

## II-059 - EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA NA CIDADE DE SANTO ANTÔNIO DO MONTE - MG

**Marcone dos Santos Guimarães<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pelo Centro Universitário de Formiga (UNIFOR-MG). Gerente da empresa LICENCE GROUP – MAPAS, PROJETOS E LICENCIAMENTO. Iniciação Científica pela FAPEMIG aceita e apresentada no *20th International Congress of Mechanical Engineering* sob o título “Desenvolvimento de um Software no Co-processamento de Resíduos na Indústria do Cimento”.

**Christiane Pereira Rocha<sup>(2)</sup>**

Engenheira Química pelo Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS-MG). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (FEQUI-UFU). Doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (FEQUI-UFU). Professora no Centro Universitário de Formiga (UNIFOR-MG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua. Coronel José Luíz Gonçalves Sobrinho, 365 – Nossa Senhora de Fátima – Santo Antônio do Monte - MG - CEP: 35560-000 - Brasil - Tel: +55 (37) 3281-3062: - e-mail: **marcone-samonte@hotmail.com**.

### RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de fogos de artifício, atrás apenas da China. O município de Santo Antônio do Monte na região Centro-Oeste de Minas Gerais é o maior pólo de produção do país. Os fogos de artifício, também chamados de foguetes pirotécnicos, são explosivos dotados de um pavio para iniciar a combustão. A combustão inicial provoca a rápida ascensão do foguete, que a certa altura explode violentamente. Conforme o elemento químico adicionado junto à mistura explosiva, podem ser obtidas diferentes cores. (Wikipédia, 2011). O presente estudo verificou a eficácia do sistema de tratamento dos efluentes líquidos gerados na produção de tais fogos de artifícios. O sistema de tratamento consiste em uma caixa de gradeamento seguida de uma caixa de espera, caixa pulmão, caixa de secagem do lodo, filtro de areia e brita de fluxo ascendente, caixa de recepção e filtro de carvão ativado. O tratamento de efluentes líquidos é uma das mais importantes questões ambientais dessa atividade, no que diz respeito ao atendimento da legislação e à consequente proteção do meio ambiente. Para determinação da eficiência do sistema de tratamento, foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos, DQO, DBO, pH, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensão Total, Bário, Chumbo, Sulfetos, Cianetos, Cromo Total, Cobre, Antimônio, Óleos e Graxas, Fenóis. Os resultados mostraram uma boa eficiência na remoção dos parâmetros analisados, principalmente devido ao fato de o efluente conter significativa quantidade de metais pesados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Artifícios Pirotécnicos, Estação de Tratamento, Efluentes Líquidos, Metais Pesados.

### INTRODUÇÃO

Durante a fabricação de fogos de artifício, a água pode ser utilizada de diversas formas, tais como: incorporação ao produto; lavagens de máquinas, tubulações, equipamentos e pisos; lâmina d'água. Exceto pelos volumes de águas incorporados ao produto, as águas tornam-se contaminadas por resíduos do processo industrial, originando assim os efluentes líquidos.

Os efluentes líquidos derivados dos processos de produção de produtos pirotécnicos contêm diversos poluentes, tais como: mercúrio, chumbo, alumínio, carbonatos, criolita em pó, óxidos de cobre, entre vários outros, devido às matérias-primas utilizadas. Ao serem despejados nos corpos receptores, esses efluentes irão causar alterações na qualidade destes e consequentemente a sua poluição (degradação), podendo trazer também riscos à saúde da população.

A poluição pelos efluentes líquidos industriais deve ser controlada inicialmente pela redução de perdas nos processos, incluindo a utilização de processos mais modernos, arranjo geral otimizado, redução do consumo de água incluindo as lavagens de equipamentos e pisos industriais, redução de perdas de produtos ou

descarregamentos desses ou de matérias primas na rede coletora. A manutenção também é fundamental para a redução de perdas por vazamentos e desperdício de energia. Após a otimização do processo industrial, as perdas causadoras da poluição dos corpos receptores devem ser controladas utilizando-se sistemas de tratamento de efluentes líquidos.

Os processos de tratamento a serem adotados, as suas formas construtivas e os materiais a serem empregados são considerados a partir dos seguintes fatores: a legislação ambiental regional, o clima, a cultura local, os custos de investimento, os custos operacionais, a quantidade e a qualidade do lodo gerado na estação de tratamento de efluentes industriais; a qualidade do efluente tratado, a segurança operacional relativa aos vazamentos de produtos químicos utilizados ou dos efluentes; explosões, geração de odor, a interação com a vizinhança, confiabilidade para atendimento à legislação ambiental e possibilidade de reuso dos efluentes tratados (GIORDANO, 1999).

É válido lembrar que os sistemas de tratamento devem ser utilizados não só com o objetivo mínimo de tratar os efluentes líquidos, mas também atender a outras premissas. Pontos importantes a serem observados é que não se deve gerar resíduos desnecessários pelo uso do tratamento e que a estação de tratamento não deve gerar incômodos seja por ruídos ou odores, nem causar impacto visual negativo, podendo cada indústria controlar totalmente a sua carga poluidora.

Este trabalho propõe analisar a eficiência do sistema de tratamento dos efluentes líquidos industriais implantado em uma empresa de fogos de artifícios na cidade de Santo Antônio do Monte – MG, que consiste no tratamento físico-químico por batelada, com aproveitamento da topografia do terreno. Eficiência esta necessária para a mitigação dos sérios problemas que a falta de tratamento desse efluente trás ao meio ambiente e à saúde populacional.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi realizado na estação de tratamento de efluentes líquidos industriais de uma empresa de fogos de artifícios, situada na cidade de Santo Antônio do Monte localizada no centro-oeste do estado de Minas Gerais.

