

ESTIMATIVA FINAL DA PRODUÇÃO DE LODO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO

*Ticiano Muniz Pereira¹, Maria Helena Rodrigues Gomes²
& Renata de Oliveira Pereira³*

RESUMO: As estações de tratamento de água geram resíduos e estes devem ser tratados e dispostos adequadamente. Para isso, se faz necessário uma avaliação quantitativa e qualitativa do lodo produzido nas diferentes unidades durante o tratamento da água. Portanto, este estudo teve como objetivo fazer uma estimativa da produção de lodo de uma estação de tratamento de água, de modo a obter uma equação multiparamétrica que pudesse representar as variações da qualidade da água e a adição de produtos químicos. Assim sendo, o estudo demonstrou que a produção de sólidos varia sazonalmente e que os principais parâmetros que influenciam na produção de sólidos nesta ETA são a turbidez (70 a 90%) e os produtos químicos adicionados (10 a 30%). Adicionalmente, obteve-se uma equação que representa a estimativa diária de produção de sólidos com um coeficiente de correlação de 0,84.

ABSTRACT: Water treatment stations generate wastes that must be treated and disposed of properly. For that, it is necessary a quantitative and qualitative evaluation of the sludge produced in the different units during the water treatment. Thus, this study aimed to estimate the sludge production of a water treatment station, in order to obtain a multiparametric equation that could represent the variations in water quality and the addition of chemicals. Therefore, this research demonstrated that the production of solids varies seasonally and that the main parameters influencing the production of this solid in water treatment stations are turbidity (70-90%) and the chemicals added (10-30%). Additionally, it was found an equation which represents the estimated daily production of solids with a correlation coefficient of 0.84.

Palavras-chaves: lodo de ETA, produção de lodo, estação de tratamento de água.

¹ Bolsista de Iniciação Científica. Aluna do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Faculdade de Engenharia da UFJF. ticianamuniz@engenharia.ufjf.br

² Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Faculdade de Engenharia da UFJF. Endereço: Faculdade de Engenharia. Campus da UFJF - 4ª Plataforma do Setor de Tecnologia. CEP: 36036-330 – Juiz de Fora – MG, Brasil. fone: 2102 3419 ramal 21 mariahelena.gomes@ufjf.edu.br

³ Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Faculdade de Engenharia da UFJF. Endereço: Faculdade de Engenharia. Campus da UFJF - 4ª Plataforma do Setor de Tecnologia. CEP: 36036-330 – Juiz de Fora – MG, Brasil. fone: 2102 3419 ramal 29 renata.pereira@ufjf.edu.br

1 - INTRODUÇÃO

A água que se encontra disponível na natureza, em sua maioria, é imprópria para consumo humano. É necessário, portanto, a realização de um tratamento que visa remover partículas em suspensão e em solução presentes na água, para que ela se enquadre nas especificações de potabilidade previstas pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011). Para tanto, são utilizados vários processos e operações, mediados por produtos químicos, que adequará à água bruta em água potável. Esses processos e operações geram resíduos, lodos nos decantadores e água de lavagem proveniente dos filtros. Estes resíduos são, usualmente, lançados diretamente nos corpos d'água, o que, acredita-se, aumentar gradativamente a poluição dos mesmos (Cordeiro, 2001).

A demanda por água vem crescendo consideravelmente nos últimos tempos, o que aumenta o volume de água tratada e faz crescer, conseqüentemente, o volume de lodo gerado. Devido a isto, deve-se haver uma maior preocupação no que diz respeito a quantificar e caracterizar este lodo, tornando possível o estudo de melhores alternativas de disposição final e de reaproveitamento destes resíduos.

A maioria das Estações de Tratamento de Água - ETA- tem sido projetada visando uma preocupação que se atem, principalmente, ao produto final do tratamento, a água, enquanto, na verdade, existem outros fatores envolvidos em suas etapas que devem ser levados em consideração. É ideal que sejam enfatizadas e buscadas maneiras simples que possibilitem às estações, de pequeno e médio porte, alternativas de disposição adequada e possível reuso destes rejeitos. A proposta deste trabalho foi à quantificação do lodo, conhecendo-se os dados da água bruta e os produtos químicos utilizados, estimando a produção de lodo através do balanço de massa e, a partir de uma regressão múltipla dos parâmetros da base de dados do ano de 2010 fornecidos pela Companhia de Saneamento Municipal – CESAMA, criar uma fórmula que permitirá estimar a quantidade de lodo produzida ao fim do tratamento. Após este cálculo, tornar-se-á possível a quantificação aproximada do lodo produzido na estação de tratamento de água, para melhor gerenciamento e disposição final do mesmo. Escolheu-se trabalhar com a Estação de Tratamento de Água Walfrido Machado Mendonça – ETA CDI - em Juiz de Fora, cidade na qual a UFJF se encontra inserida.

2 – ESTADO DA ARTE

No Brasil, de acordo com dados levantados pela ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), existem cerca de 7500 ETA de ciclo completo ou convencional com as mais diversas capacidades. Esses sistemas produzem resíduos (lodos) durante o processo de tratamento da água nas etapas de decantação e filtração que, via de regra, são lançados diretamente nos corpos d'água sem nenhum tratamento prévio. A disposição final é do ponto de vista ambiental,

tão preocupante quanto à disposição dos lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos – ETE – mas pouco tem sido discutido em relação a essa temática (Cordeiro, 2001).

