

## II-435 – REMOÇÃO DE FÓSFORO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS COM DOSAGEM DE CLORETO FÉRRICO NO REATOR BIOLÓGICO TIPO “LODOS ATIVADOS”

**Gandhi Giordano<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UERJ, Mestre em Ciência Ambiental – PGCA/UFRJ, Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – PUC – Rio. Prof. Adjunto no Depto. de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente e da FEN/UERJ e Diretor Técnico da TECMA- Tecnologia em Meio Ambiente Ltda.

**Fernando Alves Moreira**

Engenheiro Mecânico pela Universidade Gama Filho (UGF), Especializado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UERJ.

**Olegário Fernandes Vieira Neto**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Especializado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UERJ.

**Roberta Nogueira Marques Pinto**

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Riviera, 28 - Jacaré - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20975-050 - Brasil - Tel: +55 (21) 2501-3315 - Fax: +55 (21) 2201-3956 - e-mail: [gandhi@tecma-tecnologia.com.br](mailto:gandhi@tecma-tecnologia.com.br)

### RESUMO

A necessidade de redução do processo de eutrofização do sistema lagunar e a necessidade de adequação ao limite de lançamento exigido pela legislação ambiental aumentam o interesse na redução da concentração de fósforo nos efluentes. A remoção de fósforo em estações de tratamento de efluentes pode ser realizada através da precipitação química do fósforo pela adição de agentes coagulantes, como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. O objetivo do trabalho é apresentar os resultados obtidos no método empregado para remoção de fósforo no efluente tratado, através da aplicação direta de solução de cloreto férrico, na linha de alimentação do efluente bruto equalizado, no reator biológico, de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais. Com a aplicação do método, a concentração de fósforo total no efluente tratado foi reduzida, sendo a concentração média igual a 0,55mg/L P, verificada no ano de 2010, valor inferior ao limite permitido para lançamento pela legislação ambiental do estado do Rio de Janeiro e a eficiência média de remoção de fósforo na estação igual a 87%. Além disso, a aplicação de cloreto férrico não afetou a eficiência de redução da concentração de matéria orgânica, medida indiretamente pelos parâmetros DBO e DQO que permanece superior a 94% e 80%, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluente tratado, eutrofização, reator biológico, cloreto férrico, fósforo total, precipitação química.

### INTRODUÇÃO

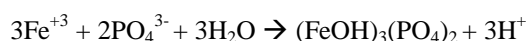
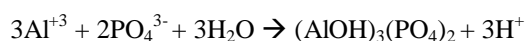
O descarte nos corpos hídricos de esgotos sanitários e efluentes industriais promove o aumento da concentração de matéria orgânica e excesso de nutrientes, como o fósforo e nitrogênio, no processo denominado de eutrofização (ESTEVES, 1988). Esse fenômeno promove a desestabilização dos ecossistemas aquáticos devido ao aumento do crescimento de algas, plantas aquáticas e cianobactérias. A dificuldade de penetração da luminosidade no meio, devido ao excesso de vegetação aquática, prejudica o processo de fotossíntese nas camadas inferiores, ocasionando a redução da concentração de oxigênio necessária à respiração dos organismos aeróbios, podendo resultar em mortandade. O aumento da concentração de matéria morta em decomposição no meio promove o crescimento de agentes decompositores que atuam na degradação da matéria orgânica morta, liberando toxinas que agravam ainda mais as condições dos ambientes afetados, comprometendo a cadeia alimentar e a qualidade da água do corpo receptor.

A necessidade de redução dos efeitos provocados pelo processo de eutrofização e a necessidade de adequação ao limite de lançamento exigido pela legislação ambiental, CONAMA 430 (2011), aumentam o interesse na redução da concentração de fósforo nos efluentes.

O fósforo aparece em águas naturais principalmente devido às descargas de esgotos sanitários. Atualmente têm fontes importantes nos produtos de limpeza domésticos tais como, detergentes, amaciantes de roupas e de higiene pessoal (VON SPERLING, 1996). Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, farmacêuticas, pesticidas, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas.

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes: fosfatos orgânicos, ortofosfatos e polifosfatos. Esta terceira forma sofre hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais.