A beleza dos espetáculos de fogos de artifícios só é possível devido à mão-de-obra especializada dos colaboradores, que passam por constantes treinamentos de segurança e aprimoramento, que mantém sempre em dia a qualidade dos produtos e diminui os riscos de acidentes. A empresa conta ainda com uma infra-estrutura moderna e especializada para a fabricação de artigos pirotécnicos.

## **VOLUME DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS GERADO**

Na tabela 1, está apresentado o volume médio de Efluentes Líquidos Industriais (E.L.I.'s) gerado por mês em cada setor e a forma como são gerados segundo Líder (2004). A quantidade de E.L.I.'s gerada, depende da necessidade produtiva da empresa, e do manuseio das matérias-primas e utensílios pelos colaboradores, que determinarão a necessidade de descarte da lâmina d'água dos pavilhões e da lavagem de utensílios, pisos e equipamentos.

Tabela 1: Volume médio de E.L.I.'s gerado por setor produtivo.

Ponto de geração		Vazão Lavagem Utensílio (s m³/dia)	Vazão Lavagem de pisos (m³/dia)	Vazão Lavagem de pisos (m³/semana)	Vazão Descarga Lâmina d'água (m³/semana)	Vazão Total (m³/mês)
Pav. Nº	Denominação (Atividade desenvolvida no Pavilhão)					
03	Grude	0,025	-x-	-x-	-x-	0,550
09*	Manipulação de Massa para matriz	-x-	-x-	-x-	0,504	2,016
10	Matriz	0,020	0,050	-x-	-x-	1,540
12	Encher Rodinhas	-x-	-x-	0,040	-x-	0,160
13*	Manipulação de Pólvora Branca	0,010	-x-	-x-	1,600	6,620
15*	Colação de bombas Prensadas	-x-	-x-	-x-	1,521	6,084
19	Arrematação de Foguetes	0,020	-x-	0,035	-x-	0,580
32	Arrematação de Foguetes	0,020	-x-	0,025	-x-	0,540
35	Arrematação de Foguetes	0,020	-x-	0,025	-x-	0,540
37	Arrematação de Cores	0,020	-x-	0,035	-x-	0,580
40	Arrematação de Cores	0,020	-x-	0,035	-x-	0,580
43	Drageadeira e Prensa	0,020	0,050	-x-	-x-	1,540
45*	Pesagem e Manipulação de massa p/ Cores	0,020	-x-	-x-	0,800	3,640
47	Manipulação massa p/ cores, Cortar Tabletes, Arrematação de bombas	0,020	0,040	-x-	-x-	1,320
49	Arrematação de Cores	0,020	-x-	0,035	-x-	0,580
52	Arrematação de Foguetes	0,020	-x-	0,035	-x-	0,580
54	Arrematação de Foguetes	0,020	-x-	0,035	-x-	0,580
58	Arrematação de Cores	0,020	-x-	0,035	-x-	0,580
60	Arrematação de Cores	0,020	-x-	0,035	-x-	0,580
63	Arrematação de Foguetes	0,020	-x-	0,035	-x-	0,580
64	Fabricação de Estopim Verde	0,020	0,050	-x-	-x-	1,540
67*	Colação de bombas para cores	-x-	-x-	-x-	1,270	5,080
68	Varanda para encher tubos de cores/crackling	0,020	-x-	-x-	0,912	4,088
Efluente industrial - sub-total		0,375	0,190	0,405	6,607	40,478
EFLUENTE TOTAL		40,478 (m³/mês)				
Observação:						
* Pavilhões que utilizam a lâmina d'água no piso para desenvolvimento das atividades.						
Fonte: Líder (2004).						

Portanto, como se observa na tabela 1, são quatro as formas de geração dos efluentes líquidos industriais:

- *Vazão lavagem diária de utensílios (0,375 m<sup>3</sup>/dia)*: Caracterizada pelo consumo médio de água utilizada para limpeza/lavagem de utensílios e equipamentos. Estas operações são realizadas diariamente, com descargas ao longo da jornada de trabalho, desde que o pavilhão seja utilizado para produção;

- *Vazão lavagem diária de pisos (0,190 m<sup>3</sup>/dia)*: Caracterizada pelo consumo de água utilizada para lavagem dos pavilhões. Esta operação é realizada na empresa em estudo nos pavilhões 10, 43, 47 e 64 e o lançamento pode ser considerado em batelada em função do curto espaço de tempo que é realizada esta operação (aproximadamente 15 minutos);
- *Vazão lavagem semanal de pisos (0,405 m<sup>3</sup>/semana)*: Caracterizada pelo consumo de água utilizada para lavagem dos pavilhões. Esta operação é realizada na empresa na maioria dos pavilhões e o lançamento também pode ser considerado em batelada em função do curto espaço de tempo que é realizada esta operação (aproximadamente 15 minutos para cada pavilhão);
- *Vazão descarga semanal da lâmina d'água (6,607 m<sup>3</sup>/semana)*: Caracterizada pela drenagem semanal do efluente que mantém o piso do pavilhão submerso por questões de segurança e imposição do Exército Brasileiro. Esta operação é realizada uma vez por semana, invariavelmente, na sexta-feira, cujo lançamento pode ser considerado em batelada.