De acordo com a NBR 10004/2004, os lodos gerados pela ETA são resíduos sólidos que não devem ser lançados na superfície líquida “*in natura*”. O lançamento de resíduos líquidos, sólidos e gasosos com finalidade de diluição ou que alterem a quantidade e a qualidade da água dos corpos d’água receptores se sujeita a outorga segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei 9433/1997 (Brasil, 1997). Atualmente, a maioria das ETA lança “*in natura*” os resíduos gerados no processo de tratamento nos corpos d’água. Esses resíduos apresentam-se com as mais diferenciadas características e podem causar problemas nos mananciais receptores.

O aumento da demanda por água potável tem crescido consideravelmente e, como consequência, tem-se o aumento da quantidade de resíduos gerados nos processos de tratamento. Esse aumento gera custos – técnicos, financeiros, administrativos e ambientais – dispendiosos para o processo de tratamento e que podem recair sobre os consumidores (Cordeiro, 2001).

O tratamento de água pode ser realizado através de processos básicos, complementares e adicionais, quando necessário. Segundo Barros et al. (1995) a prática mais comum para concepção das ETA para águas superficiais é uma associação das seguintes etapas: clarificação, desinfecção, fluoretação e a estabilização química (controle da corrosão e da incrustação da água nas tubulações, concreto, etc.).

Para Achon et al. (2008) as estações de tratamento de água funcionam de forma semelhante a uma indústria onde a água bruta é a matéria-prima que será trabalhada através de diversos processos e operações e, que dará origem ao produto final que é a água tratada. Como todo processo industrial, o tratamento da água também gera resíduo (lodos) com as mais diferenciadas características e que necessitam serem dispostos adequadamente, pois caso contrário torna-se um problema ambiental. O resíduo gerado na ETA é proveniente da lavagem dos tanques de sedimentação e filtros e, segundo Barroso & Cordeiro (2002), corresponde de 1% a 5% do volume de água tratada. Ferreira Filho & Além Sobrinho (1998) mencionam que nas ETA convencionais de ciclo completo são gerados resíduos nos decantadores e resíduos líquidos gerados na lavagem dos filtros. Cada linha geradora de resíduos possui características distintas como vazão e concentração de sólidos, devendo ser quantificados de forma criteriosa (Reali, 1999). Geralmente são utilizados três métodos para quantificar a produção de lodo: fórmulas empíricas, análise do balanço de massa e determinação de campo.

Os resíduos de uma ETA são compostos, em sua maior parte, de partículas, matéria orgânica, subprodutos oriundos da adição de compostos químicos e água. A quantidade de lodo produzido irá variar de acordo com alguns parâmetros ligados a características da água bruta, tais como partículas presentes na mesma (estimadas através de cor e/ou turbidez), e etapas do

tratamento, como concentração e composição dos produtos químicos utilizados, tempo de permanência do lodo nos decantadores, forma de limpeza dos mesmos, entre outros (Richter, 2001).

Para a quantificação do lodo através do balanço de massa, calcula-se a produção pela relação entre a massa molar dos produtos químicos aplicados e a massa molar dos compostos precipitados/formados, multiplicada pela dosagem do mesmo. Somando-se isto à concentração de sólidos na água bruta e multiplicando pela vazão de entrada, tem-se uma estimativa da quantidade de resíduos que será gerada ao final do processo (Barroso, 2002; Di Bernardo & Paz, 2008).

A fórmula empírica de Cornwell et al. (1987) mais utilizada para estimativa de resíduos em ETA foi proposta por Cornwell et al. (1987) apud Barroso & Cordeiro (2002) e pode ser expressa de acordo com a equação:

$$S = Q(4,89 \times Al + SS + A) \quad (1)$$

Sendo: S - a produção de sólidos secos em kg/dia; Q - a vazão de água bruta em m³/dia; Al - a dosagem de sulfato de alumínio, expresso como Al em mg/l; SS - a concentração de sólidos suspensos na água bruta em mg/l; e A - dosagem de produtos químicos adicionados, tais como polímeros, carvão ativado em mg/l.

Outra técnica usada e considerada uma das melhores para quantificação dos resíduos gerados em ETA de acordo com ASCE & AWWA (1996) apud Barroso & Cordeiro (2002) é o Balanço Global de Massa. Segundo Saron & Leite (2001) isto se dá devido ao cálculo do balanço de massa considerar as taxas de captura de sólidos na sedimentação, as informações precisas - fórmulas químicas - dos agentes coagulantes - produtos comerciais-, dentre outras. Ferreira Filho & Além Sobrinho (1998) apud Barroso & Cordeiro (2002) mencionam que quando se tem ETA já construídas, a produção de sólidos pode ser estimada em campo através de monitoramento dos processos e operações unitárias que envolvam as variações da água bruta e as características do tratamento (tipo, dosagem de coagulantes, pH da coagulação, etc.). O balanço de massa no decantador é dado pela expressão:

$$Q.C_1 + Q_C D_C + Q_S D_S + Q_P D_P = Q_R C_R + Q_F C_F + Q_{AT} . C_{AT} \quad (2)$$

A produção diária de resíduo em quilograma de sólidos ou poluentes específicos é dada pela expressão:

$$W \text{ (kg/dia)} = Q_R \text{ (l/s)} \times C_R \text{ (mg/l)} \times 0,0864 \quad (3)$$

Em que: Q - vazão de água bruta (l/s); C₁ - concentração de sólidos na água bruta (mg/l); Q_C - vazão de cal (l/s); D_C - dosagem de cal (mg/l); Q_S - vazão do coagulante primário (mg/l); D_S -

dosagem do coagulante primário (mg/l); Q_P – vazão de polímero (l/s); D_P – dosagem de polímero (mg/l); Q_R – vazão de resíduo (l/s) C_R – concentração de resíduo (mg/l); Q_F - vazão de água de lavagem dos filtros (l/s); C_F – concentração de sólidos na água de lavagem dos filtros (mg/l); Q_{AT} – vazão da água tratada; C_{AT} – concentração de sólidos na água tratada (mg/l); W – produção diária de resíduo em kg (sólidos, poluentes específicos).

