



## UTILIZAÇÃO DO COEFICIENTE DE MARÉ PARA ALTERAÇÃO DO DESCARTE DE LODO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM INFLUÊNCIA DE ÁGUA SALOBRA

**Iuli Theisen Andersen da Silva Escalante<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química especialista em Microbiologia de lodos ativados. Mestranda em Engenharia Civil na linha de pesquisa de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Karoline Ducci dos Santos<sup>(2)</sup>**

Técnica em Química. Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Plácido Affonso Rausis, 287 - Nova Brasília - Joinville - Santa Catarina - CEP: 89213-600 - Brasil - Tel: +55 (47) 99631-1236 - e-mail: iuli.theisen@gmail.com.

### RESUMO

O esgoto sanitário é constituído de diversas substâncias, sendo elas orgânicas ou inorgânicas. Dentre as alterações que o esgoto bruto pode sofrer, está a influência de água salobra que, dependendo de sua concentração, tem potencial para prejudicar a qualidade de aglomeração do floco biológico do lodo ativado e, conseqüentemente, diminuir tanto a qualidade quanto o volume de tratamento de uma estação. Neste sentido, na Estação de Tratamento de Esgoto Espinheiros, sob responsabilidade da Companhia Águas de Joinville, foi aplicada uma metodologia de descarte de lodo calculado através da idade de lodo utilizando o coeficiente de maré, em que a idade de lodo é aumentada (e o volume de descarte diminuído) quando o coeficiente de maré está alto, e diminuída (volume de descarte aumentado) quando o coeficiente de maré está baixo. O método retornou resultados positivos, aumentando o nível de trabalho dos reatores de batelada sequencial em pelo menos 0,5m e obtendo 16,45% de aumento no volume total tratado, comparando os dados de Abril a Agosto de 2020 e 2021, quando o método não estava sendo aplicado e quando estava, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coeficiente de maré, descarte de lodo, lodo ativado.

### INTRODUÇÃO

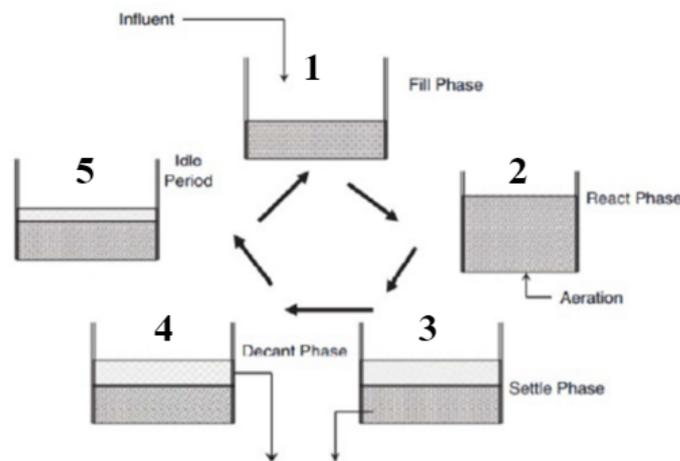
Há diversos tipos de tratamento de esgotos, porém um dos mais utilizados é o tratamento biológico por lodos ativados, onde os microrganismos, com a utilização da aeração controlada, consomem o material orgânico e transformam-os em água e gás carbônico. O lodo em excesso é retirado do processo. Segundo Von Sperling (2012), o sistema de lodos ativados pode ser também utilizado para remoção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio. O esgoto doméstico é constituído principalmente de matéria orgânica como: carboidratos, proteínas, gorduras e óleos, ureia, surfactantes e microrganismos. Muitas estações também recebem uma quantidade de matéria inorgânica como: areia, restos minerais dissolvidos em forma de sais, nutrientes (fósforo e nitrogênio), íons não metálicos, íons metálicos e gases (SANTOS, 2012). Devido à entrada de matéria orgânica constante os microrganismos têm uma rápida reprodução e para controle populacional da microfauna presente no reator é necessário realizar descartes de lodo, pois caso deixasse crescer, a biota seria muito grande e a transferência de oxigênio diminuiria. Para o controle da quantidade de microrganismos pode ser utilizado o A/M, onde a manutenção da quantidade de microrganismo presente (M) é de acordo com a carga orgânica que entra no sistema (A); ou a idade de lodo (IDL), onde a quantidade de microbiologia em excesso no reator é calculada pelo cálculo de vazão excedente, utilizando o tempo em dias, conforme projeto, que a microfauna precisa estar presente no reator (VON SPERLING, 2012).