## CONSTITUINTES DO E.L.I.

Durante a fabricação dos artificiais pirotécnicos, diversas são as substâncias químicas presentes no efluente industrial, devido às matérias-primas e insumos utilizados para a fabricação dos fogos de artifício, as quais são apresentadas na Tabela 2 a seguir.

**Tabela 2: Constituintes do Efluente Líquido Industrial – E.L.I.**

Elemento / Produto Químico	Fórmula Química	Elemento / Produto Químico	Fórmula Química
Álcool etílico hidratado	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	Metiletilcetona	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O
Alumínio claro piro 48	Al	Nitrato de bário	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Alumínio escama	Al	Nitrato de estrôncio	Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Alumínio escuro	Al	Nitrocelulose	(C <sub>6</sub> H <sub>10-x</sub> (ONO <sub>2</sub> ) <sub>x</sub> ) <sub>n</sub>
Benzoato de potássio	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> K	Oxalato de sódio	Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Bicromato de potássio	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Óxido de cobre preto	CuO
CAB-O-SIL (sílica sintética)	SiO <sub>2</sub>	Óxido de ferro (vermelhão)	FeO
Carbonato de bário	BaCO <sub>3</sub>	Óxido de zinco	ZnO
Carbonato de cálcio	CaCO <sub>3</sub>	PVC em pó	-
Carbonato de cobre	CuCO <sub>3</sub>	Perclorato de potássio	KClO <sub>4</sub>
Carbonato de estrôncio	SrCO <sub>3</sub>	Pólvora negra	-
Clorato de potássio	KClO <sub>3</sub>	Resina fenólica	-
Cobre puro em pó	Cu	Silicato de sódio neutro	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
Criolita em pó	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	Titânio em pó	Ti
Dextrina amidex 182	-	Trissulfeto de antimônio	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Diatomita	SiO <sub>2</sub>	Vermelho málagá 2256	-
Enxofre	S	Zarcão (tetra óxido de chumbo)	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Goma laca limão	-	Zinco puro em pó	Zn
Magnalium (liga de alumínio e magnésio)	AlMg <sub>7</sub>		

## DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE TRATAMENTO

Os afluentes líquidos industriais são gerados na empresa em estudo através da lavagem diária de utensílios, pisos, lavagem semanal de pisos e descarte da lâmina d'água, nos diversos pavilhões da empresa como visto anteriormente. Esses afluentes escoam através de quatro redes de drenagem por gravidade. Somente o afluente provindo da matriz é bombeado, pois se situa em um ponto abaixo da planta da estação de tratamento.

As redes de drenagem foram divididas da seguinte forma, segundo Líder (2004):

- Conjunto 1: considera os afluentes vindos dos Pavilhões 09, 10, 12 e 64, inerentes aos setores de matriz e fabricação de estopim;
- Conjunto 2: considera os afluentes vindos dos Pavilhões 19, 32, 35, 49, 52, 54, 58, 60 e 63, inerentes ao setor de arrematação;
- Conjunto 3: considera os afluentes vindos dos Pavilhões 37, 40, 43, 45, 47, 67 e 68, inerentes ao setor de cores;
- Conjunto 4: considera os afluentes vindos dos Pavilhões 13 e 15, inerentes ao setor de pólvora branca.

Inicialmente, todo o afluente provindo das quatro redes de drenagem é destinado a uma caixa de gradeamento, a qual irá separar o afluente líquido de resíduos grosseiros como pedaços de estopas, de papel, folhas de árvores, entre outros, conforme se observa na figura 1-a. Esse processo é necessário para se proteger as tubulações, o misturador, o lodo, entre outros; chegando nas próximas etapas apenas o efluente líquido para ser tratado.

Após passar pela caixa de gradeamento, o efluente líquido irá passar por uma caixa de espera de 10.000 litros, a qual é utilizada para quando a “caixa pulmão”, na qual se faz o tratamento do efluente, está cheia. Logo, como o processo de tratamento é por batelada, fecha-se o registro da caixa pulmão, e enquanto o E.L.I. é tratado, a caixa de espera irá recepcionar o efluente, como se observa na figura 1-b.



**Figura 1: Caixa de gradeamento (a) e Caixa de espera (b).**  
**Fonte: Arquivo pessoal.**

Em seguida, o E.L.I. é desaguado na “caixa pulmão” (figura 2-a), na qual se faz o tratamento do efluente líquido por processo de batelada. Esse processo também é chamado de tratamento estático. Nesta fase, faz-se um teste de jarro para verificar qual a quantidade de cal e de coagulante deverá ser misturado ao efluente líquido para que possa haver a floculação e posterior decantação destes flocos, havendo a separação da fase líquida (efluente industrial) e da fase sólida (lodo industrial).

A separação da fase líquida/sólida é feita por decantação, sendo que dentro da caixa pulmão há dois registros: um no fundo (para retirada do lodo) e outro 10 cm acima deste (para retirada do efluente). Portanto, primeiramente abre-se o registro para retirada do lodo, que irá ser destinado a uma caixa de secagem (figura 2-b), na qual o lodo ficará ao ar livre para que seja seco e depois recolhido em tambores.

A caixa de secagem possui duas faces, uma irá recepcionar o lodo até ficar saturada para começar o processo de secagem, e a outra irá recepcionar o lodo enquanto a primeira estiver fazendo o processo de secagem, havendo assim um revezamento entre as duas.