Segundo Cornwell et al. (1987) apud Barroso & Cordeiro (2002) apresentam o equacionamento para o balanço de massa global em ETA convencionais. As equações utilizadas desconsideram os efeitos da dispersão e sedimentação, no entanto essas equações têm sido muito aplicadas.

Outra forma de quantificar o lodo gerado nas ETA é a determinação de campo que consiste na amostragem, quando se tem ETA já construídas e em operação, da água bruta e sua caracterização, análises químicas do lodo gerado e determinação de seu volume, levantamento das informações sobre os produtos químicos usados no processo de tratamento (Di Bernardo & Paz, 2008).

Segundo Bidone et al. (2001) à medida que o lançamento “in natura” dos lodos resultantes do tratamento da água nos corpos receptores começou a ser proibida em muitos países, alguns métodos foram desenvolvidos e aplicados para reduzir os volumes a serem dispostos, recuperar o alumínio e reutilizar o lodo. Entre os métodos mais comumente utilizados para melhorar as condições dos lodos para disposição final, podem ser citados a desidratação natural em lagoas e leitos de secagem e o adensamento mecânico em centrífugas, concentradores por gravidade de dupla célula, filtros a vácuo, filtros-prensa de placas ou de esteiras e leitos de secagem a vácuo. A escolha de cada método de descarte é função da quantidade e da qualidade do lodo gerado, além da possibilidade de reutilização deste lodo em indústrias cerâmicas e de materiais de construção civil.

3 - METODOLOGIA

Como a medição de Sólidos em Suspensão Totais (SST) na água bruta não é feita frequentemente na ETA, se fez necessário a utilização de uma correlação entre os dados da água bruta, turbidez, e a concentração SST.

No presente caso, escolheu-se trabalhar com a relação entre turbidez e SST, utilizando a correlação proposta por Piccolo et al. (1999) para períodos chuvosos, devido à semelhança entre os dados de Turbidez obtidos para o presente caso e os obtidos por este autor. Os valores de turbidez nos dois trabalhos supracitados variaram de 20 a 150 uT. Esta semelhança aliada ao fato do elevado coeficiente de correlação de 0,9 obtido no trabalho de Piccolo et al. (1999) foram determinantes para a escolha da utilização da equação 4, assegurando assim uma aproximação da quantidade de sólidos presentes na água. A Equação 4 representa a correlação entre SST e Turbidez para o período

chuvoso, considerado neste estudo baseado no regime pluviométrico da região os meses de fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro.

$$SST = (1,03 \times T) - 11,34 \quad (4)$$

Em que: SST – Sólidos Suspensos Totais (mg/L); T – Turbidez da água bruta (uT).

No caso do período de estiagem, maio, junho, julho, agosto e setembro, os dados de turbidez para o manancial da ETA CDI não apresentaram semelhança entre os valores de turbidez com os dados trabalhados por Piccolo et al. (1999) e, portanto, uma qualidade da água com características distintas com relação aos sólidos em suspensão. Assim sendo, fez-se necessário o uso de outra correlação que melhor representasse o período de estiagem.

Teixeira (2000) coautor de Piccolo et al. (1999) em seu trabalho estimou a quantidade de SST a partir dos dados de turbidez para bacias com diferentes ocupações. Seus resultados para o período de estiagem melhor se ajustaram aos encontrados no manancial em questão, situando-se em valores abaixo de 20 uT obtendo resultados que melhor se aproximaram dos resultados deste manancial, em períodos de estiagem. A correlação utilizada para o período de estiagem encontra-se representada na Equação 5.

$$SST = T + 6,3 \quad (5)$$

Em que: SST – Sólidos Suspensos Totais (mg/L); T – Turbidez da água bruta (uT).

A ETA CDI utiliza o FLOCULAN, um coagulante à base de Ferro, que gera um coeficiente de correlação de massa molar igual a 0,34. Este coeficiente é calculado através da relação entre a massa molar que entra (massa molar do coagulante – $\text{FeCl}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$) e a massa molar que sai (composto formado devido às reações químicas que ocorrem durante o processo – $\text{Fe}(\text{OH})_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$). A equação 6 representa a fórmula utilizada para o cálculo da produção de sólidos secos neste estudo.

$$Pss = Q \times (0,34D_{\text{Fe}} + SST + DP + \text{DCAP} + 0,1D_{\text{cal}}) \times 10^{-3} \quad (6)$$

Onde: Pss – Produção de sólidos secos em 2 horas (kg/2h); Q – Vazão de água bruta ($\text{m}^3/2\text{h}$); D_{Fe} – Dosagem de cloreto férrico (mg Fe/L); SST – Sólidos /suspensão na água bruta (mg/L); DP – Dosagem de polímero (mg/L); DCAP – Dosagem de carvão ativado (mg/L); D_{cal} – Dosagem de cal hidratada (mg/L).

A dosagem de cal não se encontrava disponível no Banco de Dados fornecido e, quando indagados sobre a mesma, foi informado que esta é aproximadamente constante e independente de

outros fatores, tendo valor médio de 1,422 kg/h. A ETA CDI faz uso de polímero e este varia de acordo com a vazão e a turbidez da água bruta. Sabendo-se que a ETA em questão não faz uso de carvão ativado durante o tratamento de água, esta parcela será desconsiderada para fins da quantificação do lodo.