Os efluentes domésticos geralmente não contêm substâncias que alteram a funcionalidade da biota e a formação de flocos, porém, em diversos lugares do mundo, há infiltração de água marinha ou salobra nas redes de coleta de esgoto, causando toxicidade aos microrganismos do sistema e podendo ocasionar diminuição da eficiência do tratamento biológico (SANTOS, 2012).

Os microrganismos no sistema de lodos ativados recebem oxigênio controlado para digerir a matéria orgânica e após, são submetidos à decantação, que facilmente ocorre, pois as bactérias possuem uma matriz gelatinosa que permite a aglutinação das bactérias e outros microrganismos. A eficiência da sedimentação está diretamente relacionada com as dimensões e características do floco (VON SPERLING, 2012).

O sistema SBR (Reator de Batelada Sequencial, em inglês) é composto de 5 fases, conforme mostrado na Figura 1, sendo 1) enchimento, podendo ser estático, com mistura ou aerado, quando o nível máximo de enchimento é alcançado passa para a próxima fase; 2) reação, sendo o momento onde as reações bioquímicas acontecem, podendo ser totalmente aeradas ou intercalando entre mistura e aeração; 3) sedimentação, neste momento todos os equipamentos do reator desligam para que ocorra a separação das fases sólida-líquida, sendo sólida os microrganismos (lodo) e líquida o clarificado já tratado; 4) retirada, ocorre a abertura de válvulas que encaminham o efluente clarificado para a desinfecção; 5) latência, caso o outro reator não tenha alcançado o nível máximo, esta fase será utilizada para repouso na espera do afluente. O descarte de lodo pode acontecer em qualquer momento do ciclo (GIRARDI, 2010).

**Figura 1. Fases de um reator de batelada sequencial (SBR)**



Fonte: GERARDI, 2010.

Para controle populacional da biota são realizados descartes de lodo ao longo das bateladas, para isso pode ser utilizado o cálculo de A/M ou o cálculo de idade de lodo e o de vazão excedente. (VON SPERLING, 2012). O A/M é a carga orgânica de entrada em relação à quantidade de microrganismos no reator, conforme equação (1):

$$\frac{A}{M} = \frac{DBO_a \times Q_a}{SSV_r \times V_r} \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

DBO<sub>a</sub> = DBO5 no afluente;

SSV<sub>r</sub> = Sólidos suspensos voláteis do reator;

V<sub>r</sub> = Volume do reator após enchimento;

Q<sub>a</sub> = Vazão afluente.

A parte negativa deste modo de descarte de lodo é o tempo de análise de DBO, que demora 5 dias, após esse tempo a DBO afluente pode ter mudado devido a fatores como: horário, dia da semana e infiltrações. Outro ponto negativo é que o A/M tem valores estacionários que dificilmente se modificam, desta forma, a associação com a qualidade do efluente não é válida, devido a dinamicidade de uma estação de tratamento de esgoto (VON SPERLING, 2012). A idade de lodo busca indicar quantos dias o lodo está no reator, com a equação (2):

$$IDL = \frac{SSV_r \times V_r}{SSV_d \times Q_{exd}} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

IDL = Idade do lodo;

V<sub>r</sub> = Volume do reator;

SSV<sub>r</sub> = Sólidos suspensos voláteis do reator;  
SSV<sub>d</sub> = Sólidos suspensos voláteis do descarte de lodo;  
Q<sub>exd</sub> = Vazão excedente de descarte de lodo realizada.

O ponto negativo é que as bactérias nitrificantes não têm a mesma idade de lodo ideal que as bactérias heterotróficas, além disso, não é considerada a carga orgânica afluenta. (VON SPERLING, 2012)

Caso a IDL seja maior ou menor que a ideal, sendo esta indicada no projeto da planta, deve-se realizar o cálculo de vazão excedente para alinhar o descarte de lodo à idade de lodo desejada, mostrada na equação (3).