(a)

(b)

**Figura 2: Caixa pulmão (a) e Caixa de secagem (b).**

**Fonte: Arquivo pessoal.**

Como o lodo é destinado ao leito de secagem, o efluente líquido é destinado a uma caixa de recepção, a qual irá recepcionar o efluente tratado nas etapas anteriores após o mesmo passar por um filtro de brita com areia de fluxo ascendente para adsorver partículas sólidas não decantadas na caixa pulmão e aquelas providas do leito de secagem.

Esse efluente líquido ainda não está nos padrões ambientais para lançamento no corpo receptor de acordo com Líder (2004), pois possui baixa oxigenação devido à pouca caída por gravidade existente, não alcançando assim os valores de DBO e DQO exigidos. Porém esse efluente da estação de tratamento pode ser reutilizado na empresa em estudo, que reutiliza parte do mesmo nos pavilhões que possuem a lâmina d'água, havendo assim economia no uso de água pela empresa, e a outra parte passa para a próxima fase do tratamento.

Para aumentar os níveis de oxigênio no efluente líquido, o mesmo passa por um filtro de carvão ativado (figura 3), no qual além de se elevar a oxigenação, há a retenção de partículas sólidas que eventualmente não ficaram retidas nas fases anteriores. Após esse processo, o efluente líquido pode ser lançado no corpo receptor sem nenhum problema ambiental, atendendo assim às exigências da legislação ambiental no estado de Minas Gerais representada pela Deliberação Normativa Nº 10 de 1986 reformulada para a Deliberação Normativa Nº 01 de 2008.



**Figura 3: Filtro de carvão ativado.**

**Fonte: Arquivo pessoal.**

## DESTINAÇÃO DO LODO

O lodo gerado devido ao tratamento dos efluentes líquidos industriais, assim como os resíduos sólidos retidos na caixa de gradeamento e a areia e brita do filtro, contêm grande quantidade de elementos químicos que são prejudiciais ao meio ambiente caso sejam descartados no mesmo. Portanto, a empresa na qual foi desenvolvido o presente trabalho estabeleceu um contrato de prestação de serviços com uma empresa situada na cidade de Lavras-Minas Geras; a qual é responsável pelo recolhimento dos elementos contaminados bimestralmente e

pelo tratamento térmico dos mesmos para depois dispor as cinzas e os resíduos sólidos em um Aterro Sanitário Classe I, conforme determinado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM).

## **PARÂMETROS AVALIADOS**

O presente trabalho avaliou o efluente líquido industrial da empresa de fogos de artifícios quanto aos parâmetros DQO (mg/L), DBO (mg/L), pH, Sólidos sedimentáveis (mL/L), Sólidos em suspensão total (mg/L), Bário (mg/L), Chumbo (mg/L), Sulfetos (mg/L), Cianetos (mg/L), Cromo total (mg/L), Cobre (mg/L), Antimônio (mg/L), Óleos e graxas (mg/L) e Fenóis (mg/L). As análises foram feitas por um laboratório situado na cidade de Belo Horizonte – MG.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após a coleta das amostras do afluente líquido industrial, foram realizadas análises físico-químicas dos parâmetros descritos anteriormente, obtendo-se os resultados para esses parâmetros da empresa em estudo, chamada aqui de Empresa A, conforme se observa na tabela 3.

Após o efluente líquido industrial passar por todo o sistema de tratamento implantado na empresa em estudo foram realizadas análises físico-químicas pelo mesmo laboratório localizado na cidade de Belo Horizonte – MG, no ano de 2008, obtendo-se os resultados apresentados também na tabela 3 os quais serão discutidos posteriormente.

Devido a restrições de publicações científicas a respeito da fabricação de fogos de artifícios, usou-se análises de uma outra empresa do ramo, chamada aqui de Empresa B, para título de comparação, uma vez que o sistema de tratamento adotado pelas duas empresas é o mesmo e as matérias-primas utilizadas por qualquer indústria que produza artifícios pirotécnicos são as mesmas, variando apenas em quantidade utilizada para atender a uma determinada demanda do mercado.

A tabela 3 apresenta os dados obtidos para o afluente e o efluente da citada empresa para os parâmetros analisados, os quais serão discutidos separadamente a seguir.

### **DQO**

Conforme observa-se no gráfico, os valores de DQO foram de 315,4 mg/L do afluente líquido, sendo então reduzido para 80,9 mg/L após o efluente passar por todo o processo de tratamento instalado na empresa em estudo, perfazendo uma remoção de 74,35%, estando esse parâmetro dentro do que preconiza a legislação através da Deliberação Normativa 10/86, no seu Art. 15, que estabelece para lançamento de efluente líquidos DQO de no máximo 90 mg/L ou remoção de no mínimo 90%. Esse alcance positivo só foi possível devido aos processos de floculação e decantação; e à passagem pelos filtros instalados na empresa, os quais irão reter a matéria orgânica para que não seja descartada no corpo receptor, pois a oxigenação desse tipo de efluente líquido é muito baixa para se favorecer que as reações químicas possam estabilizar a matéria orgânica de forma natural.

A passagem pelo filtro de carvão ativado é necessária para se elevar os índices de oxigenação do efluente líquido para que os processos naturais de redução da DQO possam acontecer no meio de descarte desse efluente; pois a queda do mesmo ao longo de seu tratamento não é o suficiente para gerar um bom nível de oxigenação, devido ao processo de tratamento ser todo por gravidade.