A remoção de fósforo em estações de tratamento de efluentes pode ser realizada através da precipitação química do fósforo pela adição de agentes coagulantes, como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, de acordo com as equações abaixo:



No caso de estações com tratamento biológico aeróbio, a aplicação de coagulante pode ser realizada nos seguintes pontos (KEMIRA, 2003):

- Antes do tanque de aeração, com a remoção do fósforo precipitado, após a sedimentação do lodo químico formado e antes do tratamento biológico;
- Depois do tanque de aeração, com remoção do fósforo precipitado por sedimentação antes do lançamento final;
- No tanque de aeração ou na linha de alimentação de efluente bruto no tanque de aeração, com a precipitação do fósforo ocorrendo de forma simultânea ao processo biológico, sendo neste caso, o fósforo precipitado removido do reator aeróbio durante o descarte de excesso de lodo biológico.

Na **Tabela 1** são apresentadas as eficiências esperadas para a remoção de fósforo em estações de tratamento de efluentes através da adição de coagulante (KEMIRA, 2003).

**Tabela 1. Eficiência esperada de remoção de fósforo.**

Ponto de Aplicação de Coagulante	Eficiência Esperada (%)
Aplicação de coagulante antes do tanque de aeração.	90
Aplicação de coagulante depois do tanque de aeração.	95
Aplicação de coagulante no tanque de aeração.	90

No presente trabalho serão apresentados os resultados obtidos no método empregado para remoção de fósforo no efluente tratado, em Estação de Tratamento de Efluentes Industriais, de uma indústria farmacêutica, localizada no Rio de Janeiro, na qual o parâmetro fósforo passou a ser controlado pelo órgão ambiental, devido ao corpo receptor desembocar em um Complexo Lagunar.

A medida foi adotada como forma de controle da poluição nas Lagoas formadoras do Complexo. Antes disso, a estação não havia sido projetada para a remoção de fósforo no efluente, sendo o tratamento composto por um tanque de equalização, seguido de reator biológico, do tipo “lodos ativados”, decantador secundário e uma unidade de recuperação de água (ultrafiltração).

Parte do fósforo afluente é consumida, como nutriente, no processo de biodegradação da matéria orgânica, ocorrido no reator biológico, porém a quantidade de fósforo no efluente bruto é maior que a quantidade necessária para a biodegradação, restando fósforo no sistema. Devido a esse excesso de fósforo, eventualmente, a concentração de fósforo total no efluente tratado excedia ao limite máximo de lançamento permitido pela legislação ambiental do estado do Rio de Janeiro (NT 202. R10 – INEA – Limite Máximo = 1,0 mg/L P).

O procedimento adotado para controlar imediatamente a não conformidade foi a aplicação de solução de cloreto férrico no efluente bruto equalizado durante a sua transferência para o reator biológico.

## OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho é apresentar os resultados obtidos no método empregado para remoção de fósforo no efluente tratado, através da aplicação direta de solução de cloreto férrico, na linha de alimentação de efluente bruto equalizado, no reator biológico, de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais, localizada no Rio de Janeiro, incluindo, a redução progressiva da concentração de fósforo, o consumo de produto químico e as vantagens e desvantagens observadas durante a aplicação do método.

## METODOLOGIA

Em um tanque de 200L é preparada a solução de cloreto férrico comercial. A solução preparada é dosada continuamente ao efluente bruto, por uma bomba dosadora, na linha de alimentação do reator biológico aeróbio.

No tanque de aeração ocorre a mistura do efluente com os “lodos ativados”, permitindo que os microrganismos que formam o lodo, na presença de oxigênio e nutrientes (nitrogênio e fósforo), degradem a matéria orgânica por metabolismo aeróbio, ocorrendo também a remoção do fósforo pelo processo biológico e pela precipitação com o cloreto férrico. A mistura de lodos ativados, lodo químico e efluente tratado escoam por gravidade do tanque de aeração para o decantador secundário. Os flocos são separados do efluente tratado por sedimentação, pela ação da gravidade. O lodo sedimentado no decantador é removido continuamente, através de removedor mecânico e retornado ao tanque de aeração. O controle do teor de sólidos no tanque de aeração é realizado através do descarte, semanal, de excesso do lodo biológico e químico formado.