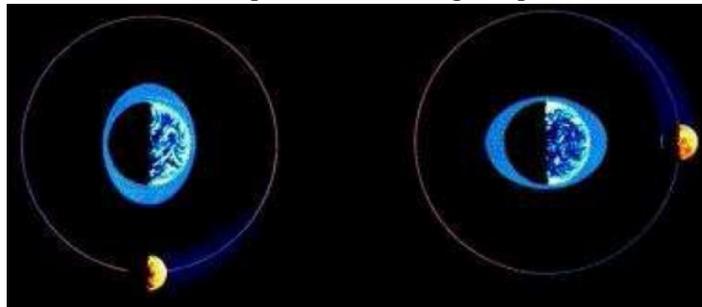
$$Q_{exd} = \frac{SSV_r \times V_r}{SSV_d \times IDL_{desejada}} \quad \text{equação (3)}$$

Um dos motivos do empobrecimento microbiano em um sistema de lodos ativados é que grande parte da matéria inorgânica fica no sistema e, caso haja uma concentração exacerbada dos íons inorgânicos, pode influenciar de forma negativa no processo. Segundo Santos (2012), os cátions Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> são essenciais para a estabilidade, compressão e estrutura dos flocos biológicos, pois eles são pontes entre exopolímeros carregados negativamente (EPS) e bactérias, mas quando a concentração de um deles aumenta pode ocorrer desestabilização do floco devido plasmólise celular das espécies bióticas e mudanças de carga das superfícies dos flocos.

O aumento de íons no afluenta pode ser verificado com a análise de condutividade, pois ela mede a capacidade da solução de conduzir corrente elétrica, essa por sua vez, é transportada por íons presente na solução, desta forma, a condutividade aumenta na medida em que a quantidade de íons aumenta na solução, levando a um aumento da força iônica. Forças iônicas muito altas levam à perda de flocos para o efluente, chamado de arraste de sólidos, isso leva ao aumento da turbidez e perda da qualidade do tratamento (SANTOS, 2012).

A maré ocorre devido às forças gravitacionais entre Lua, Sol e Terra, tendo como maior influência a Lua. Elas ocorrem duas vezes ao dia, porém com amplitudes diferentes durante o mês, de acordo com o posicionamento dos astros em relação à Terra (MANTELLATTO, 2012). A Figura 4 mostra a influência da Lua na formação de marés na Terra.

**Figura 2 - Influência da Lua na maré, em que a maré alta segue a posição da Lua**



Fonte: MANTELLATTO, 2012.

O que indica a amplitude da maré prevista é o coeficiente de maré, que modifica-se conforme as fases da Lua, tendo amplitudes e assim coeficientes baixos quando a Lua está no quarto minguante ou crescente; e altos quando a Lua está cheia ou nova. O coeficiente de maré máximo é 120. Podendo-se considerar a seguinte escala: Baixo = <50; Médio = 50 a 69; Alto = 70 a 89; Muito Alto = 90 a 120 (Tábua de maré).

Para Von Sperling (2012), quando há incapacidade das bactérias de se agregarem em flocos, uma das causas é a toxicidade do efluente, sendo identificada por baixa taxa de consumo de oxigênio e controlada através da elevação da idade de lodo. Com o aumento da IDL em situações de toxicidade o lodo, que ficará mais velho, terá maior quantidade de células bacterianas e, desta forma, a carga tóxica que entrar trará menos implicações ao processo, pois uma quantidade de microrganismos irá morrer, porém ainda terá outra quantidade suficiente para continuar o tratamento (alimentação e reprodução celular), diminuindo assim a probabilidade de prejudicar a eficiência do sistema.



## OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é utilizar o coeficiente de maré para identificar altas contribuições de água salobra que impactarão na estação de tratamento de esgoto e, desta forma, aumentar previamente a idade de lodo para que a eficiência do sistema permaneça estável. Os objetivos específicos são:

- Relacionar a condutividade do efluente de entrada com a tabela de coeficiente de maré da Tábua de Marés;
- Alterar o volume de descarte de lodo alterando a idade de lodo no cálculo de descarte;
- Monitorar o volume de efluente tratado dos reatores do SBR durante o período de aplicação da metodologia;
- Comparar o volume de efluente tratado com o ano anterior, quando não estava sendo aplicada a metodologia.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia a seguir descrita será aplicada no período de Maio a Agosto de 2021 na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Espinheiros, sob responsabilidade da Companhia Águas de Joinville, localizada na cidade de Joinville - Santa Catarina, que recebe esgoto sanitário do bairro Espinheiros, banhado pela baía da Babitonga. Nessa bacia de coleta de esgoto há infiltração de água salobra nas elevatórias do bairro quando a maré sobe, desta forma, entrando salinidade no processo de tratamento de esgotos, que é por lodos ativados em reatores sequenciais por batelada (SBR). Com base em Von Sperling (2012), a proposta é agir previamente ao recebimento de maré (utilizando os coeficientes), através da alteração do volume de descarte de lodo, mais facilmente alterado pelo cálculo da idade de lodo (IDL) na planilha operacional utilizada, no intuito de diminuir o impacto negativo nos microrganismos e qualidade de tratamento. Em termos práticos, segue abaixo a esquematização das ações (Tabela 2):

