

## II-305 - DESINFECÇÃO DE EFLUENTE SANITÁRIO: APLICAÇÃO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM EFLUENTE DE UMA EMPRESA NO MUNICÍPIO DE IPATINGA/MG

**Amanda Duque Carvalho Martins** <sup>(1)</sup>

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. Pós-graduanda em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Instituto Federal de Minas Gerais.

**Letícia Roque de Carvalho Souza** <sup>(2)</sup>

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais.

**Marcílio dos Reis Cardoso** <sup>(3)</sup>

Engenheiro Civil pela Fundação Educacional Minas Gerais. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Poliane Valéria Ferreira** <sup>(4)</sup>

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. Pós-graduanda em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Instituto Federal de Minas Gerais.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Paraná, 286 - Santa Terezinha I - Coronel Fabriciano - MG - CEP: 35171-131 - Brasil - Tel: + 55 (31) 8694 1005 - e-mail: [amanda\\_duquemartins@hotmail.com](mailto:amanda_duquemartins@hotmail.com)

### RESUMO

O efluente sanitário é constituído de expressiva carga de organismos patogênicos, e sua remoção não é objetivada em unidades convencionais de tratamento, fazendo-se necessária a implantação de uma etapa de desinfecção. No cenário atual brasileiro, essa etapa é comumente postergada, o que pode representar um risco à saúde pública. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da desinfecção através da aplicação de radiação ultravioleta (UV) para remoção de *Escherichia coli* (*E. coli*) em um efluente sanitário proveniente de um sistema de tratamento secundário de lodos ativados com aeração prolongada em uma estação de tratamento de efluente (ETE) de uma empresa localizada no município de Ipatinga/MG. O procedimento experimental constituiu-se de diferentes etapas, sendo elas a construção de aparatos experimentais, a avaliação da sedimentabilidade do efluente, a determinação da sedimentação em escala piloto através de coluna de sedimentação, a medição da vazão na ETE, a checagem do dimensionamento do decantador, a aplicação da radiação UV em escala piloto e sua respectiva análise estatística. Para tratamento dos dados, foi utilizado o software Statistica 7, através da análise de variância (ANOVA). A partir da análise da sedimentação, identificou-se a necessidade de intervenção no processo de decantação para se obter valores que atendam a faixa desejável de sólidos suspensos (SS), entre 10 e 40mg/L, a fim de maximizar a eficiência no processo de desinfecção por radiação UV. Os ensaios de desinfecção foram satisfatórios para garantir a remoção de *E. coli* em até dois log de inativação, alcançando os padrões de qualidade consoantes ao enquadramento do corpo receptor. Dentre os tempos de exposição testados, o tempo de 120s apresentou-se como o mais vantajoso para concepção de um reator.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de efluente, Sedimentação, Desinfecção, Radiação UV, *E. coli*.

### INTRODUÇÃO

A sociedade tecnológica atual, fruto do desenvolvimento acelerado e demanda de recursos, possui a difícil missão de gerir as emissões secundárias dos seus processos. Dentre essas emissões, as chamadas águas residuárias podem ser definidas como a combinação de efluentes líquidos e rejeitos arrastados pela água proveniente de residências, instituições, estabelecimentos comerciais e industriais e da contribuição de águas subterrâneas, superficiais e de drenagem pluvial. Geralmente são classificados em dois grandes grupos: os efluentes sanitários e os industriais. Os efluentes sanitários provêm principalmente de edificações que contenham instalações para uso doméstico, tais como banheiros e cozinhas, sendo composto de água de banho, urina, fezes, papel, resto de comida, sabão, detergentes, água de lavagem, dentre outros (JORDÃO; PESSÔA, 2009; METCALF; EDDIE, 2004; SPERLING, 2005).

O volume de efluente sanitário é constituído de expressiva carga de organismos patogênicos e mesmo havendo processos de tratamento primário e secundário, os riscos de contaminação dos corpos receptores são reais, uma vez que não removem a concentração dos microorganismos suficiente para garantir o padrão de qualidade dos corpos d'água receptores. Essa deficiência da barreira sanitária influencia nos indicadores de saúde pública e suscita a necessidade da etapa de desinfecção dos efluentes (GONÇALVES, 2003).

O desenvolvimento de sistemas de tratamento de efluentes sanitários não objetiva somente o cumprimento de padrões de lançamento pré-estabelecidos na legislação vigente, mas é um processo de melhoria contínua visando sanar os impactos ambientais por interferência antrópica e garantir a manutenção da saúde pública, sustentado em aspectos econômicos, políticos e sociais. Nesse contexto, o presente trabalho avaliou a eficiência da desinfecção de um efluente sanitário, pós tratamento secundário, em uma empresa no município de Ipatinga/MG, através da aplicação de radiação ultravioleta.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os equipamentos, materiais e vidrarias utilizadas foram pipetas, pêra, bastão de vidro, becker de 50, de 100 e de 2000mL, proveta de 1000mL, cone *Imhoff*, filtros de fibra de vidro de 40µm, bomba a vácuo, dessecador, placas de petri, estufa, cadinho, mufla, funis e suportes para o material.

