



I-408 - BALANÇO DE MASSA DOS RESÍDUOS DE UMA ETA DE FILTRAÇÃO DIRETA

Cellany Ramos Anacleto ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFRN.

Hélio Rodrigues dos Santos ⁽²⁾

Engenheiro Civil pela UFRN. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Associado da UFRN.

Endereço⁽¹⁾: Av. Senador Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário Lagoa Nova Natal / RN - Brasil - 59.072-970 - Tel: (84) 99474-6685 - e-mail: cellany.anacleto.016@ufrn.edu.br

RESUMO

No Brasil, os resíduos de grande parte das Estações de Tratamento de Água (ETAs) são descartados diretamente em corpos d'água, sem passar por qualquer processo de tratamento, a despeito da proibição de tal prática pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Na região Nordeste e algumas outras partes do país, é comum o emprego de tecnologias de filtração direta (que não apresentam unidades de clarificação, como decantador ou flotador, e, eventualmente, unidades de floculação), nas quais o principal resíduo gerado é a Água de Lavagem dos Filtros (ALF). As ALFs, embora apresentem concentrações de sólidos muito menores do que os lodos de decantadores, também resultam em grandes impactos quando lançadas nos corpos hídricos (aumento da turbidez, presença de metais etc.), de modo que o tratamento do lodo dessas ETAs também é necessário. Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar um roteiro, baseado em Ferreira Filho (2017), para a elaboração do balanço de massa em ETAs de filtração direta, com a apresentação de um caso prático em uma ETA de filtração direta *em linha* (a ETA não tem floculadores) com vazão de cerca de 600 L/s, que trata a água de uma lagoa litorânea com baixa turbidez, cor moderada e estado trófico geralmente oligotrófico. Com a elaboração do balanço de massa, foi estimada a quantidade de lodo gerado na ETA (1.690 kg/dia), possibilitando a posterior elaboração de alternativas para o tratamento dos resíduos nela produzidos.

PALAVRAS-CHAVE: Água de lavagem dos filtros; Lodo de ETA; Filtração direta; Balanço de Massa.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a questão dos lodos resultantes do tratamento de água para abastecimento foi negligenciada por um longo período, só recebendo maior atenção de pesquisadores e órgãos ambientais mais recentemente. Devido a isso, a maioria das ETAs no país não realiza a disposição adequada desses resíduos (FERREIRA FILHO, 2017).

Diversas leis e resoluções relacionadas ao tema foram estabelecidas após a maioria das ETAs no país já estarem operando. Por exemplo, a Lei 9.605/1998 impõe sanções penais e administrativas para ações e atividades que prejudicam o meio ambiente, e a Resolução do CONAMA Nº 237/1997 exige licenciamento ambiental para atividades com potencial poluidor. Além disso, segundo a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, os resíduos gerados pelas estações de tratamento de água (ETAs) são classificados como resíduos sólidos, exigindo tratamento e disposição final adequados. Adicionalmente, a NBR-10.004 (2004) também categoriza os lodos das ETAs como resíduos sólidos, proibindo seu descarte in natura em corpos hídricos superficiais. Assim, a destinação e disposição final do lodo gerado nas ETAs raramente eram incluídas nos projetos anteriores à vigência de tais leis, sendo hoje exigidos para novos projetos e ampliações (ACHON et al., 2015).

Na região Nordeste e em algumas outras partes do país é comum o emprego de tecnologias de filtração direta (que não apresentam unidades de clarificação, como decantador ou flotador, e, eventualmente, unidades de floculação) – principalmente para o tratamento de águas de reservatórios –, nas quais o principal resíduo gerado é a Água de Lavagem dos Filtros (ALF). Como as ALFs apresentam concentrações de sólidos muito menores do que os lodos de decantadores, isto pode induzir à crença de que as mesmas exercem um baixo impacto nos corpos hídricos, motivando a prática bastante frequente de lançamento das mesmas nos mananciais superficiais. Contudo, as ALFs também resultam em grandes impactos quando lançadas nos corpos hídricos, provocando o



aumento da turbidez do manancial – reduzindo a luminosidade do meio –, da concentração de metais tóxicos no bentos, além de poderem ser tóxicas para diversos organismos aquáticos (Di Bernardo et al., 2011), de modo que o tratamento do lodo dessas ETAs também é necessário.

O balanço de massa é o método mais adequado para estimar a produção de resíduos em uma ETA, pois possibilita quantificar a massa de lodo a ser gerada em cada etapa de tratamento, sendo um procedimento também recomendado para as ETAs que foram construídas sem considerar unidades de tratamento de resíduos em seus projetos (KATAYAMA, 2012). Além disso, para que uma ETA possa enviar seu lodo para disposição em aterro sanitário, p.ex., é preciso que possua unidades de adensamento, desaguamento e secagem do lodo, alcançando a concentração de sólidos necessária (JANUÁRIO e FERREIRA FILHO, 2007), de modo que o balanço de massa permite a quantificação da produção de lodo em cada etapa e o ajuste do processo de tratamento.