- No dia anterior ao recebimento de um coeficiente muito alto, não se descarta lodo;
- Nos dias de coeficiente muito alto, se aumenta em 1 a IDL;
- Nos dias consecutivos, mas ainda em coeficiente alto, retorna-se à IDL anterior, de forma a manter o descarte no volume em que estava e removendo a toxicidade do reator.

Vale ressaltar que, no mesmo momento que esta proposta estiver sendo aplicada, ocorrerá o aumento gradual da idade do lodo, de forma a preparar os reatores para o inverno. Segundo Girardi (2010), há uma redução significativa na taxa de nitrificação com a diminuição da temperatura das águas residuais e, inversamente, uma aceleração significativa na taxa de nitrificação com o aumento da temperatura das águas residuais. Portanto, uma população menor de bactérias nitrificantes é necessária para alcançar uma nitrificação aceitável com o aumento da temperatura das águas residuais, enquanto uma população maior de bactérias nitrificantes é necessária para alcançar uma nitrificação aceitável durante a temperatura fria das águas residuais. Na Tabela 1, Girardi relacionou a temperatura com o MCRT (tempo médio de residência da célula, ou, idade do lodo) e seu impacto na nitrificação.

**Tabela 1 - Relação da temperatura com a idade do lodo e nitrificação**

Temperatura °C	MCRT recomendado para nitrificação	Temperatura °C	Impacto sobre a nitrificação
10	30 dias	30	Taxa máxima de nitrificação
15	20 dias	15	Perda de 50% da taxa máxima
20	15 dias	10	Perda de 20% da taxa máxima
25	10 dias		
30	7 dias	8	Nitrificação inibida

Fonte: Girardi, 2012, pág 62.

O monitoramento do volume de tratamento dos reatores SBR será feito através dos dados gerados pelo supervisor de automação do sistema, indicando os níveis mínimos e máximos de trabalho de cada reator.



**Tabela 2 - Previsão do coeficiente de maré e esquematização das ações**

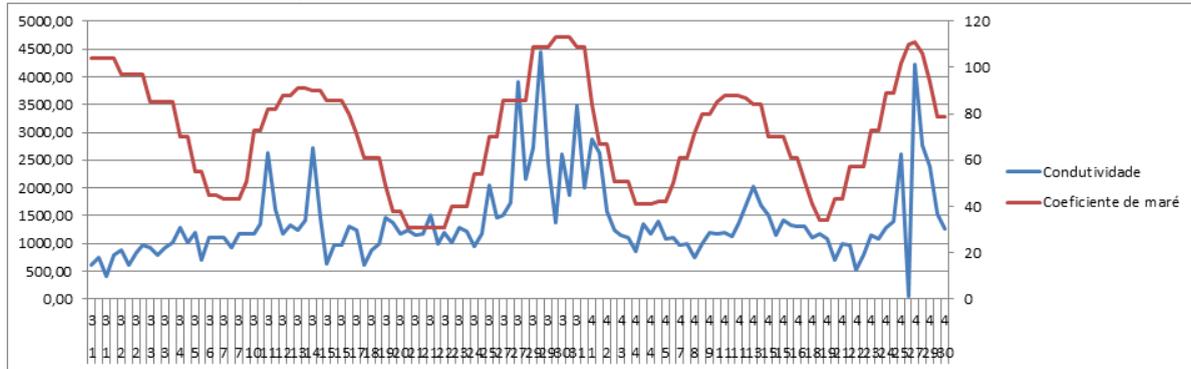
DIA	MAIO		JUNHO		JULHO		AGOSTO		SETEMBRO	
	Coeficiente	Ação	Coeficiente	Ação	Coeficiente	Ação	Coeficiente	Ação	Coeficiente	Ação
1	63		49		50		39		36	
2	50		47		47		38		46	
3	43		49		46		42		58	
4	44		54	IDL de 7 para 8	49		50		70	IDL de 10 para 11
5	51		59		53		58		82	Não realizar descarte
6	59		64		58		57		92	IDL 11
7	67		68		63		75		99	IDL 11
8	73		71		68		82	IDL de 9 para 10	101	IDL 11
9	78		73		72		86		99	IDL 11
10	80		73		74		88		91	IDL 11
11	80		72		75		87		79	IDL de 11 para 10
12	78		69		75	IDL de 8 para 9	83		65	
13	74		66		73		76		51	
14	62		57		70		67		44	
15	54		56		67		58		46	
16	46		54		63		52		57	
17	42		53		60		52		69	IDL de 10 par 11
18	42		57		60		59		80	Não realizar descarte
19	42	IDL de 6 para 7	63		62		69	IDL de 10 par 11	89	IDL 11
20	50		71	IDL 8	68		80	Não realizar descarte	93	IDL 11
21	61	IDL 7	79		75		88	IDL 11	94	IDL 11
22	75	Não realizar descarte	86	Não realizar descarte	82	IDL de 9 para 10	93	IDL 11	91	IDL 11
23	87	IDL de 7 para 8	91	IDL de 8 para 9	88	Não realizar descarte de lodo	93	IDL 11	85	IDL 11
24	97	IDL 8	93	IDL 9	90	IDL 10	90	IDL 11	76	IDL de 11 para 10
25	102	IDL 8	91	IDL 9	89	IDL 10	84	IDL 11	65	
26	102	IDL 8	87	IDL de 9 para 8	85	IDL de 10 para 9	75	IDL de 11 para 10	53	
27	97	IDL 8	80		79		64		41	
28	88	IDL de 8 para 7	71		70		53		32	
29	77	IDL7	63		61		42		28	
30	65		56		52		33		33	
31	55				44		31			