O procedimento experimental constituiu-se das seguintes etapas: caracterização da área de estudo, construção de aparatos experimentais, avaliação da sedimentabilidade do efluente, determinação da sedimentação em escala piloto, medição da vazão na ETE, checagem do dimensionamento do decantador, aplicação da radiação UV em escala piloto e análise estatística da desinfecção, os quais serão descritos a seguir.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A ETE de estudo está localizada nas dependências de uma empresa privada situada na cidade de Ipatinga/MG. A mesma realiza tratamento de efluente sanitário, composto pelo efluente doméstico das instalações fabris e uma parcela de efluente industrial previamente tratado por sistema separador de água e óleo (SAO). Cabe ressaltar que a contribuição industrial não descaracteriza o efluente, que se mantém com características tipicamente domésticas.

A tecnologia de tratamento aplicada é composta por um sistema biológico de lodos ativados por aeração prolongada. A estrutura física da ETE compreende:

- Unidade medidora de vazão (calha Parshall).
- Tanque de aeração com dois aeradores mecânicos.
- Decantador com raspador mecânico.
- Sistema de recirculação e descarte do lodo com conjunto de bombas.
- Leitões de secagem.
- Plataformas de operação.

O efluente tratado é lançado no emissário da empresa, que é direcionado ao Rio Piracicaba, enquadrado segundo a DN Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008, como rio classe II.

Segundo dados fornecidos pela empresa, a população contribuinte da ETE é de aproximadamente 1400 funcionários, podendo chegar a um cenário de até 4000 funcionários. Seu funcionamento é de 24h por dia, e segundo dados de projeto, tem capacidade média de tratar 23,9 m³/h de efluente.

Parâmetros como DBO, DQO, SS, sólidos sedimentáveis, temperatura, agentes tensoativos e coliformes termotolerantes são monitorados continuamente à jusante e montante da ETE.

## APARATOS EXPERIMENTAIS

A construção do aparato de sedimentação em escala piloto seguiu as recomendações de Metcalf e Eddie (2004). Assim, construiu-se no Laboratório de Saneamento, uma coluna cilíndrica composta por um tubo de PVC classe A, graduada, com diâmetro interno de 150mm e altura de 3,2m, a fim de simular a profundidade de um segundo decantador, com volume útil de 56,5 litros (Figura 1). No estudo em questão foram instalados pontos de amostragem, cujos intervalos de graduação de profundidade foram de 0,2m, 1,2m e 2,2m e um registro de fundo para o descarte do efluente após o ensaio.

Construiu-se ainda uma estrutura piloto de desinfecção, composta por tubo de PVC classe A, com diâmetro de 150mm e comprimento de 1,0m, contendo em seu interior uma lâmpada tubular germicida OSRAM, de baixa pressão de vapor de mercúrio, de 30 W de potência, 90 cm de comprimento, associada ao reator de alimentação, acionado por energia elétrica. Uma calha de alumínio foi utilizada para intensificar o efeito germicida. Prezando pela segurança, uma vez que a radiação UV em exposição prolongada pode causar danos à pele e aos olhos, foram fechadas as extremidades do tubo de PVC com *caps* (Figura 2). O efluente foi coletado na empresa operante da ETE e transportado até o Laboratório de Saneamento para os posteriores testes.



Figura 1: Coluna de Sedimentação

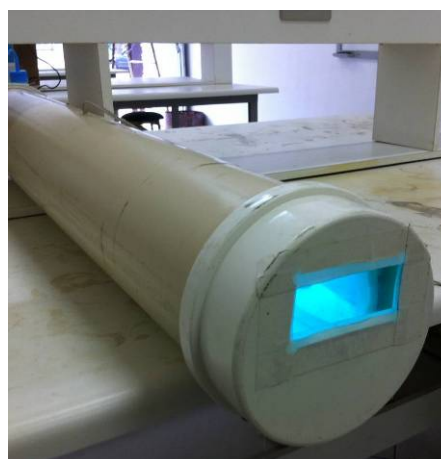


Figura 2: Estrutura piloto de desinfecção

## AVALIAÇÃO DA SEDIMENTABILIDADE DO EFLUENTE

Com o intuito de avaliar as características de sedimentabilidade do efluente estudado. Realizou-se o procedimento para determinação de sólidos sedimentáveis segundo a metodologia 2540-F proposta pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, utilizando Cone *Imhoff* (APHA, 2005). O líquido sobrenadante foi pipetado e a seguir, aferiu-se sua turbidez.

## DETERMINAÇÃO DA SEDIMENTAÇÃO EM ESCALA PILOTO

O teste de sedimentação seguiu as recomendações de Metcalf e Eddie (2004). Inicialmente, preencheu-se o volume útil da coluna com o efluente, estabelecendo-se 06 intervalos de tempo, sendo eles 0, 20, 40, 60, 100 e 120 minutos, para retirada das amostras, em duplicata, em cada ponto de coleta.

Após cada coleta, determinou-se a respectiva concentração de SS segundo a metodologia 2540-D proposta pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). De posse da concentração de SS, calculou-se a remoção percentual para cada amostra analisada, traçou-se as curvas de isoeffiência e calculou-se as eficiências parciais.

A TAS (taxa de aplicação superficial) é análoga a velocidade de sedimentação das partículas, calculada através do quociente entre a altura da coluna (m) e o tempo requerido para a partícula tocar o fundo. A partir dos resultados, traçou-se a Curva da TAS em relação a eficiência de remoção de SS e ao tempo.