Já a Empresa B obteve, em seu relatório de ensaio realizado por um laboratório localizado na cidade de Santo Antônio do Monte - MG no ano de 2010, um valor para a DQO do efluente tratado de 659,55 mg/L perfazendo uma remoção de 61,20% numa condição do afluente da empresa de 1700 mg/L utilizando o mesmo sistema de tratamento da Empresa A. Neste caso, o parâmetro também está de acordo com a legislação vigente, que a partir de maio de 2008 passou a respeitar à Deliberação Normativa 01/2008 que estabelece para lançamento de efluente líquidos DQO de no máximo 180 mg/L ou remoção maior que 55%. No entanto, percebemos que não foi atingido o limite máximo estabelecido pela legislação, e sim uma remoção maior que 55%. Isso nos leva a

entender que o filtro da Empresa B estava previamente sujo, não conseguindo assim atingir o limite máximo de 180 mg/L.

**Tabela 3: Resultados das análises físico-químicas para o afluente e o efluente líquidos industriais.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Efluente Bruto</b>	<b>Efluente Tratado</b>
DQO (mg/L)	315,4	80,9
DBO (mg/L)	129,20	16,7
pH	7,30	6
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	2,0	< 0,1
Sólidos Suspensão Total (mg/L)	804,0	47
Ba (mg/L)	6,68	2
Pb (mg/L)	< 0,010	< 0,010
Sulfetos (mg/L)	< 0,10	< 0,10
Cianetos (mg/L)	< 0,005	< 0,005
Cromo Total (mg/L)	< 0,050	< 0,050
Cobre (mg/L)	0,450	0,03
Antimônio (mg/L)	< 0,0037	< 0,0037
Óleos e Graxas	176,0	6,8
Fenóis	0,1276	0,01

### **DBO**

A DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio indica a quantidade de oxigênio necessária aos microorganismos para que ocorra a estabilização total ou parcial da matéria orgânica. Nesse contexto, a necessidade de oxigênio às bactérias aeróbias no afluente de 129,2 mg/L era bem maior do que após haver seu tratamento passando a ser de 16,7 mg/L estando dentro do padrão limite estabelecido pela legislação de 60 mg/L ou remoção de no mínimo 85%. Isso se deve não só ao fato da carga de matéria orgânica ter diminuído consideravelmente nas etapas de floculação/decantação e filtração em brita/areia do efluente líquido industrial; mas também à passagem pelo filtro de carvão ativado que, além de reter parte da matéria orgânica, também aumenta a oxigenação da água proporcionando um meio mais adequado à sobrevivência das bactérias aeróbias para que as mesmas possam exercer suas atividades naturais ao serem descartadas no meio ambiente.

Já a Empresa B, em uma condição de DBO de 556,20 mg/L reduziu essa demanda para 136,40 mg/L, perfazendo uma remoção de 75,47% a qual se encontra dentro da legislação vigente que estabelece uma DBO de no máximo 60 mg/L ou remoção maior que 60%. Observamos que a legislação foi atendida no quesito de percentualidade e não no valor máximo admitido. Isso se deve ao fato dos filtros da empresa estarem previamente sujos, não conseguindo assim reduzir a carga de matéria orgânica a ponto de atingir o máximo de 60 mg/L estabelecido pela legislação.

### **pH**

Conforme observado na tabela 3, o pH sofreu uma pequena variação sobre os pontos de coleta, estando esses padrões dentro do que preconiza a legislação através da Deliberação Normativa 10/86, no seu Art. 15, que estabelece pH entre 6,5 e 8,5 com variação de 0,5 para cima ou para baixo, apresentando uma solução próxima da neutralidade o que favorece as atividades naturais no meio, como absorção de nutrientes pelas plantas, após o descarte do efluente tratado. Já a Empresa B, obteve para o afluente líquido um pH de 5,31 e após seu



tratamento esse valor aumentou para 6,77 estando dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Essa variação no valor de pH de uma empresa para outra, pode estar relacionada com a dosagem do coagulante sulfato de alumínio e de cal, os quais diminuem e aumentam o pH, respectivamente, como também pode ter sido causada devido à concentração de metais maior no afluente líquido da Empresa B gerando assim um pH mais ácido de 5,31.

### **SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS**

Os Sólidos Sedimentáveis apresentaram uma variação de remoção superior a 95% entre o efluente bruto e tratado o que foi observado também para a Empresa B; variação esta possibilitada pela aplicação dos processos de coagulação/floculação que concede às partículas sólidas peso, volume e consistência para que possam se decantar (sedimentar) e virar lodo sendo assim removidas através de tubulações para os leitos de secagem, pois o efluente líquido de fabricação de fogos é muito denso o que não permite que aconteça a sedimentação natural além de ser um processo de tratamento rápido. O resultado final que se encontra na faixa menor que 0,1 ml/L, se apresenta dentro do que preconiza a Deliberação Normativa que estabelece valor limite de 1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Resultado este encontrado também para a Empresa B, mas numa condição de afluente contendo 8,5 ml/L de Sólidos Sedimentáveis, ou seja, uma carga maior a ser removida o que gerará uma quantidade de lodo superior à da Empresa A, gerando mais gasto para seu tratamento por uma empresa terceirizada.