A partir dos resultados de produção de lodo obtidos através do balanço de massa, será realizada uma regressão linear múltipla. Esta consiste em uma metodologia estatística que visa equacionar parâmetros que possuam correlação com outra variável, a qual se deseja estimar (Zar, 2010). Portanto, com a finalidade de se produzir um modelo matemático, que proporcionará uma estimativa da quantidade de lodo produzida utilizando-se de determinadas características da água bruta e das dosagens de produtos químicos utilizados, pode-se fazer uma aproximação através do modelo proposto, ainda que a correlação não seja exata. A Equação 7 representa o modelo supracitado.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \varepsilon_i \quad (7)$$

Onde: Y_i é a resposta no i -ésimo ensaio; X_{i1} , X_{i2} e X_{i3} são os valores das variáveis preditoras no i -ésimo ensaio; β_0 , β_1 , β_2 , β_3 - são os parâmetros do modelo e ε_i - é o termo do erro.

No caso do presente trabalho, pretende-se correlacionar a Turbidez da água bruta, que representaria o termo X_{i1} , a Dosagem de Coagulante, representada pelo termo X_{i2} , para estimativa da produção de lodo, termo Y_i na Equação 7.

Os dados utilizados foram cedidos pela Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora – CESAMA – na forma de um banco de dados, com anotações dos parâmetros feitas de duas em duas horas, para todos os meses do ano de 2010.

4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Escolheu-se trabalhar com a ETA Walfrido Machado Mendonça, também conhecida por CDI, cuja água é retirada do Ribeirão das Pedras, que tem profundidade média de 20 m e extensão de 8 km. Os dados trabalhados foram cedidos pela Companhia de Saneamento do município de Juiz de Fora – CESAMA – como um banco de dados coletados periodicamente para o ano de 2010. Os valores de turbidez da água bruta são medidos de duas em duas horas, enquanto todo o restante é medido de hora em hora. Com a finalidade de se correlacionar os dados do mesmo período escolheu-se trabalhar com os dados correspondentes ao intervalo de duas horas, possibilitando, também, a utilização de um maior número de informações.

A ETA em questão trabalha com as seguintes etapas de tratamento:

- Captação: retirada da água do manancial, por bombeamento.

- Coagulação: Unidade de mistura rápida, recebendo os coagulantes que auxiliarão no processo de agregação de colóides para formar partículas maiores e mais densas, os flocos.
- Floculação: o processo ocorre com gradientes de velocidade menores que na mistura rápida, possibilitando uma maior probabilidade de encontros entre os flocos, que ganham peso, volume e consistência (Figura 1).
- Decantação: neste processo os flocos formados na coagulação/floculação, sedimentam e depositam no fundo dos decantadores, o que fica retido nos tanques compõe o lodo dos decantadores (Figuras 2 e 3).



Figura 1: Tanque de Floculação
Fonte: Arquivo Pessoal.



Figura 2: Tanque de Decantação.
Fonte: Arquivo Pessoal.



Figura 3: Lodo acumulado no decantador.
Fonte: Arquivo Pessoal.

- Filtração: A água dos decantadores segue para os filtros, que são constituídos por areia e seixos em camadas superpostas. As partículas mais leves que não sedimentaram no decantador poderão ficar retidas nesta etapa. A limpeza do filtro é chamada de retro lavagem e consiste na passagem de água no sentido inverso, para retirar as partículas que ficaram agregadas ao filtro, dando origem ao segundo tipo de resíduo do estudo; água de lavagem dos filtros.

- Fluoretação: aplicação de uma dosagem de flúor com o objetivo de reduzir a incidência de cárie dentária.
- Cloração: após a retirada de partículas com impureza da água é necessária a desinfecção, que neste caso consiste na adição de cloro gasoso á água, a fim de inativar os microorganismos patogênicos que possam estar presentes na água.

A ETA CDI opera com três possíveis vazões, de acordo com o número de bombas que se encontram ligadas e com a demanda de água daquele período do dia. Em períodos de menor demanda, como a madrugada, o sistema opera com uma bomba, cuja vazão correspondente é de 285 m³/s e em períodos de maior demanda, como o começo da tarde, este opera com vazão máxima, ou seja, três bombas acionadas. Levando-se em consideração a variação da vazão ao longo do dia, optou-se por trabalhar com uma vazão média diária para fins da estimativa do lodo no modelo de regressão linear múltipla.

5 - RESULTADOS

A produção de sólidos foi calculada para o período de duas em duas horas, como exposto acima. No entanto, seria impraticável a exposição da totalidade dos dados, devido ao grande volume. Isto posto, escolheu-se compactar os resultados na forma de médias mensais de turbidez e na produção de sólidos totais por mês do ano de 2010, como se encontra representado na Tabela 1.

Tabela 1: Produção calculada mensal de sólidos e turbidez média mensal.

Mês	Produção de Sólidos (kg/mês)	Turbidez Média Mensal (uT)
Fevereiro	80596,87	35,33
Março	121748,93	49,51
Abril	66960,26	33,82
Maiο	71215,08	19,72
Junho	46806,32	13,15
Julho	54879,42	17,13
Agosto	53743,42	13,18
Setembro	74910,49	16,36
Outubro	48410,55	22,53
Novembro	131998,62	51,06
Dezembro	161456,48	59,68

É possível constatar analisando a Tabela 1 que em média, considerando o período chuvoso (fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro) e o período de estiagem (maio, junho, julho, agosto e setembro), a diferença na produção de sólidos entre esses dois períodos é de 40% do

total de sólidos produzidos. Esta é uma redução considerável que deve ser analisada, principalmente, considerando o gerenciamento desses resíduos e o dimensionamento das unidades para o tratamento e destinação final. Destaca-se para o valor máximo e mínimo de produção de sólidos durante o ano de 2010, sendo o valor máximo obtido no mês de dezembro de 161 toneladas de sólidos e o valor mínimo de 47 toneladas de sólidos produzidos no mês de junho. Considerando que a ETA em questão ainda não possui tratamento dos seus resíduos e que estes são lançados diretamente e constantemente nos corpos receptores, conclui-se que estes sólidos provavelmente impactarão o corpo receptor em questão, sendo necessários estudos mais detalhados para avaliar o mesmo.