## MEDIÇÃO DA VAZÃO NA ETE

O sistema de bombeamento da vazão da ETE é compreendido por uma bomba submersível, instalada em um poço de sucção com medidor de nível. A cada variação de nível a bomba é acionada. Para a determinação da vazão de entrada, leu-se a altura da lâmina durante um período de seis horas através de uma calha Parshall, a fim de se conhecer a vazão média através da equação 1:

$$Q = K \times H^n \quad \text{equação (1)}$$

Onde K e n são constantes que dependem da dimensão da garganta (W) da calha, conforme Tabela 1:

Tabela 1: Constantes da Calha Parshall

| W    | Vazão em l/s |       | Vazão em m³/h |       |
|------|--------------|-------|---------------|-------|
| In   | K            | n     | K             | n     |
| 1 in | 60,4         | 1,550 | 217           | 1,550 |
| 2 in | 121          | 1,550 | 435           | 1,550 |
| 3 in | 177          | 1,547 | 636           | 1,547 |
| 6 in | 381          | 1,580 | 1370          | 1,580 |
| 9 in | 535          | 1,530 | 1930          | 1,530 |

## DIMENSIONAMENTO DO DECANTADOR

De posse dos dados do teste da coluna de sedimentação e da série histórica disponibilizada pela empresa, foram realizados os cálculos para dimensionamento de um segundo decantador, a fim de se conhecer a área do decantador ideal para remoção de SS para aplicação de desinfecção por radiação UV.

A vazão média de entrada da ETE foi correlacionada ao número de funcionários da empresa no momento do estudo para determinação da contribuição per capta real, segundo a equação 2:

$$C = \frac{Q}{N_i} \quad \text{equação (2)}$$

Onde C é a contribuição per capta real,  $\bar{Q}$  é a vazão média e  $N_i$  é o número de funcionários.

Em seguida, foi estimado o cenário crítico para vazões máximas relacionando a contribuição per capta real com o número máximo de funcionários ( $N_{m\acute{a}x}$ ) através da equação 3:

$$Q_{Cr\acute{i}tica} = C \times N_{m\acute{a}x} \quad \text{equação (3)}$$

A eficiência de remoção de SS desejada no decantador foi definida pela equação 4:

$$Ef = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad \text{equação (4)}$$

Onde  $S_0$  é a concentração de SS afluente ao decantador e S é a concentração de SS na saída.

A fim de se determinar os valores médios de concentração inicial ( $S_0$ ) e concentração final (S) de SS no efluente da ETE, analisou-se a série histórica de SS dos anos de 2011 a 2013, e sua respectiva análise de variância, utilizando-se o software Statística 7.

Através da curva que relaciona TAS a eficiência de remoção de SS e ao tempo, e conhecendo a eficiência de remoção desejada, foi possível encontrar a TAS requerida.

A área do decantador ideal foi determinada então conforme a equação 5:

$$A = \frac{Q_{crítica}}{TAS} \times K$$

equação (5)

Onde K é um fator de segurança que varia entre 1,5 e 2 (adotou-se o valor de 2 para maximizar a segurança).

A área calculada para o decantador ideal foi então comparada à área da unidade operante. Se comprovada a necessidade de dimensionamento de um decantador complementar, o mesmo seria dimensionado segundo o mesmo procedimento. O procedimento de dimensionamento previu atender os parâmetros estabelecidos na NBR 12209 da ABNT.

## APLICAÇÃO DA RADIAÇÃO UV EM ESCALA PILOTO

A concentração de SS no efluente do decantador existente foi aferida para que não ultrapassasse a concentração aceitável para aplicação de radiação UV, entre 10 a 40mg/L.

O processo de desinfecção se deu por batelada. Assim, as amostras do efluente com volume de 2L foram submetidas, em triplicata, a tempo de exposições de radiação UV distintos (60, 120 e 240 segundos). Após o ensaio de desinfecção, as amostras foram encaminhadas a um Laboratório de água e efluentes em Ipatinga/MG, seguindo as recomendações de acondicionamento e transporte a fim de preservar as características do amostrado, para a determinação das concentrações de *E.coli* na entrada e saída do reator. De posse dos resultados, calculou-se a eficiência de remoção em função de cada tempo de exposição, e a partir disso foram traçados os gráficos de remoção de *E. coli* em função do tempo de exposição, e eficiência de remoção de *E. coli* em função do tempo de exposição, determinando a linha de tendência para o sistema.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA DA DESINFECÇÃO

Após o ensaio de desinfecção, para avaliar a eficiência dos tempos de exposição, foi aplicado o teste de Levene, seguido do ANOVA e do *post-hoc* Tukey, através do software Statística 7 nos dados brutos e nos dados logaritmizados.