### **SÓLIDOS EM SUSPENSÃO TOTAL**

Os Sólidos em Suspensão Total são aqueles que não se sedimentam naturalmente durante um intervalo de tempo de aproximadamente 2 horas, e por isso necessitam dos processos de coagulação/floculação para que possam decantar e se tornarem lodo para posteriormente serem removidos. Apesar da aplicação desses processos, alguns sólidos podem ainda não se sedimentarem e passarem para as próximas fases de tratamento nas quais eles serão removidos a se citar o filtro de brita e areia, e o de carvão ativado. Porém, é recomendado que a maior parte dos sólidos sejam removidos na fase de floculação e decantação, para que não cause grande sujeira nos filtros tornando necessário o processo de limpeza dos mesmos em um intervalo de tempo mais curto, o que gerará um gasto maior para a empresa. O valor final encontrado de 47 mg/L da Empresa A está dentro do que preconiza a Deliberação Normativa que estabelece limite máximo de 100 mg/L. A Empresa B, obteve um valor final de 33 mg/L em uma condição do afluente de 2440 mg/L, o que torna o processo de remoção dos Sólidos em Suspensão Total mais eficiente que o da Empresa A, porém apresenta um gasto maior pois a quantidade de lodo gerado no tratamento e de cal e coagulante serão maiores.

### **BÁRIO**

O Bário (Ba) é utilizado, na forma de nitrato de bário, nas indústrias de fogos de artifícios para dar a coloração verde aos fogos. A Deliberação Normativa 10/86, em seu Art. 15, preconiza que para o lançamento em corpos receptores o limite máximo da concentração de Bário é de 5,0 mg/L, assim como se encontra estabelecido na versão atualizada da dita Deliberação Normativa para 01/08, em seu Art. 29. O valor encontrado da concentração de bário no efluente líquido tratado da Empresa A foi de 2,0 mg/L após o tratamento do afluente líquido que apresentava concentração de 6,68 mg/L.

A Empresa B, apresentava uma concentração de bário no afluente de 1,96 mg/L, e após seu tratamento esse valor caiu para 0,26 mg/L. Portanto, todas as duas empresas atenderam à legislação pertinente, no entanto, a primeira apresentou uma eficiência de 70,06 % e a segunda de 86,74 %. A diferença de concentração de Bário no afluente das duas empresas pode estar relacionada ao fato da quantidade produzida de foguete que apresentava característica de explosão verde no período das análises, sendo essa quantidade produzida maior na Empresa A que na Empresa B, o que gerou um efluente mais concentrado do composto químico Bário na primeira empresa.

## CHUMBO

Como observado na tabela 3, nos dois pontos de coleta da amostra as concentrações de Chumbo (Pb) se encontraram bem abaixo do padrão limite de 0,1 mg/L imposto pela legislação pertinente. Já a Empresa B, em seu afluente, obteve um valor menor que 0,1 mg/l e após seu tratamento esse valor diminuiu para menor que 0,001 mg/l estando todos os dois dentro do que preconiza a legislação. No entanto, encontra-se uma concentração um pouco maior de chumbo no afluente da Empresa B, o que pode estar relacionado à venda de maior quantidade de fogos de artifícios que contêm o Zarcão (tertraóxido de chumbo), que é um produto químico responsável por dar características de estralos aos artifícios pirotécnicos, gerando assim maior quantidade de chumbo no afluente líquido da Empresa B.

## SULFETOS

Os Sulfetos estão presentes nos vários tipos de esgotos e devem estar dentro dos limites ambientais, pois podem gerar maus odores na água através da formação de gás sulfídrico e também prejudicar a vida dos seres vivos devido a esse gás ser altamente tóxico com a formação de ácido sulfúrico. O valor máximo estabelecido pela Deliberação Normativa 10/86 é de 0,5 mg/L, sendo encontrado valores menores que 0,1 mg/L nos dois pontos de coleta das amostras da Empresa A, obedecendo assim ao limite imposto pela legislação.

A Empresa B obteve para seu afluente um valor para sulfetos de 3,55 mg/L e após o tratamento de 0,86 mg/L, o qual se encontra dentro da legislação pertinente ao ano da coleta das amostras dada pela Deliberação Normativa 01/08 que estabelece limite máximo da concentração de sulfetos de 1,0 mg/L. Os sulfetos são caracterizados quimicamente pela ligação de um elemento metálico com um não – metálico. Portanto, o que pode explicar a alta concentração de sulfetos na Empresa B em detrimento com a Empresa A, é uma maior concentração de metais como Chumbo, Cobre, Ferro, entre outros.

## CIANETOS

A Deliberação Normativa 10/86 preconiza que para o lançamento de esgotos em corpos receptores o limite máximo de Cianetos é de 0,2 mg/L devido à alta periculosidade desse composto para os seres vivos quando na forma iônica, devido ser um sal inorgânico do ácido cianídrico com extrema toxicidade, sendo necessário seu enquadramento ao padrão ambiental. Portanto, observa-se que os valores encontrados nas duas amostras, referenciados na tabela 3, estão bem abaixo do limite estabelecido pela legislação, podendo assim o esgoto ser descartado no corpo receptor. Devido ao fato de o valor encontrado ser muito baixo, não há necessidade de realizar análise de Cianeto nos próximos ensaios, pois esse tipo de esgoto não é propício ao seu aumento. Foi o que fez a Empresa B, que não apresentou em seu relatório de ensaio a análise de Cianetos, pois se apresentam em baixas concentrações estando dentro dos limites impostos pela legislação.