Tendo em vista a importância da elaboração do balanço de massa dos resíduos em ETAs, incluindo as de filtração direta, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um roteiro prático, baseado em Ferreira Filho (2017), para elaboração do balanço de massa ETAs de filtração direta, de modo a subsidiar a elaboração de projetos de sistemas de tratamento das ALFs para qualquer das tecnologias de filtração direta (filtração direta descendente, ascendente ou dupla filtração). Para ilustrar o emprego do roteiro, será apresentado o balanço de massa de uma ETA de filtração direta em linha (ETA Jiqui) com vazão de cerca de 600 L/s, que trata a água de uma lagoa costeira (lagoa do Jiqui).

MATERIAL E MÉTODOS

LAGOA DO JIQUI

A Lagoa do Jiqui se localiza no município de Parnamirim, próximo ao limite com a zona sul do Natal, Rio Grande do Norte. Esse corpo hídrico dispõe de 1.210 m de comprimento e de 200 m de largura máxima, totalizando uma área de 15,25 ha e um volume máximo de 466.093 m³ (LIMA, 2010). Esse manancial é uma das principais fontes de abastecimento de água de Natal, atendendo aproximadamente 30% da população das zonas Sul, Leste e Oeste da cidade (IDEMA, 2017).

Durante cerca de oito meses por ano, este corpo hídrico tem água de excelente qualidade, com cor variando entre 15 e 20 uC e turbidez entre 1,5 e 2,0 NTU. No entanto, após chuvas intensas, a cor e a turbidez aumentam significativamente devido ao carreamento de sedimentos e matéria orgânica (NATAL, 2015).

ETA JIQUI

A ETA Jiqui é do tipo filtração em linha e trata uma vazão de cerca de 600 L/s. O processo inclui coagulação com policloreto de alumínio (PAC), filtração descendente em areia e desinfecção com cloro. A pré-oxidação com cloro é utilizada somente quando a cor da água é alta (NATAL, 2015).

A lavagem dos filtros é feita com água em contracorrente, fornecida por um reservatório elevado. O sistema auxiliar de lavagem com ar, originalmente presente na ETA, está desativado há vários anos. Os resíduos da lavagem dos filtros (água de lavagem dos filtros - ALF) são descartados no Rio Pitimbu, a jusante da lagoa do Jiqui (PEREIRA, 2014).

Essa estação possui um sistema de filtração composto por 8 filtros conjugados em pares, totalizando, assim, 4 unidades filtrantes. As carreiras de filtração tipicamente duram cerca de 24 horas nos períodos de estiagem, sendo que essa duração pode ser bastante reduzida em épocas de chuvas intensas. A lavagem dos filtros é realizada somente com água em fluxo ascendente, com tempo de lavagem de cerca de 9 minutos. (Pereira et al., 2015).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS

Durante um estudo conduzido por Pereira et al. (2015), foram realizadas 28 análises em amostras compostas para caracterização das ALFs. As concentrações médias obtidas na ALF dos filtros da ETA foram de 135 mg/L para sólidos dissolvidos totais (SDT), 157 mg/L para sólidos suspensos totais (SST) e 292 mg/L para sólidos totais (ST).

BALANÇO DE MASSA

O balanço de massa utiliza o princípio da conservação da massa e tem por objetivo determinar a distribuição da propagação da matéria em um sistema controlado e, assim, identificar os fluxos de massa nos diversos segmentos de um determinado sistema (RODRIGUES, 2018). A execução do balanço de massa possibilita que as vazões líquidas e sólidas a/efluentes de unidades de processo possam ser calculadas e, com estas, pode-se efetuar seu dimensionamento (FERREIRA FILHO, 2017). Neste trabalho, o balanço de massa da ETA Jiqui será executado considerando a concepção de um sistema de tratamento das ALFs de acordo com a Figura 1.

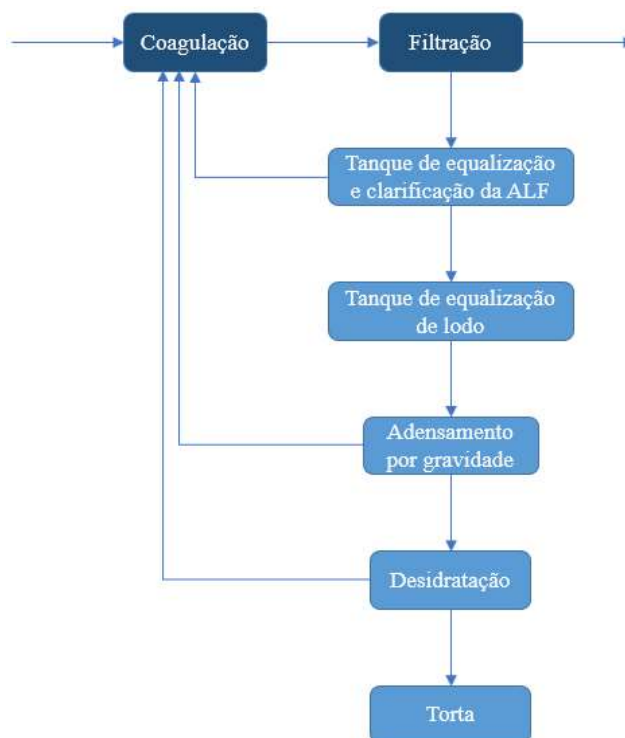


Figura 1 – Concepção proposta para o tratamento das fases líquida e sólida considerando a recirculação da ALF. Fonte: Ferreira Filho, 2017 (adaptado).