## RESULTADOS DA SEDIMENTAÇÃO

O resultado observado no teste do Cone *Imhoff*, apresentou concentração de sólidos sedimentáveis menor que 0,1mL/L, e a turbidez aferida no sobrenadante foi de 15,1 UNT. Apesar de a concentração de sólidos sedimentáveis não sugerir grande formação de lodo para o efluente, ao se comparar a turbidez inicial de 35,1 UNT com a aferida após o ensaio, ficam evidenciadas as características de sedimentabilidade do efluente. O trabalho de Piccolo, Pinto e Teixeira (1999) sustentam essa afirmativa ao evidenciar que a turbidez é um parâmetro mais indicado para determinação indireta da quantidade de sólidos em suspensão. A observação direta do efluente descartou também a ocorrência de flotação, que poderia influenciar a eficiência do processo de sedimentação e consequentemente a concentração de SS.

Segundo Jordão e Pessoa (2009), a determinação experimental da sedimentação através de ensaio por Cone *Imhoff* pode não ser satisfatória, uma vez que as paredes do cone interferem nos resultados reais. Sugere-se assim, realizar ensaios com maior precisão, em coluna de sedimentação com diâmetro igual ou superior a 150 mm e altura similar a do decantador.

Partindo desse pressuposto, o ensaio de sedimentação em escala piloto apresenta os seguintes valores da concentração de SS e da respectiva eficiência de remoção calculada, conforme a Tabela 2.

Observou-se na Tabela 2, que a remoção de SS tende a aumentar com o decorrer do tempo. Segundo Dreschweiler *et al.* (2013), no início do processo de sedimentação as partículas de maior peso específico sedimentam com maiores velocidades, quando comparadas com as demais, ocasionando uma remoção mais acentuada, que pode ser visualizada na eficiência de remoção de 56% na tomada 01 para o tempo de 20 minutos. A partir de 40 minutos “o ritmo de sedimentação decai consideravelmente, mantendo-se praticamente invariável”, como pode ser observado no tempo de 120 minutos, em que a concentração de SS no fundo, na mesma tomada foi de 18mg/L, o que representa 92% de remoção de SS em relação a concentração inicial.



Tabela 2: Eficiência de remoção de SS no ensaio de sedimentação em escala piloto

| Prof. SS    | P1=0,20m  |        | P2=1,20m  |        | P3=2,20m  |        |
|-------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| Tempo (min) | SS (mg/L) | Ef (%) | SS (mg/L) | Ef (%) | SS (mg/L) | Ef (%) |
| 0           | 237,5     | 0      | 237,5     | 0      | 237,5     | 0      |
| 20          | 105,26    | 56     | 130       | 45     | 211,7     | 11     |
| 40          | 97,5      | 59     | 147,5     | 38     | 105       | 56     |
| 60          | 70        | 71     | 77,5      | 67     | 97,5      | 59     |
| 100         | 38        | 84     | 50        | 79     | 48        | 80     |
| 120         | 18        | 92     | 31        | 87     | 51        | 79     |

Os valores de tempo de 40min com  $P_2=1,20m$  e do tempo de 100min com  $P_3=2,20m$  foram descartados para a plotagem das curvas de isoefficiência (Figura 3) devido a não representatividade da real tendência de sedimentação do efluente.

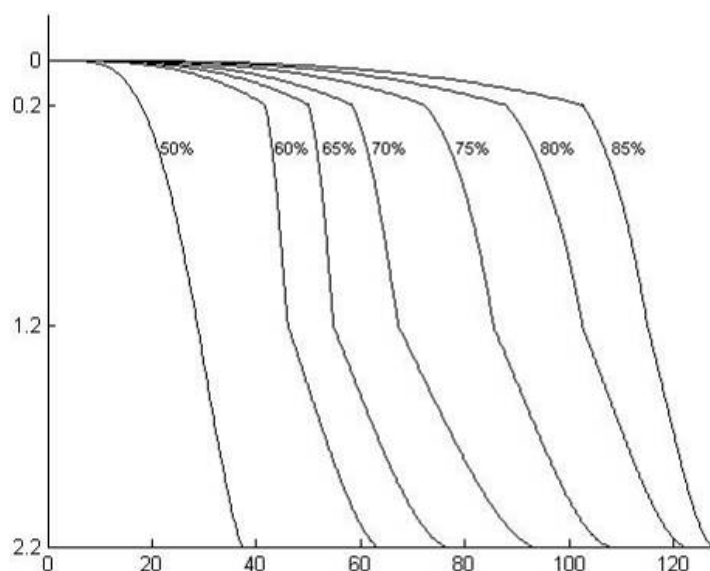


Figura 3: Curvas de Isoeficiência

As curvas de isoefficiência mostram um fator fundamental para se dimensionar decantadores por auxiliar no cálculo da TAS (Tabela 3), refletindo no volume da unidade e seu consequente custo de implantação (DRESCHWEBLER *et al.*, 2013).

No mesmo efluente, as partículas apresentam velocidades de sedimentação distintas, evidenciando o processo contínuo de sedimentação entre curvas. Na Tabela 3, observando o tempo de 36 minutos, percebe-se que à profundidade  $P_3=2,20m$  (fundo do decantador), 50% de SS são removidos, com velocidade de sedimentação de 88 m/dia.