Fonte: elaboração própria a partir de dados da Tábua de Marés.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A metodologia foi aplicada durante o período de Maio a Agosto de 2021 em ambos os reatores da Estação de Tratamento. Utilizando os dados operacionais da medição de condutividade, realizada com o equipamento condutivímetro, no efluente de entrada ao longo de março e abril 2021, foi possível verificar que há uma relação direta entre as condutividades medidas e o coeficiente de marés, conforme pode ser visto na Figura 3.

**Figura 3 - Gráfico de relação da condutividade com o coeficiente de maré**

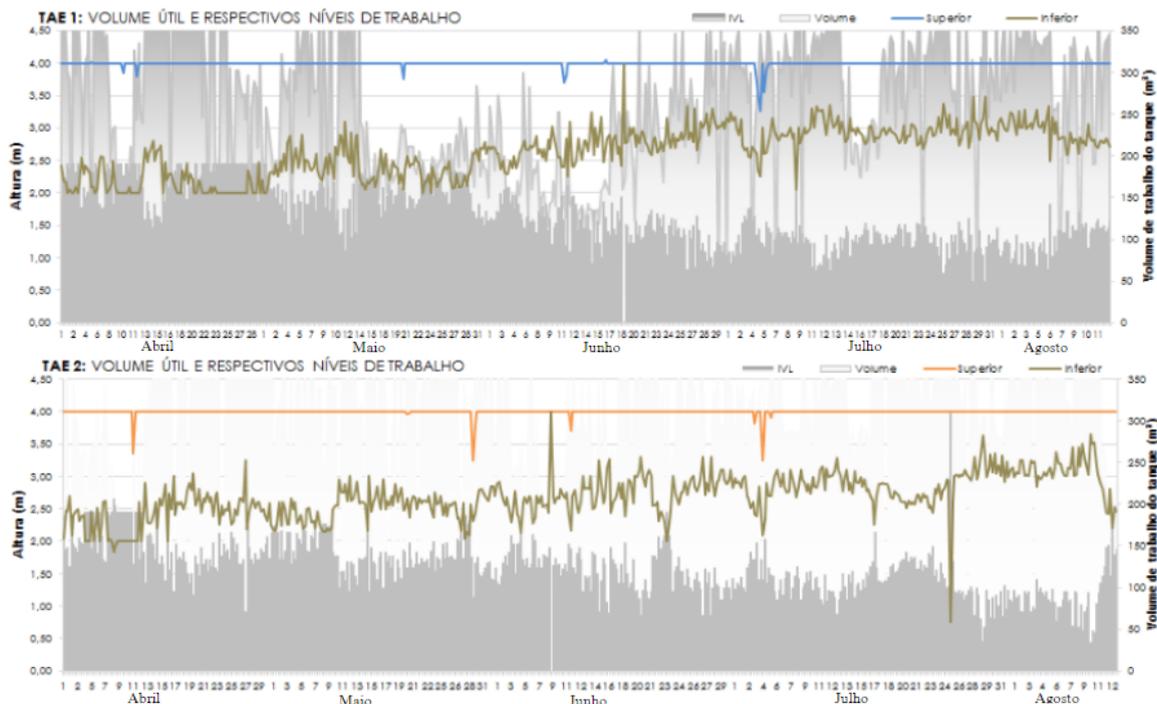


Fonte: elaboração própria a partir de dados da Tábua de Marés.