O diagrama de blocos a seguir (**Figura 1**), representa o processo atual de tratamento na ETEI.

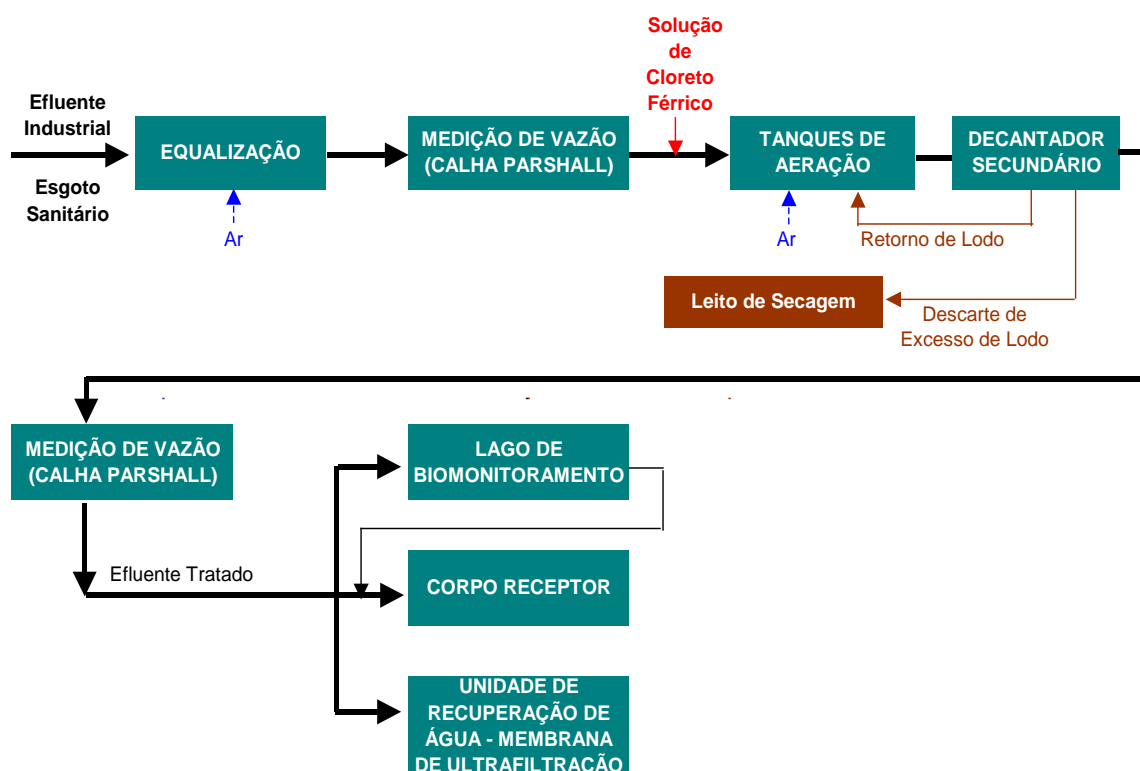
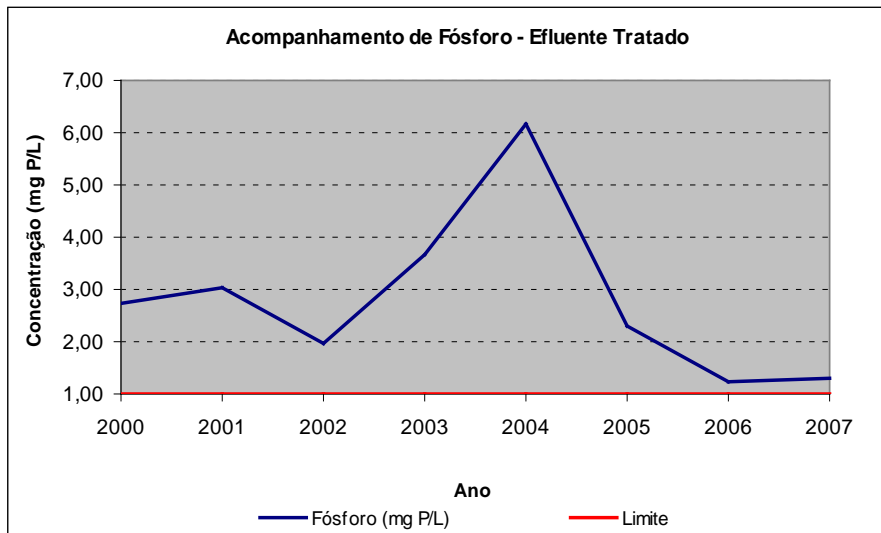