Para o cálculo do balanço de massa, foi necessária a elaboração de uma planilha no Microsoft Excel®, já que esse cálculo envolve diversas iterações. Será apresentado um roteiro do balanço de massa, com base em Ferreira Filho (2017), e, além disso, os parâmetros que foram adotados para execução do balanço de massa, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros adotados para execução do balanço de massa. Fonte: Ferreira Filho, 2017 (adaptado).

Valor de taxa de captura de sólidos (%)		
Sistema de clarificação de água de lavagem	85	(adotado)
Adensadores por gravidade	85	(adotado)
Unidades de desidratação mecanizadas	95	(adotado)
Teor de sólidos (%)		
Sistema de clarificação de água de lavagem	0,5	(adotado)
Adensadores por gravidade	2	(adotado)
Unidades de desidratação mecanizadas	22	(adotado)
Massa específica do lodo (kg/m ³)		



Lodo descarregado do sistema de equalização e clarificação da ALFs	1020 (adotado)
Lodo adensado	1060 (adotado)
Lodo desidratado	1200 (adotado)

EQUAÇÕES QUE ANTECEDEM O BALANÇO DE MASSA

Antes de iniciar o balanço de massa propriamente dito, foi necessário realizar alguns cálculos, descritos abaixo e na Tabela 2.

Tabela 2 – Equações iniciais que antecedem o balanço de massa. Fonte: Ferreira Filho, 2017 (adaptado).

Número	Descrição	Equação
1	Relação entre SST e Turbidez	$SST = K * Turbidez$
2	Determinação da dosagem de coagulante expressa como $mg Al^{+3}/L$	$D_{Al} = \frac{D_{sal} * 54}{102}$
3	Sólidos oriundos da água bruta	$Massa\ de\ SST_{entrada} = Q * SST$
4	Sólidos produzidos devido ao coagulante	$PL_{coagulante} = Q * K_{Al} * D_{Al} * 86,4$
5	Produção de lodo na ETA	$PL = Q * (4,22 * D_{Al} + K * turb) * 10^{-3}$
6	Volume de ALF consumido na ETA	$V_t = V_L * n_f$
7	Relação entre o volume consumido de ALF e o volume aduzido para a ETA	$Q \rightarrow 100\%$ $V_L \rightarrow x$

De acordo com a Tabela 3, para cada $1\ mg\ Al^{+3}/L$ é capaz de gerar de 3,56 a 4,89 mg de lodo por litro. Dessa forma, foram adotadas duas moléculas de água de hidratação para o cálculo da produção de lodo oriundos do coagulante.

Tabela 3 – Produção de lodo ($mgSST\ Al^{+3}/L$) decorrente da adição de sais de alumínio como coagulante para diferentes números de moléculas de água de hidratação. Fonte: Ferreira Filho, 2017 (adaptado).

Coagulante	Número de águas de hidratação		
	1	2	3
$1\ mg\ Al^{+3}/L$	3,56	4,22	4,89

RELAÇÃO ENTRE SST E TURBIDEZ

$$SST = K * Turbidez \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

SST = concentração de sólidos em suspensão totais em mg/L

Turbidez = turbidez em UNT

K = constante podendo variar entre 1,0 e 2,0

DETERMINAÇÃO DA DOSAGEM DE COAGULANTE EXPRESSA COMO $MG\ Al^{+3}/L$

$$D_{Al} = \frac{D_{sal} * 54}{102} \quad \text{equação (2)}$$

Em que:

D_{Al} = dosagem de coagulante expresso como Al^{+3} ($mg\ Al^{+3}/L$)

D_{sal} = dosagem do coagulante expressa como sal ($mg\ Al_2O_3$)

SÓLIDOS ORIUNDOS DA ÁGUA BRUTA

$$Massa\ de\ SST_{entrada} = Q * SST \quad \text{equação (3)}$$

Em que:

Q = Vazão de entrada à ETA em m^3/dia

SST = Sólidos suspensos totais em kg/m³

SÓLIDOS PRODUZIDOS DEVIDO AO COAGULANTE

$$PL_{\text{coagulante}} = Q * K_{Al} * D_{Al} * 86,4$$

equação (4)

Em que:

Q = Vazão da ETA em m³/dia

K_{Al} = constante do Al podendo variar de 3,56 a 4,89

D_{Al} = dosagem de coagulante expresso como Al⁺³ (mg Al⁺³/L)

PRODUÇÃO DE LODO NA ETA

Admitindo-se 2 águas de hidratação (valor intermediário), tem-se:

$$PL = Q * (4,22 * D_{Al} + K * turb) * 10^{-3}$$

equação (5)

Em que:

PL = produção de lodo na ETA em kg/dia

Q = vazão da água bruta em m³/dia

D_{Al} = Dosagem de sais de alumínio, expresso como Al em mg/L

K = constante da relação entre SST e turbidez

turb = turbidez

VOLUME DE ALF CONSUMIDO NA ETA E RELAÇÃO ENTRE O VOLUME CONSUMIDO DE ALF E O VOLUME ADUZIDO PARA A ETA

Volume de água de lavagem total consumido na ETA:

$$V_t = V_L * n_f$$

equação (6)

V_L = volume de água de lavagem consumido em uma unidade de filtração em m³

n_f = número de unidades de filtração

Relação entre o volume consumido de ALF e o volume aduzido para a ETA:

$$Q \rightarrow 100\%$$

$$V_L \rightarrow x$$

equação (7)

EQUAÇÕES PARA EXECUÇÃO DO BALANÇO DE MASSA

Para a execução do balanço de massa na ETA Jiqui, foram utilizadas as fórmulas da Tabela 4.

