com certo grau de confiabilidade a quantidade de massa e volume de resíduo gerado pelo tratamento de água. Isso se dá porque grande parte das equações empíricas utilizadas para estimativa de resíduos dependem de valores de constantes e coeficientes, sendo que os valores empregados a essas variáveis, analisados a partir de manuais de projetos, não apresentam aplicação universal, não sendo então aplicáveis em determinadas condições. Isso faz com que seja necessário desenvolvimento de equações para quantificação de resíduos de acordo com as características de cada ETA, como feita por Franco (2009) e Franco (2016), a fim de se obter resultados mais precisos de produção de lodo.

## ***4 Conclusões/Recomendações***

O presente estudo mostrou que a ETA Funil, como muitas estações brasileiras, não possui um estudo relacionando os parâmetros turbidez e cor com a concentração ótima de coagulante a ser utilizado na etapa de coagulação, nem de sólidos presentes na água. Isso se torna um problema, já que a eficiência do tratamento pode ser prejudicada.

Assim, 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 153/10. No entanto, essas equações devem ser adaptadas constantemente, pois as características das águas podem ser alteradas ao longo do tempo, em função do uso e ocupação do solo.

Os resultados obtidos demonstraram que a técnica mais viável de tratamento do lodo para ETA Funil, considerando a análise quantitativa, é o leito de secagem e, para a disposição final, prioritariamente o aproveitamento de subprodutos, e os aterros sanitários como uma segunda opção. No entanto, não foi realizado um estudo qualitativo do lodo, apresentando apenas uma proposta de tratamento e disposição final do resíduo. Diversos estudos mostram grande aplicabilidade dos lodos gerados no tratamento de água, especificamente na construção civil, como fabricação de tijolos, pavimentação, aditivos de concretos, etc.

## ***Referências***

ACHON, C. L; CORDEIRO, J. S. Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA-Lei 12.305/2010. In: ASSEMBLEIA NACIONAL DO ASSEMAE-SANEAMENTO AMBIENTAL: POLÍTICAS INTEGRADAS COM PARTICIPAÇÃO SOCIAL, 45., 2015, Poços de Caldas, MG.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. *Hidroweb*: Sistemas de Informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

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-das-noticias/pt-br/ler/3988/copam-aprova-prazos-para-licenciar-utrs-das-etras>>. Acesso em: 13 maio 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004*: Resíduos sólidos Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BARBOSA, R. M.; PVINELLI, J; ROCHA, O.; ESPINDOLA, E. L. G. A Toxicidade dos despejos (lodos) de Estações de Tratamento de Água à *Daphniasimilis* (Cladocera, Crustacea). In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

- BARROSO, M. M. *Gerenciamento de resíduos gerados no tratamento de água*. Engenharia Ambiental. UNIR, 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.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997. Procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental como instrumento de gestão ambiental. *Diário Oficial da União*, Brasília, 22 dez. 1997. Disponível em: <<http://www.trabalhosassemac.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/103/151/t151t1e1a2015.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2017.
- BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 02 ago. 2010.
- BRASIL. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Lei dos Crimes Ambientais. *Diário Oficial da União*, Brasília, 13 fev. 1998.
- 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.; SANTOS, G. G. D. S.; COSTA, A. M. F. A.; OLIVEIRA, A. F. O. Proposta para dimensionamento de uma Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR) para disposição do lodo: um estudo de caso realizado em Estação de Tratamento de Água (ETA) de Ouro Preto – MG. *Revista Vozes do Vale*, v. 9, n.5, Maio, 2016.
- KATAYAMA, V. T.; MONTES, C. F.; FERRAZ, T. H.; MORITA, D. M. Quantificação de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 4, out./dez. 2015.
- OURO PRETO (MG). Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto. SEMAE. *Relatório diário de ETA*, 2011
- 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. 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: Editora Edgard Blucher, 2001. 102 p.
- SOUZA FILHO, A. G. Caracterização e clarificação da água de lavagem dos filtros de uma ETA que utiliza cloreto férrico como coagulante primário. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. *Anais...*

*Artigo recebido em: 16 ago. 2016*  
*Aceito para publicação em: 4 set. 2017*