No início do mês de março choveu bastante, dessa forma, não houve aumento da condutividade no efluente de entrada, pois o mesmo já se encontrava diluído, visto que ainda se tem muita entrada de água de chuva na rede, apesar das fiscalizações domiciliares constantes.

A metodologia proposta para descarte de lodo foi seguida à risca, podendo-se comparar os volumes tratados no ano de 2021 e 2020. Sendo que sem aplicar o método, no ano de 2020, os níveis superiores de trabalho dos reatores (denominados TAE 1 e TAE 2) chegam a 4m, porém, as retiradas de clarificado (efluente tratado) não alcançam 2,5m de nível inferior, tendo em média 1,5m de nível de trabalho, conforme mostrado na Figura 4.

**Figura 4 - Níveis de trabalho dos reatores entre Abril e Agosto de 2020 - sem aplicação da metodologia**

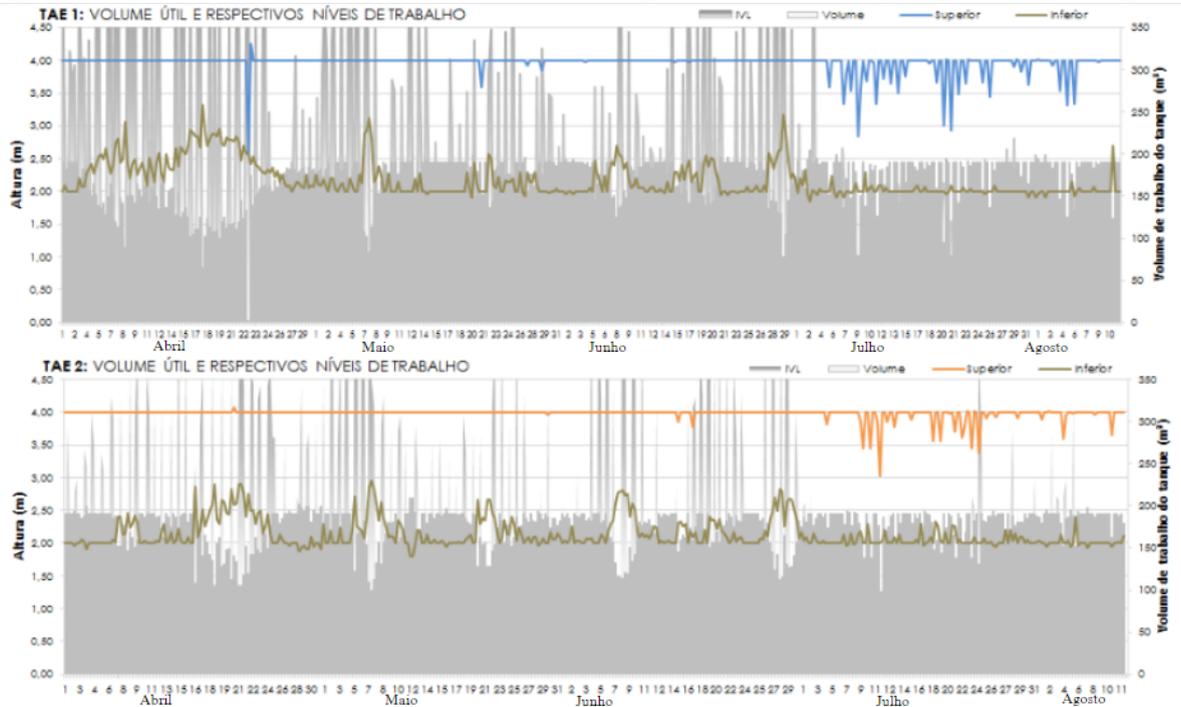


Fonte: elaboração própria.