## CROMO TOTAL

O Cromo (Cr) é um elemento químico tóxico na forma hexavalente, sendo assim necessária sua baixa concentração no efluente a ser descartado no corpo receptor. Como verificado na tabela 3, os valores da concentração de Cromo das duas amostras da Empresa A deram bem abaixo do limite máximo estabelecido pela legislação de 1,0 mg/L não apresentando problemas para o descarte do efluente líquido no corpo receptor. Assim como se deu para o Cianeto, a concentração de Cromo nesse tipo de efluente líquido é muito baixa, devido à sua baixa concentração nos explosivos como na pólvora, o que não justifica sua análise nos próximos ensaios laboratoriais. Logo, a Empresa A apresenta boa eficiência quanto à geração do Cromo Total.

Devido ao fato do Cromo Total estar presente em baixas concentrações nos efluentes líquidos das indústrias de fogos de artifício, a Empresa B não realizou análise do mesmo pois certamente dará uma concentração muito baixa desse composto químico estando dentro da legislação responsável, uma vez que os efluentes líquidos de todas as fábricas de fogos são aproximadamente parecidos devido a utilizarem as mesmas matérias-primas para a fabricação de artifícios pirotécnicos.

## **COBRE**

O Cobre (Cu) é utilizado, na forma de óxido de cobre, pelas empresas de fogos de artifício para dar a coloração azul no momento da explosão dos fogos que possuem essa característica. A Deliberação Normativa 10/86, em seu Art. 15, preconiza que para o lançamento em corpos receptores o limite máximo da concentração de Cobre é de 0,5 mg/L, o que na versão atualizada da dita Deliberação Normativa para 01/08, em seu Art. 29, estabelece um limite máximo de 1,0 mg/L. Os valores encontrados para o cobre nos dois pontos de coleta da estação de tratamento da Empresa A se encontram dentro do limite de 0,5 mg/L estabelecido pela legislação.

Para a Empresa B, foi encontrado um valor da concentração de Cobre menor que 0,0001 mg/L após o tratamento do afluente líquido cuja concentração era de 0,59 mg/L estando também os dois valores dentro do limite de 1,0 mg/L estabelecido pela legislação. Portanto, as duas empresas apresentaram ótima eficiência na remoção do Cobre do afluente da estação de tratamento, atendendo assim aos padrões ambientais exigidos. A diferença das concentrações de Cobre no afluente das duas empresas se deve ao fato da quantidade de fogos de artifícios com característica de explosão azul produzida no período de coleta das amostras, sendo maior essa quantidade da Empresa B que na Empresa A, pois a primeira apresentou uma concentração de Cobre maior que a segunda.

## **ANTIMÔNIO**

Como observado na tabela 3, os valores obtidos da concentração de Antimônio (Sb) para o afluente e efluente líquidos industriais da Empresa A foram muito baixos, assim como da Empresa B de 0,0006 mg/l e menor que 0,0001 mg/l, respectivamente. Não há um limite máximo estabelecido pela legislação ambiental de concentração de Antimônio no efluente líquido para que possa ser descartado no corpo receptor. Porém, há a necessidade de sua análise a fim de se verificar sua concentração, pois o Antimônio é um semi-metal que possui características altamente tóxicas para o ambiente e para os seres vivos nele inserido, havendo a necessidade de máxima remoção do Antimônio para se evitar esses efeitos negativos.

## **ÓLEOS E GRAXAS**

A Deliberação Normativa 10/86, em seu Art. 15, assim como sua versão atualizada para 01/08, em seu Art. 29, preconizam o limite máximo de concentração de Óleos e Graxas nos efluentes para lançamento em corpos receptores de 50 mg/L (para óleos vegetais e gorduras animais) e 20 mg/L (para óleos minerais). Como o presente trabalho foi realizado em um indústria de fogos de artifícios, o limite a ser respeitado é o de 20 mg/L que diz respeito à óleos minerais como querosene, óleos lubrificantes, entre outros, que quando presentes no efluente líquido acima da concentração limite podem provocar danos aos ecossistemas pois inibem os processos biológicos naturais devido a impedirem a produção de oxigênio através da formação de uma camada de espuma na superfície do líquido, além de provocarem incrustações nas tubulações da estação de tratamento podendo-se gerar entupimentos das mesmas. Foi encontrado um valor da concentração de Óleos e Graxas no afluente líquido industrial da Empresa A de 176 mg/L, e após seu tratamento esse número diminuiu para 6,8 mg/L estando dentro do limite máximo de 20 mg/L preconizado pela legislação.

Já a Empresa B, não obteve a mesma eficiência que a Empresa A no seu sistema de tratamento, pois foi analisado seu afluente líquido encontrando um valor da concentração de Óleos e Graxas de 234,32 mg/L e após seu tratamento obteve um valor de 46,96 mg/L, não atendendo assim ao limite máximo estabelecido pela legislação de 20 mg/L apesar de ter apresentado uma eficiência de remoção de 80% contra 96% da Empresa A. Esse não atendimento à legislação pela Empresa B pode ter ocorrido devido a uma grande proporção de sujeira no filtro de brita e areia e no filtro de carvão ativado, o que não permitiu uma boa adsorção da espuma formada pelos óleos e graxas nesses filtros, deixando-a ser eliminada no corpo receptor junto ao efluente tratado.

