

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR EM TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL**

BRENDOWN FARIAS BIASI

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE MATADOURO E FRIGORÍFICO DE
SUÍNOS EM REATOR BATELADA DE ELETROFLOCULAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2014

BRENDOWN FARIAS BIASI

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE MATADOURO E FRIGORÍFICO DE
SUÍNOS EM REATOR BATELADA DE ELETROFLOCULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do Grau de Tecnólogo no Curso Superior em Tecnologia em Gestão Ambiental, promovido pela UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. M. Sc Fábio Orssatto

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Eyng.

MEDIANEIRA

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Medianeira
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação do Curso superior em Tecnologia em
Gestão Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

TRATAMENTO DE EFLUENTE DE MATADOURO E FRIGORÍFICO DE SUÍNOS EM REATOR BATELADA DE ELETROFLOCULAÇÃO

por

Brendown Farias Biassi

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 25 de novembro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Msc. Fábio Orssatto
UTFPR- Câmpus: Medianeira
(Orientador)

Prof. Dr. Eduardo Eyng
UTFPR- Câmpus: Medianeira
(Co-Orientador)

Prof. Dr. Laércio Mantovani Frare
UTFPR- Câmpus: Medianeira
(Convidado)

Prof. Dr. Rafael Arioli
UTFPR- Câmpus: Medianeira
(Convidado)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus agradeço pela vida e saúde, a ele devo a minha existência, por me conceder amor e luz para meus caminhos.

Agradeço principalmente aos professores Fábio Orssatto e Eduardo Eyng pela orientação realizada neste trabalho e pela amizade, assim como todos os professores presentes na graduação.

A minha Família que compreenderam a minha ausência, e que sempre me deram apoio e incentivo nessa caminhada, como também, a família que me adotou aqui em Medianeira, sempre me receberam bem em suas casas, Tios, Tias e Primos, muito obrigado.

A todos os amigos, principalmente a Flávia, que me ajudou nas análises de laboratório para a realização deste trabalho, a ela desejo todo sucesso em sua vida, ao meu amigo Willian, que me ajudou nos momentos de dúvidas.

Agradeço a empresa pela confiança, o qual permitiu coletar seu efluente para a realização deste trabalho.

A UTFPR pelo apoio financeiro e execução deste trabalho.

RESUMO

BIASSI, Brendown Farias. **TRATAMENTO DE EFLUENTE DE MATADOURO E FRIGORÍFICO DE SUÍNO EM REATOR BATELADA DE ELETROFLOCULAÇÃO**. 2014. 42 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso. Tecnologia em Gestão Ambiental - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.

A crescente industrialização e os usos indiscriminantes dos recursos naturais têm provocado graves impactos ambientais. O que se percebe é uma grande preocupação das empresas e governos em adotar medidas de controle à poluição. Os tratamentos convencionais de efluentes industriais não apresentam muita eficiência, uma vez que alguns processos possuem certas cargas de impurezas. Uma técnica que vem se destacando é o processo eletroquímico no tratamento de efluentes industriais, essa técnica é chamada de eletrofloculação. Neste contexto foi desenvolvido este trabalho o qual utilizou a técnica da eletrofloculação para o tratamento de efluente frigorífico e abatedouro de suínos. O reator eletroquímico constitui eletródos de alumínio, tendo como variáveis de operação, tempo de eletrólise e diferença de potencial elétrico (ddp). Utilizando a metodologia das superfícies de respostas, um Delineamento Composto Central rotacional (DCCR), dos experimentos de eletrofloculação, foi conduzido para a obtenção dos parâmetros ótimos do reator. A eficiência do processo baseou-se na remoção da cor, turbidez e DQO, onde obteve resultados de remoção em torno de 98, 99 e 81%, respectivamente. O planejamento experimental mostrou-se significativo, considerando as análises das variáveis sobre os ensaios ao nível de confiança de 95%, diante das análises estatísticas.