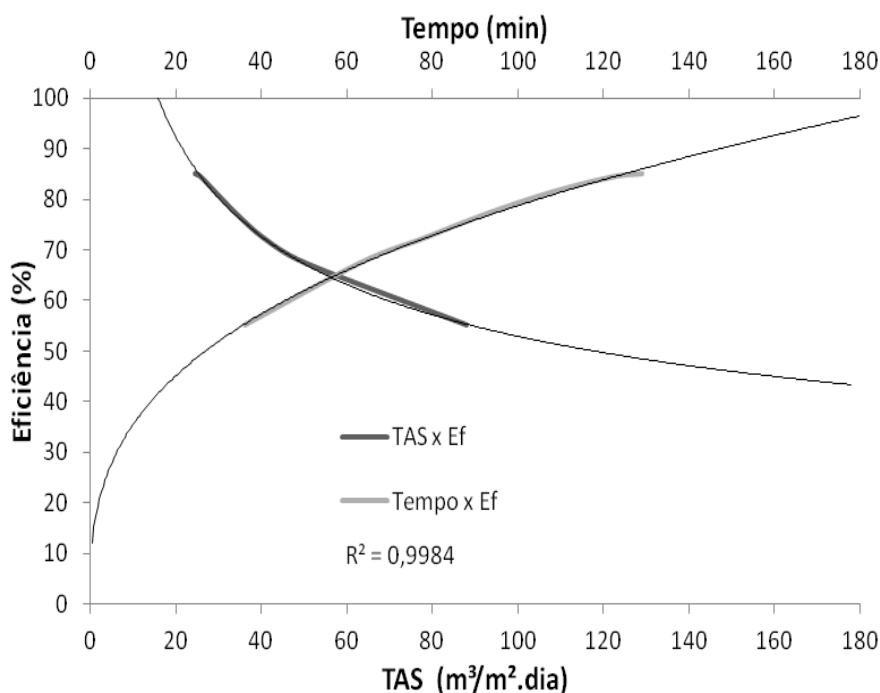
No mesmo tempo, partículas com velocidades inferiores também iniciam o processo de sedimentação, configurando uma condição de eficiência parcial de remoção, o que pode ser exemplificado observando o intervalo entre as curvas de 50 e 60%, onde 4,32% de SS foram removidos. De uma forma prática de entendimento do processo, tem-se que 50% das partículas serão projetadas diretamente ao fundo do tanque, entretanto há um percentual de partículas que será removido também porque serão interceptadas pelas paredes do tanque e depois projetadas ao fundo.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de eficiência total para cada tempo, acrescentando à eficiência de fundo, as eficiências parciais.

**Tabela 3: TAS e Eficiência total de remoção de SS**

| Tempo (min) | TAS (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia) | Eficiência (%) |       |       |       |       |       |       | Eficiência Total (%) |
|-------------|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
|             |   | Fundo          | 50-60 | 60-65 | 65-70 | 70-75 | 75-80 | 80-85 |                      |
| 36          | 88,000                                    | 50             | 4,32  | 0,30  | 0,23  | 0,15  | 0,06  | 0,01  | 55,06                |
| 63          | 50,286                                    | 60             | -     | 4,32  | 2,22  | 0,56  | 0,22  | 0,03  | 67,34                |
| 78          | 40,615                                    | 65             | -     | -     | 3,86  | 2,16  | 1,05  | 0,19  | 72,26                |
| 93          | 34,065                                    | 70             | -     | -     | -     | 4,43  | 2,31  | 0,47  | 77,20                |
| 108         | 29,333                                    | 75             | -     | -     | -     | -     | 4,17  | 2,19  | 81,36                |
| 122         | 25,967                                    | 80             | -     | -     | -     | -     | -     | 4,34  | 84,34                |
| 129         | 24,558                                    | 85             | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 85,00                |

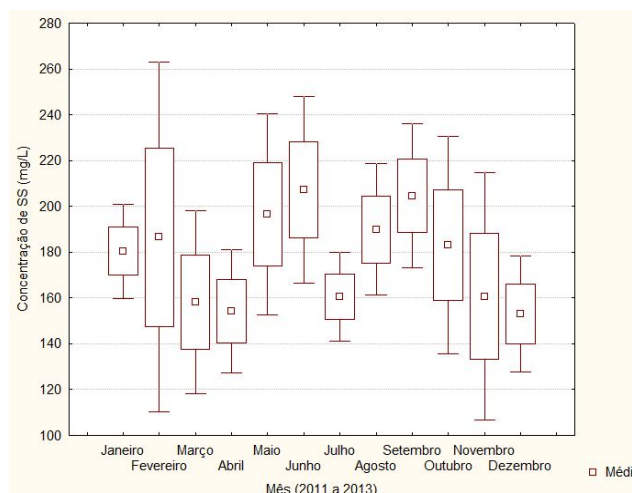
Segundo Jordão e Pessoa (2009), normalmente a quase totalidade dos SS é removida num período de duas horas, como observado no efluente estudado, em que 85% das partículas foram removidas para esse período. Ainda na Tabela 3, observa-se que a eficiência de remoção total de SS é inversamente proporcional a TAS e diretamente proporcional ao tempo, fato também comprovado na Figura 4.



**Figura 4: Relação entre TAS e Eficiência e Tempo e Eficiência**

A eficiência requerida de remoção de SS do decantador ideal prevê atender padrões legais de lançamento e viabilizar a aplicação da radiação UV. Logo, para checagem de dimensionamento foi adotado um valor de referência de SS na saída do decantador (S) de 10mgSS/L. De acordo com Jordão e Pessoa (2009), a concentração de SS no efluente para não intervenção no processo de desinfecção, deve estar entre a faixa de 10 e 40mgSS/L, sendo o menor valor escolhido de forma a ampliar a margem de segurança.