Para uma melhor visualização da influência de cada parâmetro na produção final do lodo, foram elaboradas as Figuras 4 e 5, representados a seguir, onde a Figura 4 ilustra a participação de cada parâmetro escolhido de acordo com o peso produzido por mês e a Figura 5 descreve o percentual de participação de cada parâmetro na produção total de sólidos. Como pode ser observado em ambas as Figuras, a maior parcela de sólidos é proveniente dos SST existentes na água bruta, ou seja, de suas condições naturais, em segundo lugar se encontram os produtos oriundos das reações químicas do coagulante aplicado durante o processo, enquanto CAL e o polímero não apresentam influência significativa na produção final de sólidos. Pode verificar que os sólidos em suspensão totais são responsáveis por 70 a 90% do total do lodo produzido na ETA em questão, com a parcela de 10 a 30% ficando responsável pelos polímeros adicionados, a Cal e o Flocculan.

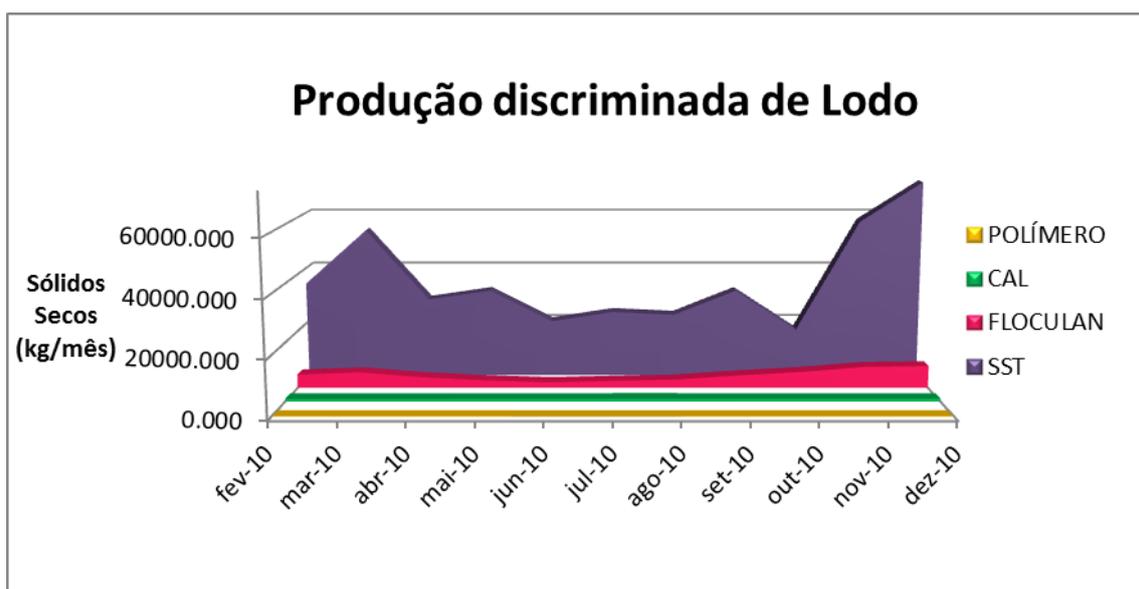


Figura 4: Influência dos parâmetros na produção final de Lodo ao mês. .

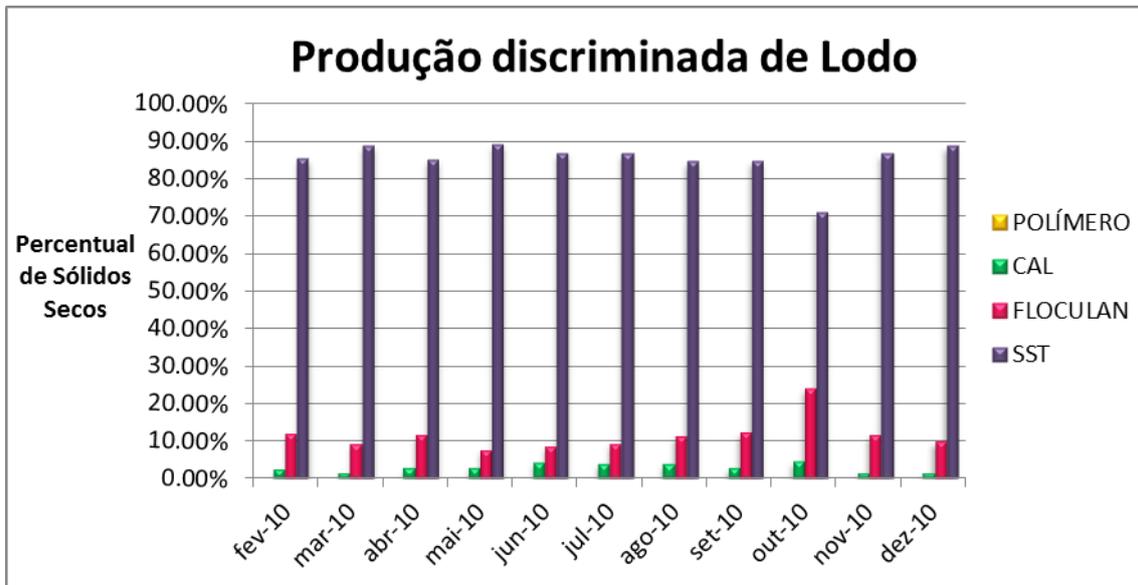


Figura 5: Percentual da influência dos parâmetros na produção final de Lodo.