Tabela 4 – Equações para execução do balanço de massa. Fonte: Ferreira Filho, 2017 (adaptado).

Número	Descrição	Equação
8	Vazão sólida efluente da unidade de filtração e afluente ao sistema de clarificação de ALF	$Q_{s,e} = PL$
9	Volume de água de lavagem total consumido na ETA	$V_t = V_L * n_f$
10	Vazão líquida efluente da unidade de filtração correspondente à vazão de água tratada	$Q_{l,e} = Q_{l,a} - V_t$
11	Vazão sólida de lodo efluente do sistema de clarificação de água de lavagem dos filtros e encaminhada ao tanque de lodo	$Q_{s,clar} = \frac{Q_{s,a} * TC(\%)}{100}$
12	Vazão sólida efluente do sistema de clarificação de ALF e encaminhada para o início do processo de tratamento	$Q_{s,e} = Q_{s,a} - Q_{s,clar}$
13	Vazão líquida do lodo efluente da unidade de clarificação de ALF e afluente ao tanque de lodo	$Q_{l,lodo} = \frac{100 * Q_{s,clar}}{TS(\%) * \rho_{lodo}}$
14	Vazão líquida efluente da unidade de clarificação retornada para o início do processo de tratamento	$Q_{l,e} = Q_{l,a} - Q_{l,lodo}$
15	Vazão líquida do lodo afluente ao tanque de equalização de lodo	$Q_{l,a} = Q_{l,clar}$
16	Vazão sólida do lodo afluente ao tanque de equalização de lodo	$Q_{s,a} = Q_{s,clar}$



17	Massa de polímero adicionado ao lodo afluente à unidade de adensamento	$M_{p,ad} = \frac{Q_{s,a} * D_{p,ad}}{1.000}$
18	Vazão sólida do lodo efluente da unidade de adensamento e encaminhada ao sistema de desidratação	$Q_{s,ad} = \frac{(Q_{s,a} + M_{p,ad}) * TC(\%)}{100}$
19	Vazão sólida efluente da unidade de adensamento e enviada para o início do processo de tratamento	$Q_{s,e} = Q_{s,a} - Q_{s,ad}$
20	Vazão líquida do lodo efluente da unidade de adensamento e afluente ao sistema de desidratação	$Q_{l,lodo} = \frac{100 * Q_{s,ad}}{TS(\%) * \rho_{lodo}}$
21	Vazão líquida efluente da unidade de adensamento e enviada para o início do processo de tratamento	$Q_{l,e} = Q_{l,ad} - Q_{l,lodo}$
22	Massa de polímero adicionado ao lodo afluente à unidade de desidratação	$M_{p,des} = \frac{Q_{s,a} * D_{p,des}}{1.000}$
23	Vazão sólida do lodo efluente da unidade de desidratação	$Q_{s,des} = \frac{(Q_{s,a} + M_{p,des}) * TC(\%)}{100}$
24	Vazão sólida efluente da unidade de desidratação e enviada para o início do processo de tratamento	$Q_{s,e} = Q_{s,a} - Q_{s,des}$
25	Volume de lodo produzido pelo sistema de desidratação	$V_{lodo} = \frac{100 * Q_{s,des}}{TS(\%) * \rho_{lodo}}$
26	Volume de água incorporado no lodo desidratado	$V_{água} = \frac{Q_{s,des} * (100 - TS(\%))}{TS(\%) * \rho_{água}}$
27	Vazão líquida efluente da unidade de desidratação e enviada para o início do processo de tratamento	$Q_{l,e} = Q_{l,des} - V_{água}$
28	Vazão líquida afluente à unidade de filtração	$Q_{l,a} = Q_l + Q_{l,rec}$
29	Vazão sólida afluente à unidade de filtração	$Q_{s,a} = Q_s + Q_{s,rec}$

BALANÇO DE MASSA PARA A UNIDADE DE FILTRAÇÃO

Após determinar as vazões líquidas e sólidas que chegam à unidade de filtração, bem como as vazões de água de lavagem, é possível realizar o balanço de massa. Considerando que a unidade de filtração possui uma taxa de captura de sólidos de 100%, toda a carga de sólidos afluente deverá ser direcionada para o sistema de equalização e clarificação da água de lavagem. Assim, temos que:

$$Q_{s,e} = PL \quad \text{equação (8)}$$

Em que:

$Q_{s,e}$ = vazão sólida efluente da unidade de filtração e afluente ao sistema de clarificação de ALF em kg/dia

PL = produção de lodo na ETA em kg/dia

Além disso, a vazão líquida que precisa ser transferida do sistema de filtração para o sistema de clarificação de água de lavagem será igual a:

$$V_t = V_L * n_f \quad \text{equação (9)}$$

Em que:

V_t = volume de água de lavagem total consumido na estação de tratamento de água em m³/dia

V_L = volume de água de lavagem consumido em uma unidade de filtração em m³/dia

n_f = número de unidades de filtração

Portanto, a vazão líquida efluente do sistema de filtração, que corresponde à vazão de água tratada, é:

$$Q_{l,e} = Q_{l,a} - V_t \quad \text{equação (10)}$$

Em que:

$Q_{l,e}$ = vazão líquida efluente da unidade de filtração correspondente à vazão de água tratada em m³/dia

$Q_{l,a}$ = vazão líquida afluente à unidade de filtração em m³/dia

BALANÇO DE MASSA PARA O SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO E CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS

De posse das vazões líquidas e sólidas afluentes ao sistema de equalização e clarificação da água de lavagem dos filtros:



$$Q_{s,clar} = \frac{Q_{s,a} \cdot TC(\%)}{100} \quad \text{equação (11)}$$

Em que:

$Q_{s,clar}$ = vazão sólida de lodo efluente do sistema de clarificação de água de lavagem dos filtros e encaminhada ao tanque de lodo em kg/dia

$Q_{s,a}$ = vazão sólida afluyente à unidade de clarificação de água de lavagem dos filtros em kg/dia

$TC(\%)$ = taxa de captura de sólidos da unidade de clarificação de água de lavagem dos filtros em %

Logo, a vazão sólida encaminhada do tanque de clarificação de água de lavagem dos filtros para o início do processo de tratamento deve ser igual a:

$$Q_{s,e} = Q_{s,a} - Q_{s,clar} \quad \text{equação (12)}$$

Em que:

$Q_{s,e}$ = vazão sólida efluente do sistema de clarificação de ALF e encaminhada para o início do processo de tratamento

Dessa maneira, a vazão líquida descarregada pela unidade deve ser igual a:

$$Q_{l,lodo} = \frac{100 \cdot Q_{s,clar}}{TS(\%) \cdot \rho_{lodo}} \quad \text{equação (13)}$$

Em que:

$Q_{l,lodo}$ = vazão líquida do lodo efluente da unidade de clarificação de ALF e afluyente ao tanque de lodo

$TS(\%)$ = teor de sólidos do lodo em %

ρ_{lodo} = massa específica do lodo em kg/m³

A vazão líquida que sai do sistema de clarificação de água de lavagem dos filtros e retorna ao início do processo de tratamento deve ser igual a:

$$Q_{l,e} = Q_{l,a} - Q_{l,lodo} \quad \text{equação (14)}$$

Em que:

$Q_{l,a}$ = vazão líquida afluyente à unidade de clarificação em m³/dia

$Q_{l,e}$ = vazão líquida efluente da unidade de clarificação retornada para o início do processo de tratamento em m³/dia

BALANÇO DE MASSA PARA O TANQUE DE EQUALIZAÇÃO DE LODO BRUTO

O tanque de lodo bruto receberá o lodo proveniente do sistema de clarificação da água de lavagem dos filtros. Como não ocorrerá nenhuma operação nesta unidade que altere suas vazões líquidas e sólidas de entrada, havendo apenas uma operação de equalização, suas vazões de entrada serão numericamente iguais às suas vazões de saída. Assim, conclui-se que:

$$Q_{l,a} = Q_{l,clar} \quad \text{equação (15)}$$

$$Q_{s,a} = Q_{s,clar} \quad \text{equação (16)}$$

Em que:

$Q_{l,a}$ = vazão líquida do lodo afluyente ao tanque de equalização de lodo em m³/dia

$Q_{l,clar}$ = vazão líquida efluente do sistema de clarificação e afluyente ao tanque de lodo em m³/dia

$Q_{s,a}$ = vazão sólida do lodo afluyente ao tanque de equalização de lodo em kg/dia

$Q_{s,clar}$ = vazão sólida do lodo efluente do sistema de clarificação de água de lavagem dos filtros de lavagem dos filtros e encaminhada ao tanque de lodo em kg/dia

BALANÇO DE MASSA PARA A UNIDADE DE ADENSAMENTO

Para garantir que o processo de adensamento do lodo seja eficaz, é necessário prever uma dosagem de polímero, cujos valores geralmente variam de 3 a 6 g/kg de ST (Ferreira Filho, 2017). Foi escolhida uma dosagem média de 4 g/kg de ST. Assim, a massa do polímero a ser incorporado ao lodo a ser adensado será igual a:

$$M_{p,ad} = \frac{Q_{s,a} \cdot D_{p,ad}}{1.000} \quad \text{equação (17)}$$

Em que:

$M_{p,ad}$ = massa de polímero adicionado ao lodo afluyente à unidade de adensamento em kg/dia

$Q_{s,a}$ = vazão sólida afluyente à unidade de adensamento em kg/dia



$D_{p,ad}$ = dosagem de polímero em g/kg ST

Dando prosseguimento, tem-se que:

$$Q_{s,ad} = \frac{(Q_{s,a} + M_{p,ad}) * TC(\%)}{100} \quad \text{equação (18)}$$

Em que:

$Q_{s,ad}$ = vazão sólida do lodo efluente da unidade de adensamento e encaminhada ao sistema de desidratação em kg/dia