## **FENÓIS**

Como observado na tabela 3, os valores obtidos para Fenóis ( $C_6H_5OH$ ) nos dois pontos de coleta estão abaixo do limite estabelecido pela Deliberação Normativa 10/86, em seu Art. 15, de um máximo de 0,2 mg/L. A remoção de Fenóis é necessária, devido a causar um gosto característico à água, quando em concentrações

pouco acima do limite estabelecido pela legislação, e pode ser um produto tóxico quando em maiores concentrações causando prejuízos ao meio ambiente.

Já a Empresa B, não realizou análise de Fenóis. Porém, observamos que o valor encontrado no afluente líquido da Empresa A de 0,1276 mg/L é bem próximo do limite estabelecido pela legislação de 0,2 mg/L, sendo assim necessário esse tipo de análise para se verificar se os níveis de Fenóis estão aumentando ou diminuindo no efluente líquido industrial, a fim de se adequá-lo ao padrão ambiental para posterior descarte no corpo receptor.

## CONCLUSÃO

De acordo com o trabalho realizado em uma empresa de fogos de artifícios, localizada na cidade de Santo Antônio do Monte – MG, conclui-se que:

- O Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos Industriais adotado é um sistema simples, de fácil operação, ocupa uma porção de área pequena da empresa, praticamente todo o tratamento é feito por gravidade, e apresenta boa eficiência na remoção dos parâmetros analisados, constituindo uma alternativa capaz de promover um elevado grau de remoção de metais pesados e consequentemente atender a legislação para lançamento de efluentes líquidos em corpos receptores;
- Esse Sistema de Tratamento pode ser difundido a todas as fábricas de fogos de artifícios devido às matérias-primas e insumos utilizados serem os mesmos, variando apenas na proporção necessária à produção dos artifícios pirotécnicos, que gerará mais ou menos afluentes líquidos a serem tratados.

Apesar da boa eficiência apresentada pelo Sistema de Tratamento, esta pode ser aumentada devido à suspensão de alguns flocos na fase de decantação na “caixa pulmão”, o que acarreta maiores adsorções no filtro de areia e brita e no filtro de carvão ativado, tendo-se que limpá-los em um espaço de tempo menor, gerando mais gastos para a empresa.

Dentro desse contexto, algumas medidas podem ser tomadas conjuntas ou individualmente, a se recomendar:

1. Substituição do sulfato de alumínio por outro tipo de coagulante;
2. Acréscimo de velocidade no misturador da “caixa pulmão”, pois é utilizada a mesma velocidade para a coagulação e floculação, o que deveria ser uma velocidade maior para a primeira, e uma velocidade menor (atual) para a segunda, de forma a aproveitar a máxima ação do coagulante para se formar os flocos a se decantarem na forma de lodo para que, posteriormente, possam ser removidos e passe para as próximas fases somente o afluente líquido.
3. Proceder o tratamento do afluente líquido industrial em mais de uma faixa de pH na “caixa pulmão”, pois como há uma quantidade significativa de metais pesados no afluente, cada um destes possui um valor de pH adequado para se estabilizar e decantar para serem removidos do afluente. Quando se faz o tratamento com apenas um valor de pH, alguns metais não irão decantar e passarão para as próximas fases. Como o sistema de tratamento é por batelada (estático), a utilização de mais de uma faixa de pH se torna possível, tornando o afluente líquido com menores proporções de sólidos suspensos que passarão para as próximas fases, gerando menos gastos à empresa.

A aplicação das sugestões acima citadas devem ser estudadas detalhadamente antes de suas aplicações, a fim de se obter uma maneira mais adequada para se melhorar a eficiência do Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos Industriais da empresa em estudo, proporcionando-lhe mais economia e menor quantidade de poluentes a serem lançados no corpo receptor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Nº 357/2005. 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. Brasília: DOU nº53, de 18 de março de 2005.
2. DELIBERAÇÃO NORMATIVA Nº 10 DE 1986 – DN 10/1986 – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. Página oficial da Fundação Estadual do Meio Ambiente (<http://www.feam.br>), 2006.
3. GIORDANO, G. Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgotos. Niterói-RJ, 1999. 137 p. Dissertação de Mestrado (Ciência Ambiental) Universidade Federal Fluminense, 1999.
4. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. Editora SEGRAC, 4ª Ed, Rio de Janeiro, 2005.
5. LÍDER, F. Licenciamento Ambiental. Processo COPAM / Nº 00292 / 2003 / 001 / 2003. Santo Antônio do Monte, 2004.
6. PRÓ-AMBIENTAL SOLUÇÕES EM RESÍDUOS. Contrato de Prestação de Serviços Nº 8417. Contratante: Fogos Líder Ltda. Lavras – MG, 2009.
7. \_\_\_\_\_. Disponível em: <<http://www.proambientaltecnologia.com.br/quemsomos.php>>. Acesso em 20 de Out. de 2010.
8. REGULAMENTO PARA A FISCALIZAÇÃO DE PRODUTOS CONTROLADOS (R-105). Disponível em: <[http://www.dfpc.eb.mil.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=84&Itemid=56#obj](http://www.dfpc.eb.mil.br/index.php?option=com_content&task=view&id=84&Itemid=56#obj)>. Acesso em 13 de Ago. de 2010.
9. SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE EXPLOSIVOS NO ESTADO DE MINAS GERAIS – SINDIEMG; sediada à Av. Presidente Tancredo Neves, nº 445 – Aptº 101 – Bairro Nossa Senhora de Fátima - Santo Antônio do Monte - MG. Documento cedido por Américo Silva Nesta, gerente do SINDIENG. Filiado à Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais – FIEMG.