O valor de SS de entrada (S<sub>0</sub>) foi de 264mgSS/L (Figura 5), escolhido através do pior cenário possível, uma vez que o resultado pós análise de variância apresenta que a média simples para cada período não é representativa, sendo adotada a maior observada.



**Figura 5: Análise de variância de So**

Relacionando os valores de S e So, a eficiência de remoção para aplicação da radiação UV calculada é de 96%. Para a eficiência de remoção calculada, a TAS obtida através da Figura 5 foi de 18m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

Para determinação da vazão, foram adotados os valores de K e n em função da garganta de 3" da calha Parshall da ETE como sendo de 633,60 e 1,547, respectivamente. Acompanhando a operação do sistema, percebeu-se que o ciclo de funcionamento da bomba de alimentação da ETE é maior nos períodos de mudança de turno e intervalo para as refeições, com consequente bombeamento de maior vazão. Esse perfil de variação de vazão pode ser observado na Tabela 4:

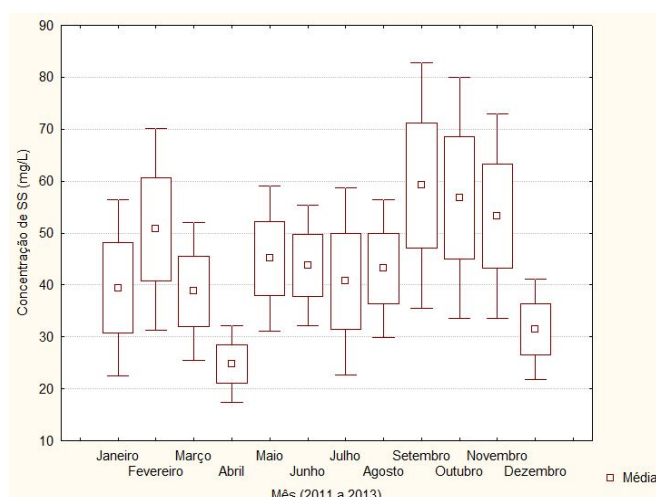
**Tabela 4: Leitura na Calha Parshall e respectiva vazão**

| H (m)              | Horário de acionamento da bomba | Horário de desligamento da bomba | Vazão (m <sup>3</sup> /h) |
|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 0,195              | 09:45                           | 09:50                            | 50,52                     |
| 0,185              | 10:01                           | 10:04                            | 46,57                     |
| 0,165              | 11:27                           | 11:31                            | 39,02                     |
| 0,205              | 12:57                           | 13:13                            | 54,59                     |
| 0,185              | 14:00                           | 14:04                            | 46,57                     |
| 0,175              | 15:18                           | 15:35                            | 42,74                     |
| Q <sub>Média</sub> |                                 |                                  | 46,67                     |

A contribuição per capita real calculada foi de 0,8m<sup>3</sup>/funcionário.dia e a vazão crítica de 3200,23m<sup>3</sup>/dia. A então área teórica para um decantador ideal é de 356m<sup>2</sup>. A área do decantador atual é de 47,5m<sup>2</sup>, sugerindo-se assim, o dimensionamento de um decantador complementar. Cabe ressaltar que a sugestão de implantação de um novo decantador é fruto da necessidade de maximizar a remoção de SS e conferir qualidade ao efluente superior à demandada por padrões legais, a fim de propiciar condições ideais de aplicação de radiação UV. O decantador existente opera com TAS de 24m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia e eficiência de remoção de SS de 85%, garantindo o atendimento aos padrões legais de lançamento, mas apresentando eficiência inferior a requerida para desinfecção por radiação UV.

O valor de So para o decantador complementar foi determinado a partir da análise dos valores de S do decantador existente, sendo ela de 83mg/L (Figura 6) pós análise de variância da série histórica, sendo adotada a maior observada.





**Figura 6: Análise de variância de S**

A eficiência calculada para o decantador complementar é de 88%, a respectiva TAS de 25m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e a área superficial de 256m<sup>2</sup>. Uma vez definida a área necessária a sedimentação, deve-se mencionar que as dimensões de um possível novo decantador só poderão ser definidas após uma análise do terreno disponível.

Segundo a NBR 12209 da ABNT a altura útil mínima deve ser igual ou superior a 2,0m e para decantador retangular a relação comprimento/largura deve ser igual ou superior a 2:1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

A elevada contribuição per capta calculada, que consequentemente resulta numa demanda maior por área para o decantador, pode ser resultado de uma contribuição industrial relevante proveniente de águas residuárias, invalidando assim a estimativa do cenário crítico em função do número de funcionários.

Segundo a NBR 7229 da ABNT, a contribuição per capta em uma unidade fabril é de aproximadamente 70l/dia ou 0,07m<sup>3</sup>/dia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993).

De maneira semelhante, também é sugerido por Metcalf e Eddie (2004), a relação per capta em prédios industriais de 75l/dia ou 0,075m<sup>3</sup>/dia. Assim, a contribuição per capta real calculada apresenta-se aproximadamente 11 vezes acima do sugerido pela literatura.