Foram elaboradas as Figuras 6, 7 e 8 para ilustração da correlação entre a turbidez média semanal e a produção de sólidos totais naquela semana. É possível constatar que na época de chuva a correlação foi maior, devido a uma maior amplitude no intervalo das médias de turbidez, enquanto na época de estiagem aconteceu o oposto, com correlação abaixo do esperado, devido a um pequeno intervalo de variação deste parâmetro.

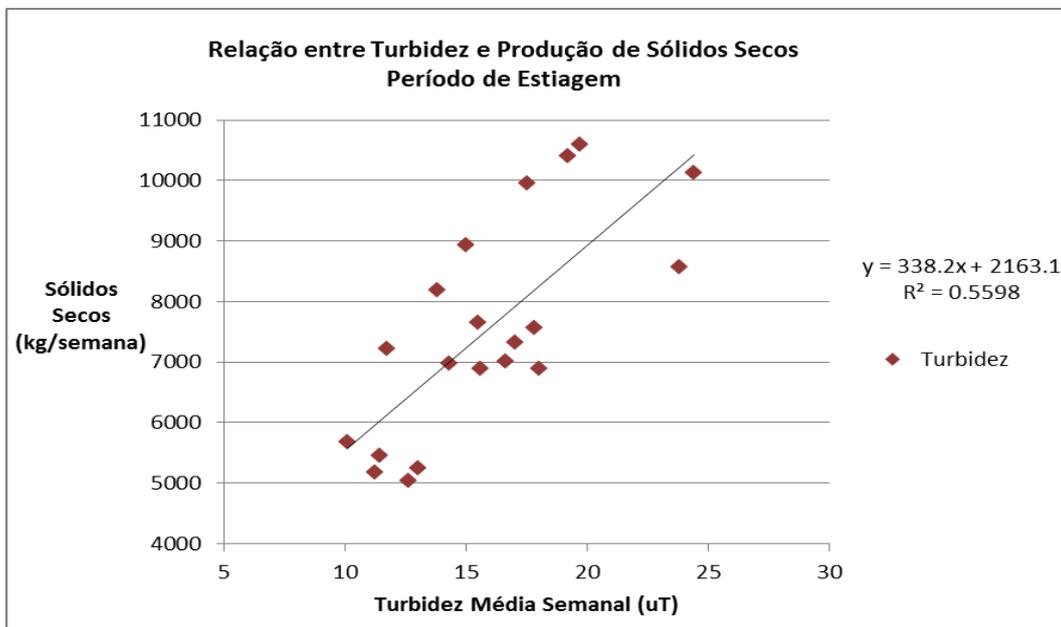


Figura 6: Correlação entre turbidez média semanal e produção de Lodo semanal durante o período de estiagem.

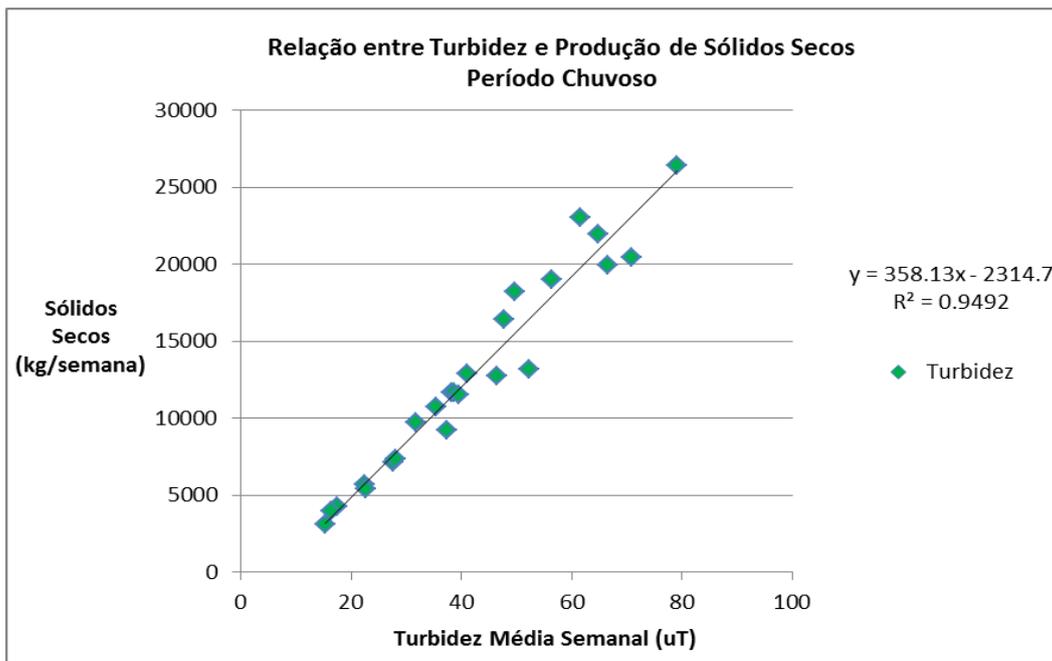


Figura 7: Correlação entre turbidez média semanal e produção de Lodo semanal durante no período chuvoso.