Figura 1 - Diagrama de blocos do processo de tratamento.

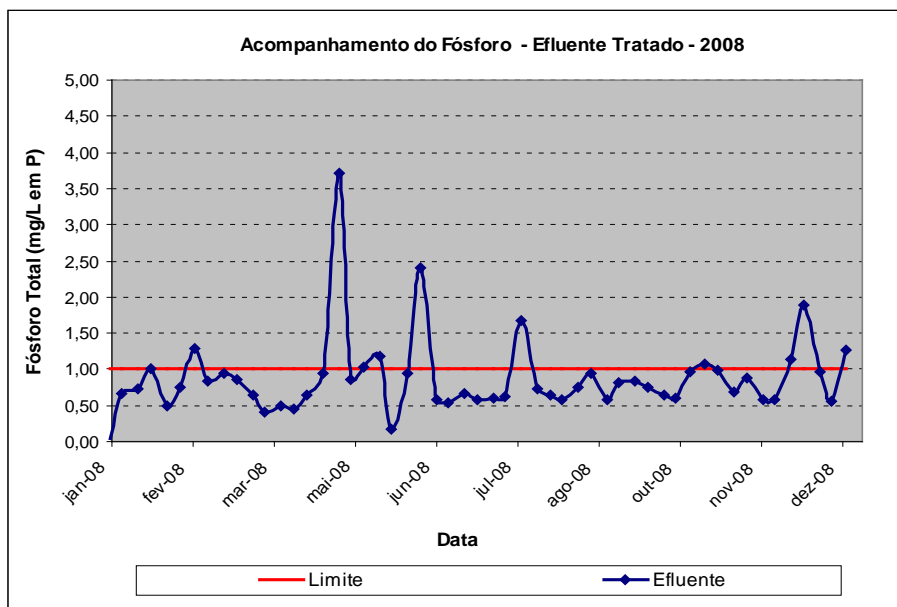
## RESULTADOS

O histórico da concentração média de fósforo no efluente tratado, nos anos anteriores ao início da utilização de cloreto férrico na estação de tratamento e a redução da concentração de fósforo no efluente tratado, após o início do tratamento com o coagulante são apresentados nas **Figuras 2, 3 e 4**, respectivamente.



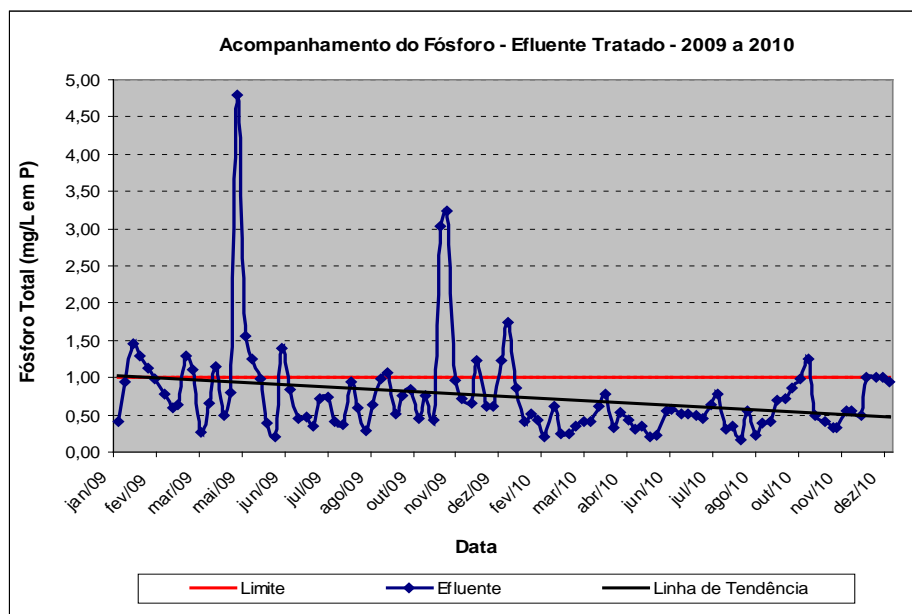
**Figura 2.** Concentração média de fósforo no efluente tratado, nos anos anteriores a utilização do método de aplicação de cloreto férrico no reator Biológico.