## RESULTADOS DA DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV

A concentração de SS aferida no dia do ensaio de desinfecção foi de 13mgSS/L, sendo esse um valor conforme a faixa desejável para aplicação de UV, segundo Gonçalves (2003) e Jordão e Pessoa (2009).

A Tabela 5 apresenta o NMP de *E. coli* para cada 100 mL de amostra em cada tempo testado, bem como a discretização logarítmica dos dados, com intuito minimizar suas respectivas variâncias.

Até o tempo de 120s, observa-se o decaimento do NMP/100mL de *E. coli*, com remoção de duas unidades logarítmicas (log) em relação à concentração inicial. Pós 120s não houve uma diminuição significativa de NMP/100mL de *E. coli*, mantendo-se na mesma ordem log do tempo anterior.

O contrário se dá no estudo de Costa, Lobo e Wisbeck (2009), que também utilizou uma lâmpada de 30W, e observou uma influência negativa entre o tempo de exposição e a eficiência de inativação entre tempos de 60s e 120s, sendo 60s mais eficiente, diferentemente do proposto por Aguiar (2000), cujo tempo de 60s mostrou-se insuficiente para a remoção de *E. coli*, obtendo valores de remoção total a partir de 300s. Tais diferenças podem estar relacionadas às características do efluente, ao tipo de reator e a dose aplicada, não aferida em ambos os estudos.

Tabela 5: Teste de Desinfecção

| Tempo (min) | E. coli (NMP/100mL) | Log    |
|-------------|---------------------|--------|
| 0           | 11000               | 4,0414 |
| 0           | 26000               | 4,4150 |
| 0           | 26000               | 4,4150 |
| 60          | 460                 | 2,6628 |
| 60          | 14000               | 4,1461 |
| 60          | 15000               | 4,1761 |
| 120         | 80                  | 1,9031 |
| 120         | 800                 | 2,9031 |
| 120         | 260                 | 2,4150 |
| 240         | 800                 | 2,9031 |
| 240         | 460                 | 2,6628 |
| 240         | 110                 | 2,0414 |

Através das figuras 7 e 8 é possível observar o comportamento descrito na Tabela 5, onde a curva mostra significativa queda de NMP/100mL de *E. coli* até o tempo de 120s e posterior estagnação na tendência de decaimento.

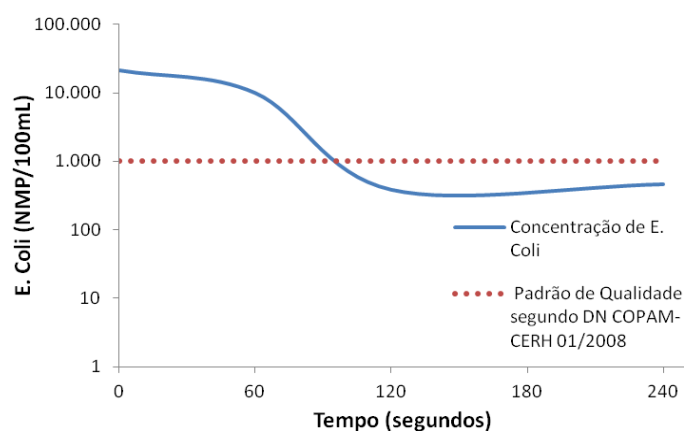
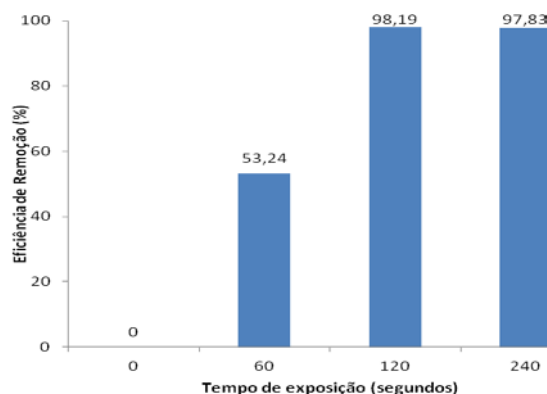


Figura 7: Remoção de *E. coli* em função do tempo de exposição

Observa-se também nas Figuras 7 e 8, que o tempo de 120s mostrou-se eficiente na busca pelo padrão de qualidade do corpo d'água receptor. A eficiência calculada para o tempo de 120s foi de 98,19% e para 240s foi de 97,83%, apresentando influência negativa entre o tempo de exposição e a eficiência de inativação.



**Figura 8: Eficiência média de remoção de *E. coli* em função do tempo de exposição**

Ao avaliar a eficiência dos tempos de exposição, o método de Levene para análise da homogeneidade de variância apresentou, para os dados brutos,  $p$  significativo, igual a 0,0049, invalidando a hipótese de igualdade das variâncias. Uma vez que não se assume a homogeneidade das variâncias, o mesmo teste foi então aplicado nos dados logaritmizados, apresentando  $p$  igual a 0,12, validando a hipótese de igualdade das variâncias.