Palavras-chave: Eletrofloculação. Efluente Frigorífico. Eficiência.

ABSTRACT

BIASSI, Brendown Farias. **SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER TREATMENT OF SWINE AND FRIDGE IN BATCH REACTOR FOR ELECTROFLOCCULATION.** 2014. 42 sheets. Completion of course work. Technology in Environmental Management - Federal Technology University - Paraná. Medianeira, 2014.

Increasing industrialization and the indiscriminate use of natural resources has caused serious environmental impacts. What we see is a major concern of businesses and governments to adopt measures to control pollution. Conventional treatment of industrial effluents do not have very efficiently, since some processes have certain loads impurities. One technique that has stood out is the electrochemical process in the treatment of industrial effluents, this technique is called electroflocculation. In this context was developed this study which used the electroflocculation technique for the treatment of sewage and refrigerator slaughterhouse pigs. The electrochemical reactor is aluminum electrodes, with the operating variables, electrolysis and electrical potential difference (ddp). Using the methodology of response surfaces a composite rotational design Central (CCRD), eletroflocculation of experiments was conducted to obtain the optimal parameters of the reactor. The process efficiency was based on the removal of color, turbidity and COD removal results obtained where around 98, 99 and 81%, respectively. The experimental design was significant, considering the analysis of variables on testing at a confidence level of 95%, given the statistical analyzes.

Keywords: Electroflocculation. Fridge effluent. Efficiency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interações dentro de um reator de eletrofloculação.	15
Figura 2 - Fluxograma da estação de tratamento de efluente do frigorífico.	22
Figura 3 - Módulo experimental para o tratamento de efluente por eletrofloculação.	23
Figura 4 – Eletrôdo Monopolar de Alumínio e o dispositivo de espaçamento.	24
Figura 5 - Flotação das amostras.	25
Figura 6 - Amostras armazenadas.	25
Figura 7 – Gráfico de dispersão dos resultados da eficiência de remoção.	30
Figura 8 – Influência da ddp e do tempo sobre a remoção da cor.	32
Figura 9 – Influência da ddp e do tempo sobre a remoção da Turbidez.	32
Figura 10 – Influência da ddp e do tempo sobre a remoção da DQO	33
Figura 11 – Superfícies de respostas do percentual de remoção da cor.	35
Figura 12 - Superfícies de respostas do percentual de remoção da turbidez.	36
Figura 13 – Superfícies de respostas do percentual de remoção da DQO	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análises físico-químicas para caracterização do efluente.....	22
Tabela 2 - Valores reais	25
Tabela 3 - Matriz codificados dos ensaios	26
Tabela 4 - Resultados analíticos dos parâmetros do efluente bruto.....	29
Tabela 5 – Resultados da remoção média (%) dos parâmetros após o tratamento..	30
Tabela 6 – (ANOVA) dos modelos DCCR.....	31
Tabela 7 - (ANOVA) completa da remoção de cor, turbidez e DQO.	33
Tabela 8 – Coeficientes de regressão para as respostas de remoção cor, turbidez e DQO.	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 POLUIÇÃO INDUSTRIAL	11
2.2 INDÚSTRIA FRIGORÍFICA	11
2.3 EFLUENTE FRIGORÍFICO	12
2.4 ELETROFLOCULAÇÃO	14
2.4.1 Vantagens e Desvantagens da Eletrofloculação	17
2.4.1.1 Vantagens	17
2.4.1.2 Desvantagens	18
2.4.2 Aplicações da Técnica para o Tratamento de Efluentes Industriais	18
2.5 PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS	19
2.5.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)	20
2.5.2 Condutividade Elétrica	20
2.5.3 Cor	21
2.5.4 Turbidez	21
2.5.5 Demanda Química de Oxigênio – (DQO)	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 EFLUENTE DE FRIGORÍFICO	22
3.2 SISTEMA EXPERIMENTAL EM BATELADA	23
3.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	25
3.4 TURBIDEZ	27
3.5 COR	27
3.6 DQO	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO	29
4.2 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DA COR, TURBIDEZ E DQO	29
4.3 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO	31
4.3.1 ANOVA Completa dos Parâmetros Físico-Químicos	33
4.3.2 Modelagem da Redução dos Valores dos Parâmetros Físico-Químicos	34
4.3.3 Superfícies de Respostas dos Parâmetros Físico-Químicos	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
5.1 CONCLUSÕES	37
5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos mais importantes recursos naturais do mundo, é possível notar a sua participação primordial no contexto da sociedade, seja na economia, transporte, lazer e consumo humano. Onde percebe-se que certas ações são problemáticas para o uso do bem natural.