Na **Figura 3** são verificados alguns resultados de fósforo no efluente tratado acima do limite máximo estabelecido pela legislação ambiental, que se justificaram pela dificuldade de ajuste da dosagem de solução de cloreto férrico no ano de implantação do tratamento.



**Figura 3.** Concentração de fósforo no efluente tratado, após a utilização do método de aplicação de cloreto férrico no Reator Biológico no ano de 2008, primeiro ano de implantação do tratamento.

Na **Figura 4**, os resultados de fósforo no efluente tratado acima do limite máximo estabelecido pela legislação ambiental são justificados pela interrupção da dosagem do cloreto férrico no reator biológico devido à falta do produto químico na ETEI.



**Figura 4. Concentração de Fósforo no Efluente Tratado, após a utilização do Método de Aplicação de Cloreto Férrico no Reator Biológico no período de 2009 a 2010.**

A concentração da solução de cloreto férrico foi aumentada gradativamente, até que fosse atingida uma dosagem ideal, ou seja, suficiente para remoção do fósforo e permanência desse parâmetro dentro do limite estabelecido pela legislação ambiental. Esse aumento foi gradativo e controlado, para que não ocorresse remoção excessiva de fósforo afluente ao sistema biológico e como consequência a redução da eficiência do tratamento secundário.

Atualmente, o consumo médio diário de cloreto férrico comercial (37,5 a 40,5 % m/m) por m<sup>3</sup> de efluente tratado é igual a 0,24 L/m<sup>3</sup> e é suficiente para que a concentração de fósforo no efluente tratado permaneça abaixo do limite de lançamento e a eficiência de redução da concentração de matéria orgânica, medida indiretamente pelos parâmetros DBO e DQO permaneça acima de 94% e 80%, respectivamente.

Na **Tabela 2** são apresentados os resultados das eficiências de remoção de carga orgânica no ano de 2010, do fósforo e SST no efluente tratado, no ponto de descarte após o tratamento biológico. No ano de 2010, o ajuste da dosagem ideal de cloreto férrico aliado ao descarte de excesso lodo semanal aumentou a eficiência de remoção de fósforo.

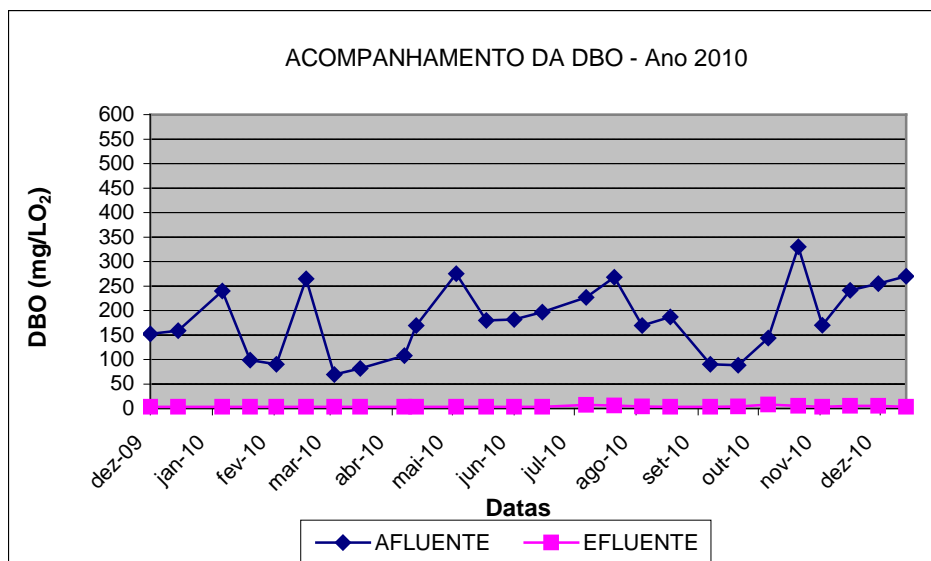
Considerando a média da concentração de fósforo no efluente tratado, apresentada na **Tabela 2** e a média da concentração de fósforo total no afluente igual a 4,32 mg/L, verifica-se que a eficiência média de remoção de fósforo na estação é igual a 87%, resultado inferior ao apresentado na **Tabela 1** como referência para processo de aplicação de cloreto férrico no reator biológico.