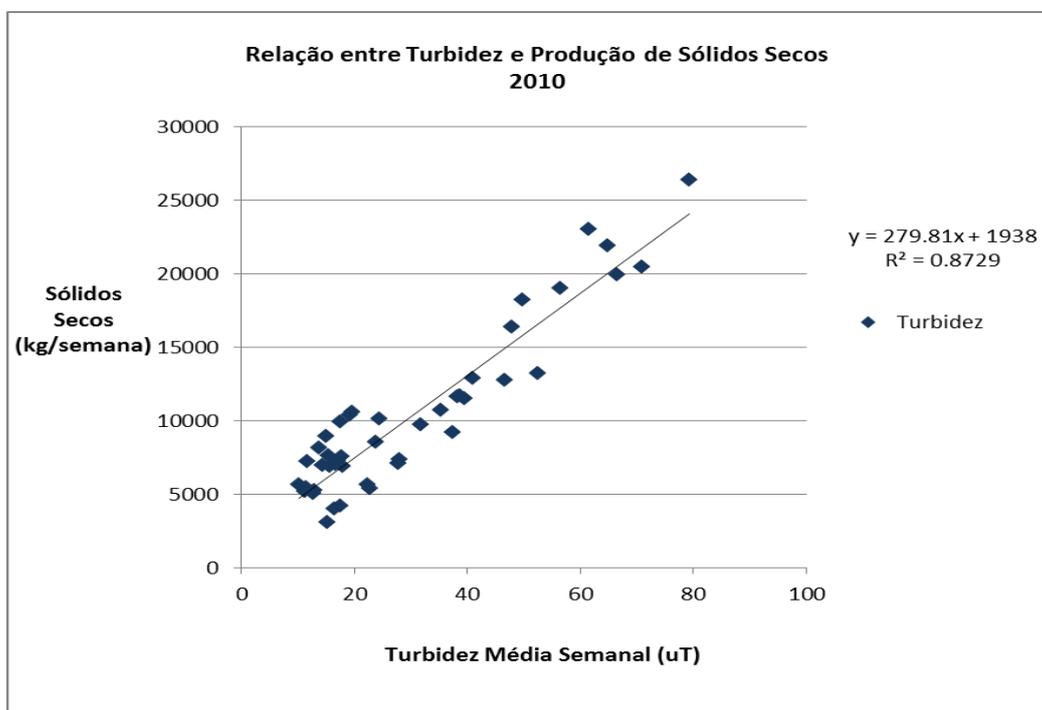


Figura 8: Correlação entre turbidez média mensal e produção de Lodo mensal para o período de 2010.

Verificou-se, nesta ETA, uma baixa correlação entre a turbidez e a concentração de coagulantes adicionadas à água (Figura 9). Sendo que esta correlação no período de chuva foi maior se comparado ao período de estiagem.

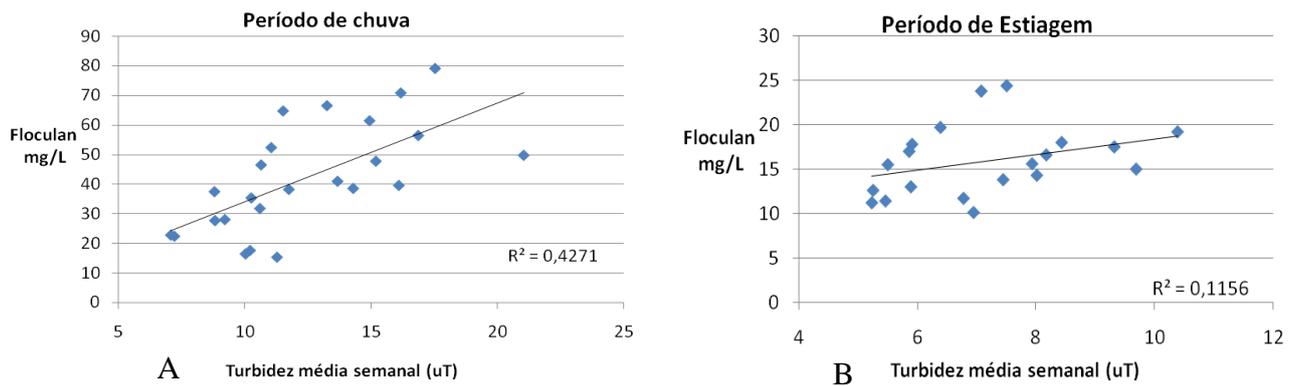


Figura 9: Correlação entre turbidez e a concentração de coagulante adicionada a água no período de chuva (A) e estiagem (B)

Como dados de entrada no modelo de Regressão Linear Múltipla escolheu-se trabalhar com a dosagem média de coagulante e a turbidez média da água bruta em um dia, pois como pode ser observado nas figuras 4 e 5, estes tem maior representatividade na produção final de lodo em comparação com cal e polímeros. Para a escolha desses parâmetros também foi considerado que a adição de coagulante não acompanha a variação de turbidez e deste modo, a concentração de coagulante deve ser um fator a ser considerado na análise de regressão (figura 9). Assim sendo, o modelo retornará a produção de sólidos secos em um dia. Após a realização da Regressão Linear Múltipla, obteve-se a equação 8 de estimativa da produção diária de lodo com índice de correlação de 0,84, considerado bom para fins de estimativa e melhor gerenciamento do mesmo. Vale frisar que os valores de entrada devem ser as médias diárias da turbidez e da dosagem média de coagulante (em mL/min), sendo assim a produção de sólidos sairá em kg/dia.

$$PSS = 0,28 \times Dc + 37,99 \times T + 227,24 \quad (8)$$

Sendo: PSS - Produção diária de sólidos (kg/dia); Dc- Dosagem média de coagulante em um dia (mL/min) e T- Turbidez média em um dia.