$TC(\%)$ = taxa de captura de sólidos da unidade de adensamento em %

Por diferença, tem-se, portanto, que a vazão sólida encaminhada da unidade de adensamento para o início do processo de tratamento deverá ser igual a:

$$Q_{s,e} = Q_{s,a} - Q_{s,ad} \quad \text{equação (19)}$$

Em que:

$Q_{s,e}$ = vazão sólida efluente da unidade de adensamento e enviada para o início do processo de tratamento em kg/dia

Por conseguinte, a vazão líquida descarregada pela unidade de adensamento deverá ser igual a:

$$Q_{l,lodo} = \frac{100 * Q_{s,ad}}{TS(\%) * \rho_{lodo}} \quad \text{equação (20)}$$

onde:

$Q_{l,lodo}$ = vazão líquida do lodo efluente da unidade de adensamento e afluente ao sistema de desidratação em m³/dia

$TS(\%)$ = teor de sólidos do lodo em %

ρ_{lodo} = massa específica do lodo em kg/m³

Uma vez conhecida a vazão de lodo adensado, pode-se calcular a vazão líquida efluente da unidade de adensamento e encaminhada para o início do processo de tratamento.

$$Q_{l,e} = Q_{l,ad} - Q_{l,lodo} \quad \text{equação (21)}$$

Em que:

$Q_{l,e}$ = vazão líquida efluente da unidade de adensamento e enviada para o início do processo de tratamento em m³/dia

$Q_{l,ad}$ = vazão líquida afluente à unidade de adensamento em m³/dia

BALANÇO DE MASSA PARA A UNIDADE DE DESIDRATAÇÃO

Da mesma forma que para a etapa de adensamento, também está prevista a aplicação de polímero na desidratação. Será utilizada uma dosagem de 4 g/kg ST. Portanto, a massa de polímero incorporada ao lodo desidratado será igual a:

$$M_{p,des} = \frac{Q_{s,a} * D_{p,des}}{1.000} \quad \text{equação (22)}$$

Em que:

$M_{p,des}$ = massa de polímero adicionado ao lodo afluente à unidade de desidratação em kg/dia

$Q_{s,a}$ = vazão sólida afluente à unidade de desidratação em kg/dia

$D_{p,des}$ = dosagem de polímero em g/kg ST

Em seguida, tem-se que:

$$Q_{s,des} = \frac{(Q_{s,a} + M_{p,des}) * TC(\%)}{100} \quad \text{equação (23)}$$

Em que:

$Q_{s,des}$ = vazão sólida do lodo efluente da unidade de desidratação em kg/dia

$TC(\%)$ = taxa de captura de sólidos da unidade de desidratação em %

Logo, a vazão sólida encaminhada da unidade de desidratação para o início do processo de tratamento deverá ser igual a:

$$Q_{s,e} = Q_{s,a} - Q_{s,des} \quad \text{equação (24)}$$

Em que:



$Q_{s,e}$ = vazão sólida efluente da unidade de desidratação e enviada para o início do processo de tratamento em kg/dia

Com base na massa de sólidos secos produzida por dia, pode-se então estimar o volume de lodo “úmido” produzido na etapa de desidratação:

$$V_{lodo} = \frac{100 * Q_{s,des}}{TS(\%) * \rho_{lodo}} \quad \text{equação (25)}$$

Em que:

V_{lodo} = volume de lodo produzido pelo sistema de desidratação em m³/dia

$TS(\%)$ = teor de sólidos do lodo desidratado em %

ρ_{lodo} = massa específica do lodo desidratado em kg/dia

A vazão líquida que retorna da etapa de desidratação para o início do processo de tratamento pode ser determinada estimando-se a massa de água incorporada no lodo, a qual pode ser calculada da seguinte maneira:

$$V_{\text{água}} = \frac{Q_{s,des} * (100 - TS(\%))}{TS(\%) * \rho_{\text{água}}} \quad \text{equação (26)}$$

Em que:

$V_{\text{água}}$ = volume de água incorporado no lodo desidratado em m³/dia

$\rho_{\text{água}}$ = massa específica da água em kg/m³

Assim sendo, a vazão de retorno para o início do processo de tratamento deverá ser igual a:

$$Q_{l,e} = Q_{l,des} - V_{\text{água}} \quad \text{equação (27)}$$

Em que:

$Q_{l,e}$ = vazão líquida efluente da unidade de desidratação e enviada para o início do processo de tratamento em m³/dia

$Q_{l,des}$ = vazão líquida afluyente à unidade de desidratação em m³/dia

Dessa forma, as vazões líquidas e sólidas a serem encaminhadas para o início do processo de tratamento correspondem à soma das vazões provenientes do sistema de clarificação de água de lavagem dos filtros e dos filtrados gerados nas operações de adensamento e desidratação.