**Tabela 2. Resultados do monitoramento da ETEI no ano de 2010.**

Valores	DBO efluente (mg/L O <sub>2</sub> )	DQO efluente (mg/L O <sub>2</sub> )	Eficiência de Redução de DBO (%)	Eficiência de Redução de DQO (%)	Fósforo total efluente (mg/L P)
Máximo	8	43	99	99	1,75
Médio	4	20	97	95	0,55
Mínimo	<3	<15	94	82	0,17

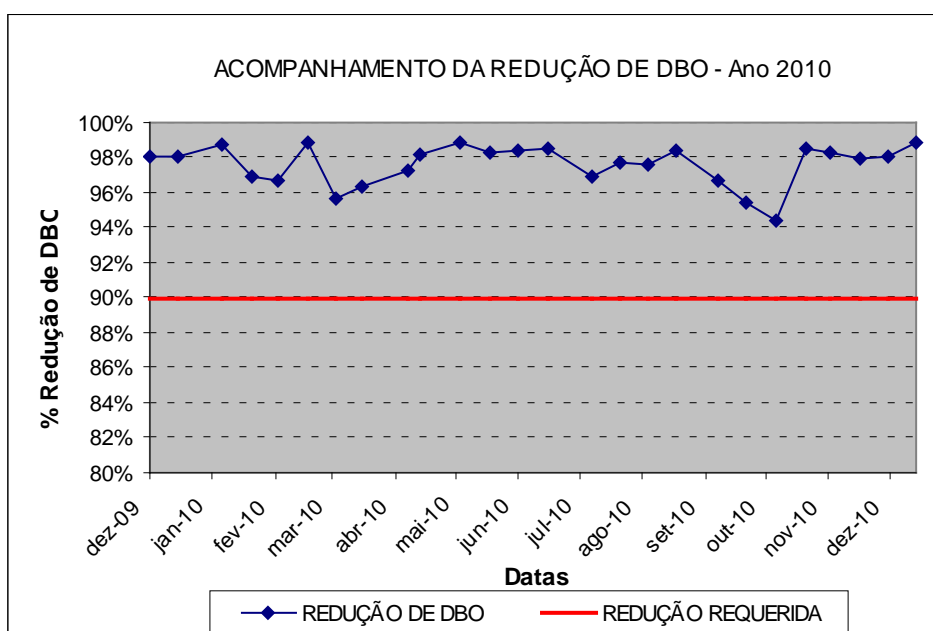
O histórico da concentração de matéria orgânica no afluente e efluente, no último ano, apresentado nas **Figuras 5, 6 e 7**, demonstra que a eficiência de remoção de matéria orgânica não é afetada pela dosagem de cloreto férrico ao reator biológico.

Na **Figura 5** é possível observar a concentração de matéria orgânica no afluente e efluente tratado expressa pela DBO.