Destaca-se a limitação encontrada para a realização do balanço de massa após cada unidade de tratamento, isto é após as unidades de decantação e após as unidades de filtração. Pois, de posse destes dados se conseguiria obter dados setoriais e detalhados da produção de sólidos totais acumulada no decantador e a produção de sólidos diária gerada e descartada através das lavagens dos filtros na unidade de filtração. Este fato se deve por não ser feito a análise de turbidez antes da unidade de filtração. Caso esse monitoramento fosse realizado, poderia se fazer um modelo mais

detalhado da produção de sólidos desta ETA, almejando um dimensionamento das unidades de tratamento de tais resíduos.

Destaca-se também que seria importante constatar a relação entre sólidos em suspensão totais e a turbidez na época de estiagem e de chuva da própria água analisada através da medição destes parâmetros, para validar as relações aqui utilizadas e/ou criar, situação ideal, a própria relação para a ETA em questão. Recomenda-se também que sejam analisadas as concentrações de sólidos totais do decantador e da água de lavagem dos filtros para comparar com os dados gerados pelo modelo de regressão linear múltipla e com os dados calculados para que desta forma a equação 8 possa ser utilizada para a estimativa de sólidos no gerenciamento dos resíduos gerados por esta ETA. Adicionalmente, a equação 8 pode ser utilizada como ferramenta para a tomada de decisão em situações como necessidade de lavagem de decantadores e tratamento e disposição final dos resíduos da estação de tratamento de água em questão.

6 - CONCLUSÃO

Para que o processo de destinação final seja feito da maneira correta, seja através do reaproveitamento ou do descarte, caso o primeiro não seja viável, é necessário que se conheçam as características da composição do lodo. No entanto, o conhecimento da quantidade de resíduo e a variação destes ao longo do ano são de importância fundamental para o gerenciamento do mesmo. Através dos cálculos realizados no presente trabalho, foi possível observar a variação da produção de lodo ao longo do ano, sendo de fácil percepção que a época mais preocupante, no que diz respeito a este gerenciamento, é o período chuvoso. Isso ocorre devido ao carreamento de partículas para os corpos d'água pela chuva, aumentando significativamente os sólidos presentes na água e, como consequência direta, aumentando a turbidez.

Com a correlação extraída da regressão múltipla, a ETA terá condição de quantificar este lodo de forma muito simples, devido ao fato de os parâmetros de entrada serem frequentemente monitorados. Apesar do índice de correlação ter sido considerado satisfatório, vale salientar que este cálculo foi feito para um período muito curto, apenas um ano de dados e, para que a fórmula tenha uma representação mais fiel da realidade, será necessário um banco de dados maior. No entanto, a metodologia pode ser aplicada caso um banco de dados mais representativo seja fornecido.

Atenta-se ao fato que a prática do lançamento destes resíduos nos corpos receptores deve ser reavaliada devido ao grande aporte de sólidos de 161 a 46 toneladas de resíduos por mês e que destes aproximadamente de 10 a 30% são provenientes de produtos químicos adicionados ao processo, podendo gerar um grande impacto no corpo receptor.

AGRADECIMENTOS

À Pró-Reitoria de Pesquisa da UFJF (PROPESQ) pela concessão de uma bolsa de iniciação científica. A FAPEMIG pelo auxílio para participação nesse evento. À CESAMA, companhia de Saneamento municipal pela concessão dos dados de qualidade da água na entrada da Estação de tratamento de água.

BIBLIOGRAFIA

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. “*Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água*”. Engenharia Sanitária e Ambiental Vol.13 - Nº 1 - jan/mar 2008, 54-62, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA – ABNT. NBR 10.004: “*Resíduos. Sólidos: Classificação*.” Rio de Janeiro. Brasil. 2004.

ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS); AWWA (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION) Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residuals. New York. 294p. 1996.

BARROS, R. T. de V.(Ed.) et al. “*Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios*.” Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG,. 221 p. 1995.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. “*Estudo de caso - ETA São Carlos (São Paulo/Brasil) produção de sólidos em ETAs*” Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental 2002. P. 1-9. 2002.

BIDONE, F; SILVA, A. N.; MARQUES, D. M. “*Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs): Desidratação em Leitões de Secagem e Codisposição em Aterros Sanitários*” in Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final / Cleverson Vitório Andreoli (coordenador). -- Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.282 p. : il.Projeto PROSAB. 2001.

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. “*Política Nacional dos Recursos Hídricos*.” Brasília, DF. 1997.

BRASIL. “*Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011*”. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2011.

CORDEIRO, J. S. “*Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs)*”. In: ANDREOLI, C. V. (Coordenador). *Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB 2. 282p. 2001.

CORNWELL, D.A. et al. “*Handbook water treatment plant waste management*.” AWWA, Research Foundation, Denver, 431 p. 1987.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. “*Seleção de Tecnologias de tratamento de Água*”. Ed. LDiBe. V 2.682 p. 2008.

FERREIRA FILHO, S. S.; ALÉM SOBRINHO. P. “*Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água*”. Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 3, n. 3. Jul/Set. 1998.

PICCOLO, M.A.M., “*Correlação entre sólidos em suspensão, cor e turbidez para água captada no Rio Jucu – ES*”. 20º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – Anais – Rio de Janeiro. RJ, 1999.

REALI, M. A. P (Coord.). “*Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*”, Rio de Janeiro - RJ, 225p. 1999.

RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. 102 p. 2001.

SARON, A.; LEITE, V. M. B. “*Quantificação de lodo em estação de tratamento de Água*”. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa. Anais. ABES. 2001.

TEIXEIRA, E. C.; AP, S. “*Avaliação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada.*” In: IV Encontro Nacional de Sedimentos, 2000, Santa Maria. IV Encontro Nacional de Sedimentos, 2000.

ZAR, J. H. “*Biostatistical Analysis*”. Prentice Hall, Inc. New Jersey. USA. 5ª edição.