As novas vazões líquidas e sólidas afluentes à unidade de filtração deverão, portanto, ser iguais a:

$$Q_{l,a} = Q_l + Q_{l,rec} \quad \text{equação (28)}$$

Em que:

$Q_{l,a}$ = vazão líquida afluyente à unidade de filtração em m³/dia

Q_l = vazão líquida afluyente à ETA em m³/dia

$Q_{l,rec}$ = vazão líquida de recirculação enviada para o início do processo de tratamento em m³/dia

$$Q_{s,a} = Q_s + Q_{s,rec} \quad \text{equação (29)}$$

Em que:

$Q_{s,a}$ = vazão sólida afluyente à unidade de filtração em kg/dia

Q_s = vazão sólida afluyente à ETA em kg/dia

$Q_{s,rec}$ = vazão sólida de recirculação enviada para o início do processo de tratamento em kg/dia

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que a vazão que chega à ETA é de 0,6 m³/s (equivalente a 51840 m³/dia), o volume diário total é de 43.200 m³/dia. Assim, a relação entre o volume de água usado na lavagem dos filtros e o volume total é de 2,8%, uma proporção significativa. Portanto, faz sentido reaproveitar a água da ETA Jiqui.

A quantidade de água utilizada para lavar os filtros na ETA Jiqui é de cerca de 1440 m³, o que seria suficiente para abastecer uma cidade com aproximadamente 7.000 habitantes, considerando um consumo per capita de 200 litros por habitante por dia. Além disso, estimou-se que a produção diária de lodo na ETA seja de cerca de 1.690 kg.



Após várias iterações, os resultados finais do balanço de massa são apresentados na Tabela 5 e na Figura 2. O balanço de massa foi encerrado quando as diferenças nas vazões de recirculação entre as iterações foram inferiores a 1%.

Tabela 5 – Resultados da sétima iteração do balanço de massa.

Descrição	Equação
Vazão sólida efluente da unidade de filtração e afluente ao sistema de clarificação de ALF	$Q_{s,e} = 2.444,7 \text{ kg/dia}$
Volume de água de lavagem total consumido na ETA	$V_t = 1.440,0 \text{ m}^3/\text{dia}$
Vazão líquida efluente da unidade de filtração correspondente à vazão de água tratada	$Q_{l,e} = 51.834,0 \text{ m}^3/\text{dia}$
Vazão sólida de lodo efluente do sistema de clarificação de água de lavagem dos filtros e encaminhada ao tanque de lodo	$Q_{s,clar} = 2.078,0 \text{ kg/dia}$
Vazão sólida efluente do sistema de clarificação de ALF e encaminhada para o início do processo de tratamento	$Q_{s,e} = 366,7 \text{ kg/dia}$
Vazão líquida do lodo efluente da unidade de clarificação de ALF e afluente ao tanque de lodo	$Q_{l,lodo} = 407,5 \text{ m}^3/\text{dia}$
Vazão líquida efluente da unidade de clarificação retornada para o início do processo de tratamento	$Q_{l,e} = 1.032,5 \text{ m}^3/\text{dia}$
Vazão líquida do lodo afluente ao tanque de equalização de lodo	$Q_{l,a} = 407,5 \text{ m}^3/\text{dia}$
Vazão sólida do lodo afluente ao tanque de equalização de lodo	$Q_{s,a} = 2.078,0 \text{ kg/dia}$
Massa de polímero adicionado ao lodo afluente à unidade de adensamento	$M_{p,ad} = 8,3 \text{ kg/dia}$
Vazão sólida do lodo efluente da unidade de adensamento e encaminhada ao sistema de desidratação	$Q_{s,ad} = 1.773,4 \text{ kg/dia}$
Vazão sólida efluente da unidade de adensamento e enviada para o início do processo de tratamento	$Q_{s,e} = 313,0 \text{ kg/dia}$
Vazão líquida do lodo efluente da unidade de adensamento e afluente ao sistema de desidratação	$Q_{l,lodo} = 83,7 \text{ m}^3/\text{dia}$
Vazão líquida efluente da unidade de adensamento e enviada para o início do processo de tratamento	$Q_{l,e} = 323,8 \text{ m}^3/\text{dia}$
Massa de polímero adicionado ao lodo afluente à unidade de desidratação	$M_{p,des} = 7,1 \text{ kg/dia}$
Vazão sólida do lodo efluente da unidade de desidratação	$Q_{s,des} = 1.691,5 \text{ kg/dia}$
Vazão sólida efluente da unidade de desidratação e enviada para o início do processo de tratamento	$Q_{s,e} = 89,0 \text{ kg/dia}$
Volume de lodo produzido pelo sistema de desidratação	$V_{lodo} = 6,4 \text{ m}^3/\text{dia}$
Volume de água incorporado no lodo desidratado	$V_{\text{água}} = 6,0 \text{ m}^3/\text{dia}$
Vazão líquida efluente da unidade de desidratação e enviada para o início do processo de tratamento	$Q_{l,e} = 77,7 \text{ m}^3/\text{dia}$
Vazão líquida afluente à unidade de filtração	$Q_{l,a} = 53.274,0 \text{ m}^3/\text{dia}$
Vazão sólida afluente à unidade de filtração	$Q_{s,a} = 2.445,3 \text{ kg/dia}$