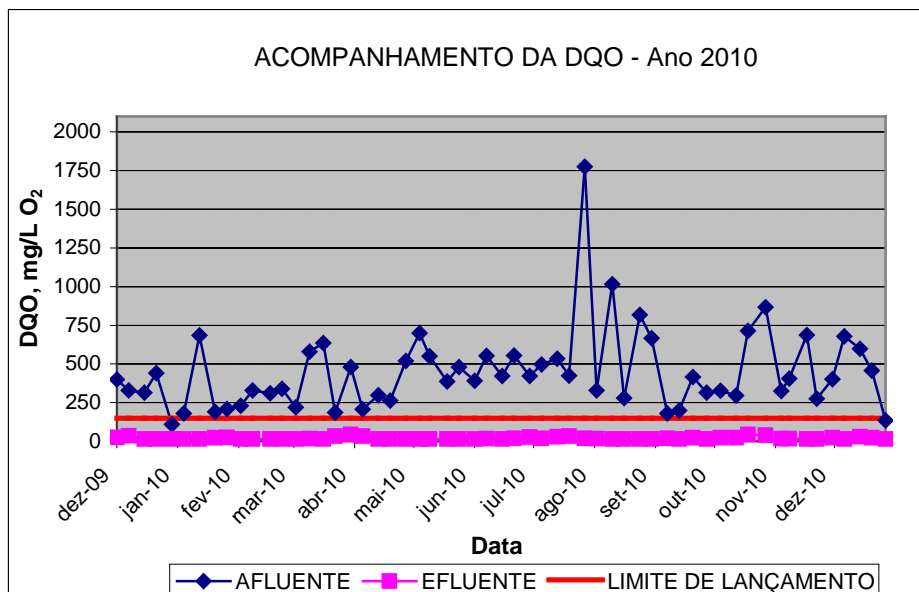
**Figura 5. Acompanhamento da DBO afluente e efluente no ano de 2010.**

Na **Figura 6** é possível observar que a redução de DBO não foi afetada pela adição de solução de cloreto férrico para remoção de fósforo, permanecendo acima de 94%, valor superior à eficiência mínima de redução de matéria orgânica estabelecida pela legislação ambiental (DZ 205. R06 – INEA – Eficiência Mínima = 90%).



**Figura 6. Acompanhamento da Redução de DBO no ano de 2010.**

Na **Figura 7** é possível observar que a concentração de matéria orgânica no efluente tratado expressa pela DQO, também não foi afetada pela adição de solução de cloreto férrico para remoção de fósforo, permanecendo com resultados inferiores ao limite máximo estabelecido pela legislação ambiental (DZ 205. R06 – INEA – Limite = 150 mg/L O<sub>2</sub>).



**Figura 7. Acompanhamento da Redução de DBO no ano de 2010.**

A **Figura 8** ilustra a determinação do volume de lodo na mistura do reator biológico após 30 minutos de sedimentação. Pela figura observa-se que a adição de cloreto férrico não compromete às características do lodo em relação à floculação, estando o lodo sedimentado com boa floculação e a fase líquida sobrenadante límpida e com baixa concentração de sólidos em suspensão.



**Figura 8. Aspecto do Lodo Biológico.**

A **Tabela 3** apresenta os resultados analíticos do monitoramento da ETEI, no dia da realização do teste de sedimentabilidade do lodo, ilustrado na **Figura 8**.

Pelos resultados apresentados na **Tabela 3**, verifica-se que a relação SSV/SST (Sólidos Suspensos Voláteis / Sólidos Suspensos Totais) é igual a 0,59. Nos anos anteriores ao início da aplicação, o valor médio encontrado foi igual a 0,75. Após a implantação do processo de adição de cloreto férrico foi verificada a redução do valor da relação SSV/SST. A redução pode ser justificada pelo aumento do SST na mistura do tanque de aeração provocado pela formação de lodo químico após a coagulação com o cloreto férrico, com adsorção nos flocos biológicos.