Em 2021, aplicando o método de descarte, os níveis de trabalho chegaram geralmente a 4m, exceto no mês de julho em que houve ciclos com níveis menores devido à baixa contribuição de esgoto, principalmente na madrugada e início da manhã. Poucos são os ciclos em que o nível inferior de 2m não seja alcançado, tendo em média pelo menos 2m de nível de trabalho, conforme mostrado na Figura 5.

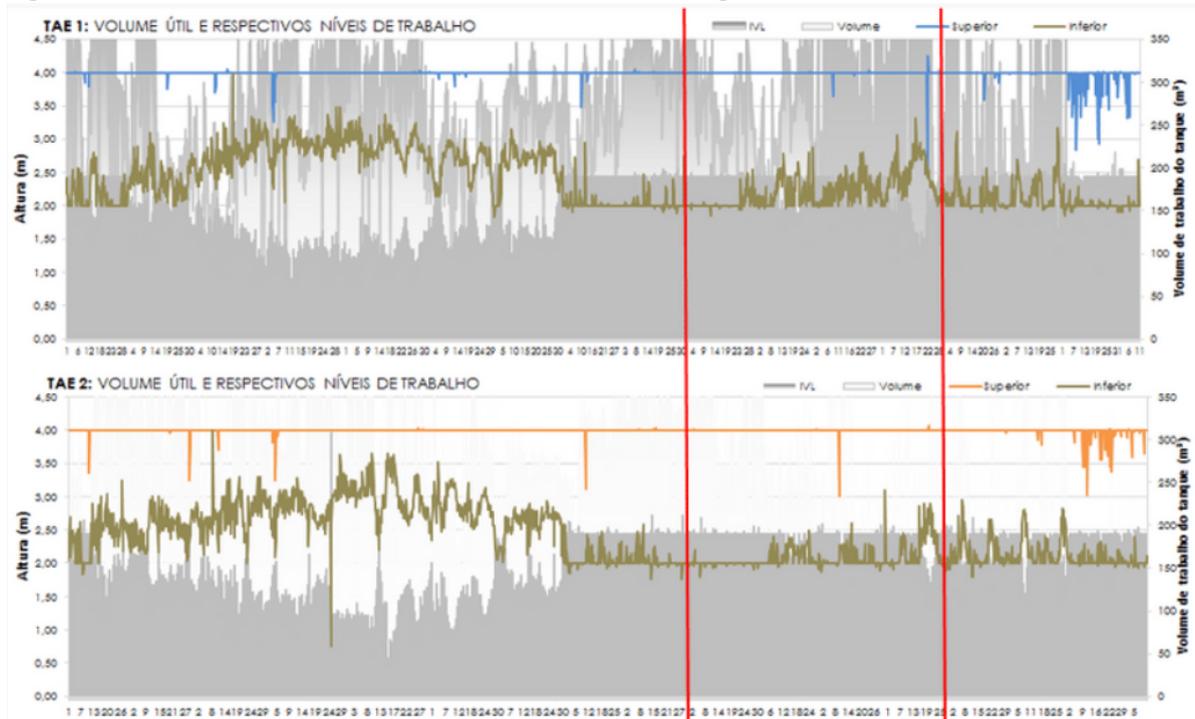
**Figura 5 - Níveis de trabalho dos reatores entre Abril e Agosto de 2021 - com aplicação da metodologia**



Fonte: elaboração própria.

Na Figura 6 tem-se uma visão geral do período de 2020 e 2021 no mesmo gráfico, em que a 1ª linha vermelha separa 2020 de 2021 e a 2ª indica o início de maio de 2021, quando a proposta começou a ser aplicada. É nítida a diferença de níveis de trabalho entre os anos, sem e com a aplicação da metodologia de descarte de lodo a partir do coeficiente de maré.