Em seguida, para os dados logaritmizados, o teste estatístico para dados paramétricos ANOVA também apresentou  $p$  significativo, com valor de 0,008, possibilitando a análise *post-hoc*, através do teste de Tukey, cujos resultados estão descritos na tabela 6:

**Tabela 6: Teste de Tukey**

| Tempo (seg) | Concentração Log média |
|-------------|------------------------|
| 0           | 4,2904 A               |
| 60          | 3,6617 AB              |
| 120         | 2,4071 B               |
| 240         | 2,5357 B               |

\*Nota: médias seguidas letras iguais não diferem entre si, ao nível de 5% de significância.

A Tabela 6 comprova o anteriormente observado nas figuras 8 e 9, onde não há diferença significativa entre os tempos de 120s e 240s, sendo, portanto o tempo ótimo para desinfecção de 120s.

## CONCLUSÕES

Através das análises de variância de concentração de SS, percebeu-se o atendimento dos requisitos legais de lançamento, porém identificou-se a necessidade de intervenção no processo de decantação para se obter valores que atendam a faixa desejável de SS (entre 10 a 40mg/L), a fim de maximizar a eficiência no processo de desinfecção por radiação UV. Essas intervenções podem ter caráter operacional, tal como equalização da vazão, ou caráter construtivo, com o acréscimo de uma unidade complementar de decantação na planta operante. A intervenção de caráter construtivo foi avaliada através da análise da vazão e estimativa do cenário crítico, pelo qual se comprovou a necessidade da mesma. Notou-se ainda que a contribuição per capita real é incompatível com o sugerido pela literatura, o que pode significar uma contribuição expressiva de águas residuárias industriais, cujas características de SS diferem significativamente do esgoto sanitário. Sendo assim, não é possível afirmar a real necessidade de dimensionamento de uma unidade complementar de decantação, uma vez que a estimativa do cenário crítico não é a mais indicada para o proposto.

Segundo dados bibliográficos a radiação UV é uma alternativa viável para a desinfecção de efluentes sanitários que apresentem características mínimas de qualidade – baixo teor de SS, e o presente trabalho contribuiu para sustentar essa afirmativa, uma vez que os ensaios foram satisfatórios para garantir a remoção de *E. coli* visando atender os padrões de qualidade consoantes ao enquadramento do corpo receptor. Observou-se ainda que

dentre os tempos de exposição testados, o tempo de 120s é o mais vantajoso para concepção de um reator, uma vez que em tempos superiores não há ganho de eficiência considerável.

Além disso, a desinfecção por radiação UV, se comparada a outros processos de desinfecção tais como lagoas de maturação e cloração, apresenta-se vantajosa por não requerer grandes áreas para implantação, uma vez que não há disponibilidade no local, e por não produzir resíduos perigosos.

Recomenda-se para trabalhos futuros, reavaliar a necessidade de dimensionamento de uma unidade de decantação complementar através de outra metodologia de estimativa do cenário crítico, tal como o uso do coeficiente de retorno. Além disso, avaliar a interferência do processo operacional e as características do efluente na eficiência do decantador. Além da decantação merece cotejo técnico, a aplicação de novas tecnologias para redução da concentração de SS, tais como filtros de discos.

Sugere-se que, para avaliar a eficiência de desinfecção por radiação UV, outros fatores intervenientes no processo possam ser estudados, tais como a variação da concentração de SS no efluente, a dose, a intensidade ao longo do reator, o dimensionamento do sistema, a aplicação do teste em fluxo contínuo, a análise da viabilidade econômica, dentre outros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, Alex Moura de Souza. Avaliação do emprego da radiação Ultravioleta na desinfecção de Águas com cor e turbidez moderadas. 2000. 114 f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/233M.PDF>>. Acesso em: 5 out. 2014.
2. APHA. WEF. AWWA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2005.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
4. \_\_\_\_\_. NBR 12209 – Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.
5. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (MG). Deliberação Normativa Conjunta nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 19 abr. 2014.
6. COSTA, Bruno Passos da.; LOBO, Mara Gomes; WISBECK, Elisabeth. Avaliação da desinfecção de água por reator utilizando radiação ultravioleta. Revista de Ciências Ambientais, Canoas, v.3, n.1, p.21 a 36, 2009/ISSN 1981-8858. Disponível em: <[http://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs\\_online/artigos/revista\\_de\\_ciencias\\_ambientais/2009\\_v3\\_n1/mglobo.pdf](http://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/artigos/revista_de_ciencias_ambientais/2009_v3_n1/mglobo.pdf)>. Acesso em: 04 out 2014.
7. DRESCHWEBLER, Alberto et al. Avaliação da eficiência de remoção de sólidos através de ensaio de coluna de sedimentação. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2013. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/08b50fbe3f07fac900e8911a83fea77f\\_507046ab1c064a8507a7085b4279efac.pdf](http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/08b50fbe3f07fac900e8911a83fea77f_507046ab1c064a8507a7085b4279efac.pdf)>. Acesso em: 22 set 2014.
8. GONÇALVES, Ricardo Franci (coord.). Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2003.
9. JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 5.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
10. METCALF, L.; EDDY, H. P. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2004.
11. PICCOLO, Maria Alice Mochel; PINTO, Carlos Alberto; TEIXEIRA, Edmilson Costa. Correlação entre sólidos em suspensão, cor e Turbidez para água captada no rio Jucu – ES. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/ii-053.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2014.
12. SPERLING, Marcos von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. rev. Belo Horizonte: UFMG, 2005. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 1).