**Tabela 3. Resultados do monitoramento da ETEL.**

Parâmetros	Ponto de Coleta		
	Efluente Bruto	Tanque de Aeração	Efluente Tratado Final
DBO, mg/L em O <sub>2</sub>	182	-	<3
DQO, mg/L em O <sub>2</sub>	553	-	16
Fósforo total, mg/L P	-	-	0,58
Sólidos Suspensos Totais, mg/L	-	4315	8
Sólidos Suspensos Voláteis, mg/L	-	2529	-
Sedimentabilidade de Lodo, mL/L	-	340	-
SSV/SST	-	0,59	-
Índice Volumétrico de lodo - IVL	-	78,8	-
Índice de Densidade de lodo - IDL	-	1,3	-

## CONCLUSÕES

O método empregado para remoção de fósforo no efluente tratado da estação, através da aplicação direta de solução de cloreto férrico, no reator biológico, promoveu a redução da concentração de fósforo e o enquadramento dos resultados no limite permitido pela legislação ambiental. Alguns resultados, com valor superior ao limite foram verificados em períodos nos quais não foi adicionado cloreto férrico ao efluente bruto, devido à falta do produto químico.

Durante a aplicação do método foi verificado que juntamente com a adição de cloreto férrico ao efluente equalizado, o descarte de excesso de lodo do tanque de aeração é imprescindível para a redução de fósforo no efluente tratado.

A principal vantagem do método utilizado foi a sua aplicação com instalações simplificadas, sendo necessário para isso, apenas a aquisição de uma bomba dosadora. Deve-se ressaltar que a estação de tratamento não havia sido projetada para a remoção de fósforo no efluente, por isso, o método foi adotado emergencialmente, devido a sua facilidade de implantação, não sendo necessário para isso, nenhuma obra civil ou implantação de novas unidades.

Como desvantagem, foi verificada a dificuldade de determinação da dosagem ideal de solução de cloreto férrico para não ocasionar a redução da eficiência do tratamento biológico.

A dosagem de cloreto férrico para a remoção de fósforo, encontra-se na proporção de ferro para fósforo é igual a 10:1 respectivamente. Para a análise crítica dessa relação deve ser considerado que o cloreto férrico não é um reagente seletivo para fósforo e atua também como coagulante, com isso, seu consumo é superior à relação estequiométrica.

O consumo mais alto de cloreto de férrico pode também ser justificado pelo pH do tanque de aeração, que é mantido em torno de 6,5 a 7,5, ou seja dentro da faixa ideal para o processo biológico, porém acima do pH igual a 5,5, pH recomendado para precipitação dos fosfatos (DEGREMONT, 2005).

Deve-se ressaltar que dosagens altas de cloreto férrico podem ocasionar cor no efluente tratado e principalmente neste caso, é importante avaliar a possibilidade da redução do fósforo nas fontes deste nutriente.

## RECOMENDAÇÕES

Após o período de aplicação do método foram verificados alguns fatores que auxiliaram para o aumento da eficiência do método e enquadramento do resultado de fósforo no efluente tratado, sendo eles:

- A análise em campo da concentração de fósforo no efluente final para permitir um maior controle da dosagem de solução de cloreto férrico.



- A análise de cor e ferro total no efluente tratado e determinação da concentração de fósforo total no efluente bruto para acompanhamento do histórico do fósforo afluente e monitoramento dos possíveis impactos da adição de cloreto férrico no efluente tratado.
- O descarte periódico de lodo do tanque de aeração para remoção de lodo químico contendo o fósforo precipitado.
- Redução na fonte deste nutriente, através da substituição de produtos que possuam em sua composição o fósforo, como por exemplo, alguns detergentes utilizados para lavagem de mãos e limpeza de equipamentos e de utensílios de restaurantes.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CAVALCANTI, J.E.W.A – Manual de Tratamento de Efluentes Industriais. São Paulo-SP. Engenho Editora Técnica Ltda. 2009. 453p.
2. DEGRÉMONT – Memento Technique de l'Eau. 10<sup>a</sup> ed. Rueil-Malmaison (France): Lavoisier. 2005,1752p.
3. ECKENFELDER Jr, W.E, Ford, D.L. e Englande Jr., A.J.Industrial Quality. 4<sup>a</sup>ed., New York,McGraw-Hill,2009,956p. – Memento Technique de l'Eau. 10a ed. Rueil-Malmaison (France): Lavoisier. 2005,1752p.
4. ESTEVES, F.A. – Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro – RJ. Editora Interciência / FINEP. 1988.575p.
5. KEMIRA - About Water Treatment. Helsingborg. 2003.207p.