A poluição da água é advinda do modo que a sociedade se estabeleceu e do desenvolvimento econômico. Bacci e Pataca (2008), fizeram uma abordagem histórica da participação da água na sociedade, para enfrentar as problemáticas ambientais atuais, deve-se entender a complexidade da relação homem-natureza na realidade local.

O desenvolvimento industrial trouxe grandes impactos ambientais. No que refere-se ao processo produtivo, tem-se um aumento do consumo de matéria prima e conseqüentemente o uso de recursos naturais indiscriminadamente. A qualidade da água é um dos fatores de contribuição para a produção, na indústria de alimentos a água é um fator essencial para a produção (GRASSI, 2001).

Dessa forma, considerando o seu uso, olha-se para os modos como são tratadas e lançadas aos corpos hídricos próximos. A resolução Conama 430/11 e 357/05 estabelece algumas condições que devem ser obedecidas para que possa ocorrer o descarte correto de águas residuárias em corpos d'água.

As tecnologias de tratamento de efluentes disponíveis abarcam um conjunto de processos e operações físico-químicos e biológicos. O tratamento de efluente consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, micro-organismos e outras substâncias, com menores custos de implantação, operação e manutenção. O tratamento de água e efluentes é importante para que se tenha um impacto ambiental menor às áreas circunvizinhadas (LIBÂNIO, 2010).

A indústria frigorífica de carne suína é uma das mais crescentes no Brasil no setor de alimentos. Segundo o relatório da Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína - ABIPECS (2012), o Brasil é o terceiro maior produtor de suínos no mundo. Em relação a isso, considera-se o modo como as

indústrias frigoríficas de suínos tratam seus efluentes líquidos, visando o seu atendimento a legislação e da sua responsabilidade quanto a geração de resíduos. Muitas indústrias investem em tecnologias de tratamento, empregando tratamentos físicos, químicos e biológicos.

Existem inúmeras tecnologias de tratamento de efluentes líquidos, entre elas, uma que vem se destacando é a eletrofloculação, a qual representa uma grande alternativa frente aos tratamentos de efluentes convencionais (CRESPILHO et al., 2004).

O processo de eletrofloculação consiste em um reator eletroquímico que possui eletródos de sacrifício Ferro ou Alumínio, que envolve a desestabilização de poluentes emulsificados, ou em suspensão, em meio aquoso. A eletrofloculação é uma técnica promissora e eficiente para a melhoria do ambiente, existem estudos quanto a sua aplicação, que define diferenciados modelos hidrodinâmicos. (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

Logo, o presente estudo consistiu em aplicar a técnica eletroquímica, avaliando a remoção de Cor, Turbidez e DQO, do efluente de um matadouro e frigorífico de suínos. Consistiu também em avaliar as condições ótimas do reator, através das variáveis Diferencial de potencial e tempo de eletrólise por meio do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLUIÇÃO INDUSTRIAL

A água é um dos maiores recursos existentes na face da terra, cobrindo cerca de 70 por cento da superfície do planeta. Constituindo-se em um recurso natural renovável por meio do ciclo hidrológico, encontrado em sua maior parte no estado líquido.