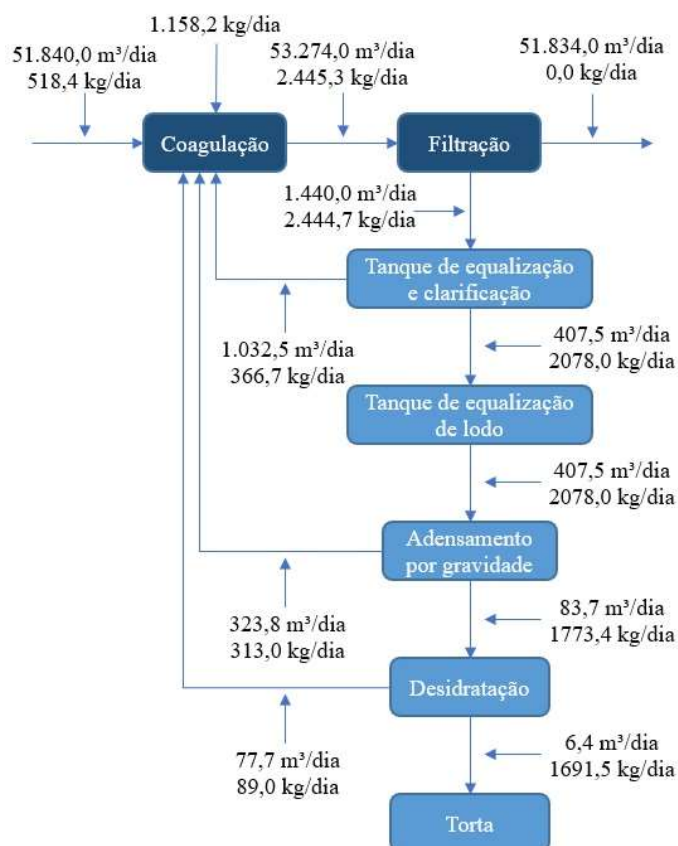


Figura 2 – Fluxograma das vazões líquidas e sólidas afluentes e efluentes com recirculação – resultados finais (conforme roteiro adaptado de Ferreira Filho, 2017).

CONCLUSÕES

Através da execução do balanço de massa, foi possível quantificar estimou-se que a ETA Jiqui produz, em média, cerca de 1.690 kg/dia de resíduos, sendo cerca de 68% destes provenientes da adição do coagulante (considerou-se, por simplicidade que a coagulação ocorreu no mecanismo de varredura, sendo que uma menor produção de lodo seria obtida caso o mecanismo de adsorção e neutralização de cargas fosse considerado). A grande massa de resíduos contendo Al ressalta a importância de evitar o lançamento desses resíduos nos corpos hídricos e a necessidade de dispô-los adequadamente.

Destaca-se também que 2,8% (16,8 L/s) da vazão da água bruta aduzida à ETA Jiqui é utilizada na lavagem das unidades de filtração, que poderia abastecer uma população de cerca de 7.000 habitantes. Considerando que este número é relevante para o abastecimento de Natal, que enfrenta eventos de falta d'água em algumas regiões, justifica-se o interesse no reaproveitamento da água de lavagem dos filtros, sendo que tal utilização deve ser precedida de estudos microbiológicos que atestem sua segurança.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHON, Cali Laguna; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. Eng. Sanit. Ambient., São Paulo, v. 18, n. 2, p.115-122, jun. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a03v18n2>. Acesso em: 05 mai. 2022.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, p. 71. 2004.
3. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial, Brasília, 17 fev.1998



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



4. FERREIRA FILHO, S. S. Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento. 1.ed – [reimpr.]- Rio de Janeiro: GEN | Grupo Editorial Nacional. Publicado pelo selo LTC | Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA, 2017.
5. JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S. S. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 117-126, abr./jun. 2007.
6. KATAYAMA, T. V. Quantificação da Produção de Lodo de Estações De Tratamento de Água de Ciclo Completo: Uma Análise Crítica. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia hidráulica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2012.
7. IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. PROGRAMA ÁGUA AZUL. Rede compartilhada de monitoramento da qualidade da água: Monitoramento da qualidade das águas superficiais no período de setembro a novembro de 2016. 5º relatório semestral. Natal, maio de 2017. Disponível em: < <http://www.programaaguaazul.ct.ufrn.br> >. Acesso em: 03 jun. 2023.
8. NATAL (RN). Prefeitura Municipal de Natal. **Plano municipal de saneamento básico do município de Natal/RN: diagnóstico da situação do saneamento**. Tomo I: Situação dos Serviços de Abastecimento de Água Potável e de Esgotamento Sanitário. Natal, RN: Start Pesquisa e Consultoria Técnica LTDA, 2015.
9. PEREIRA, H. W. B. Sistema de Abastecimento de Água de Natal – **Projeto de implantação de estação de tratamento de resíduos gerados (ETRG) para reaproveitamento da água de lavagem dos filtros da ETA Jiqui**. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), Natal, 2014.
10. PEREIRA, Isabella Leandro Soares *et al.* **II-395 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COM FILTRAÇÃO DIRETA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2015, Rio de Janeiro/RJ. **Artigo**. Rio de Janeiro/RJ: Abes – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015. p. 1-8. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento29/TrabalhosCompletoPDF/II-395.pdf>. Acesso em: 23 maio 2023.
11. RODRIGUES, Ana Carolina Martins. **BALANÇO DE MASSA DE UM SISTEMA DE ULTRAFILTRAÇÃO E OSMOSE REVERSA PARA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA**. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.