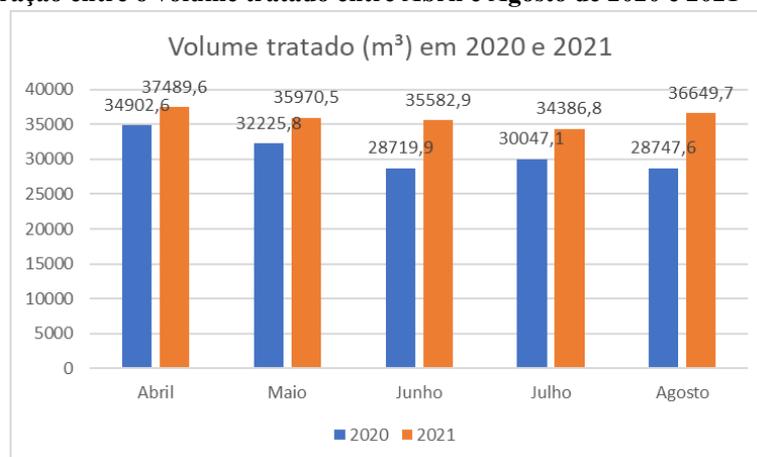
**Figura 6 - Níveis de trabalho dos reatores de Abril de 2020 a Agosto de 2021**



Fonte: elaboração própria.

Em relação ao volume de tratamento, considerando que cada centímetro do reator equivale a 1 m<sup>3</sup>, somente em um ciclo de tratamento se tem um aumento de 50 m<sup>3</sup> de efluente tratado, considerando que o nível de trabalho em 2020 era de 1,5m e em 2021 passou para 2m, totalizando 180079,5m<sup>3</sup> no período analisado de 2021, 25436,5m<sup>3</sup> a mais que em 2020. Em termos percentuais do volume total tratado ao longo dos meses, houve um aumento de 16,45% no volume tratado no período de Maio a Setembro de 2021, em relação ao mesmo período de 2020, conforme mostrado na Figura 7. Dessa forma, o volume do tanque equalizador à montante dos reatores foi menos utilizado em 2021 do que em 2020, pois havia menor volume para acumular e tratar nas horas de menor contribuição da rede, como nas madrugadas e início da manhã. Isso só foi possível devido à diminuição dos níveis mínimos de trabalho dos reatores com a aplicação da metodologia de descarte de lodo.

**Figura 7 - Comparação entre o volume tratado entre Abril e Agosto de 2020 e 2021**



Fonte: elaboração própria.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Estações de tratamento de efluentes sanitários com sistemas por lodo ativado não são de simples operação, visto que o lodo ativado em si é um sistema vivo que sofre interferências em diversos aspectos, uma delas sendo a água salobra que, em determinada concentração, desestabiliza os flocos biológicos em sua agregação e respiração, diminuindo a qualidade e o volume de tratamento de uma estação. No entanto, conseguiu-se demonstrar neste trabalho que o problema causado pela água salobra pode ser contornado, utilizando de técnicas de manejo do lodo ativado como o volume de descarte, alterando-o de acordo com o coeficiente de maré. Comparando os dados do sistema no período de Abril e Agosto entre o ano de 2020, em que a metodologia proposta não foi aplicada, e 2021, quando ela foi aplicada, obteve-se um aumento de 16,45% no volume tratado, sendo este um resultado bastante expressivo positivamente e nunca antes visto na Estação de Tratamento de Esgoto Espinheiros durante os meses mais frios do ano.

Sugere-se que esta mesma metodologia possa ser aplicada em plantas industriais ou sanitárias onde há previsibilidade de entrada de carga tóxica (água salobra sendo uma delas), para ajustes similares no tratamento.

Para estudos futuros, as autoras sugerem que os efeitos do aumento de condutividade (entrada de água salobra) no lodo ativado sejam mais amplamente mapeados, de forma a se conhecer intimamente sua relação com uma possível expansão do lodo ativado, que diminui o volume de trabalho do reator SBR; com a qualidade de tratamento do sistema, incluindo conversão do nitrogênio nas etapas de nitrificação e desnitrificação; e alteração da comunidade de microbiota disponível no reator.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GIRARDI, Michael H. *Troubleshooting the Sequencing Batch Reactor*. John Wiley & Sons Inc, Hoboken, New Jersey: 2010.
2. MANTELLATTO, Paulo M. B. As Influências da Lua na Terra e o Fenômeno das Marés. Trabalho de Conclusão de Curso-Universidade Federal de São Carlos, São Carlos: 2012.
3. SANTOS, L. S. A influência da salinidade nos processos de tratamento de efluentes por lodos ativados. Rio de Janeiro: UERJ, 2012.
4. Tabua de maré. Coeficiente de marés. Disponível em: <<https://tabuademares.com/mares/coeficiente-mare>> Acesso em: 20 de mar. 2023.
5. VON SPERLING, M. Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos, v.2. Belo Horizonte: UFMG, 2012.