Além da utilização da água essencial à sadia e qualidade da vida, sabe-se o quanto é importante a proteção dos mananciais de abastecimento de água doce, pois apenas 0,5 por cento representa água doce explorável sob o ponto de vista tecnológico e econômico, que pode ser extraída dos rios, lagos e aquíferos (BRAGA et al., 2004).

As indústrias usam água em suas atividades de processamento industrial e energético. Ao seu processo percebe-se a geração de resíduos, o qual a água pode ser usada como meio de transporte desses resíduos (TUCCI, 2002). Segundo Machado (2004), a civilização industrial teve um crescimento espetacular nos últimos anos, conseqüentemente os prejuízos ambientais, como a poluição do ar, das águas e o desmatamento.

2.2 INDÚSTRIA FRIGORÍFICA

O segmento agroindustrial no Brasil exige acompanhamento direto de todo o sistema produtivo. Matadouros frigoríficos e abatedouros desenvolvem atividades com grande volume de rejeitos e resíduos. Deste modo, passou a ser tema de empresas e governos, avaliar o equilíbrio entre a manutenção da rentabilidade e a redução do impacto ambiental (FEISTEL, 2011).

Pacheco (2008) descreve as características da indústria frigorífica pelo seu processo produtivo, que além da obtenção da carne e seus derivados, são regulamentados por uma série de normas sanitárias destinadas a dar segurança alimentar aos consumidores destes produtos.

A abrangência dos processos que realizam neste setor, segundo Pacheco (2008), é da seguinte forma:

- Abatedouro: realizam o abate do animal, onde produzem carne com ossos e vísceras comestíveis.
- Frigoríficos: Industrializam a carne, gerando seus derivados e subprodutos.
- Graxarias: processam subprodutos e resíduos dos abatedouros ou frigoríficos, produzindo gorduras, rações e até adubos.

2.3 EFLUENTE FRIGORÍFICO

Definindo Efluente Industrial, conforme a Norma Brasileira – NBR 9800 (1987a), compreende todo o despejo líquido, proveniente das indústrias, exercido no processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto provenientes dos sanitários dos funcionários.

Desta forma, o cenário da indústria frigorífica representa um grande problema ambiental, responsável por gerar grande quantidade de resíduos. Sobre tudo, seu efluente é gerado do processo produtivo, higienização de pisos, currais, pocilgas, corredores, caminhões e animais (RABELO et al., 2014).

Os frigoríficos geram grande quantidade de efluentes, seu volume é determinado quanto ao processo. Um dado indicativo apontado por Scarassati et al., (2003), demonstra que para abate de bovinos são despejados 2500 litros por cabeça, distribuídos em 900 litros na sala de matança; 1000 litros nas demais dependências como bucharia, triparia e sanitários, 600 litros nos anexos externos. Para suínos o cálculo é de 1200 litros por cabeça, assim distribuídos: 300 litros na sala de matança; 400 litros nas demais dependências; 500 litros nos anexos externos.

De acordo com Pacheco (2008), as características do efluente frigorífico são:

- Alta carga orgânica;
- Alto conteúdo de gordura;
- Variações de pH devido ao uso de agentes de limpeza ácidos e básicos;
- Concentrações de nitrogênio, fósforo e sal;
- Alta carga de DQO e DBO;

Dentre os despejos do processo, há fragmentos de carne, gorduras e vísceras, juntamente com sangue, que entram em decomposição logo após a geração do efluente (PACHECO, 2008), sendo assim, responsável pelo forte odor no efluente.

Os efluentes das indústrias frigoríficas podem ser classificados como agentes de poluição das águas, em ameaça à saúde pública. De certo modo, grande parte dos estabelecimentos industriais lançam as águas residuais diretamente em cursos d'água. Dependendo da capacidade de diluição do corpo hídrico, certo volume de efluente frigorífico pode tornar as águas receptoras impróprias à vida aquática e a qualquer tipo de abastecimento, agrícola, comercial, industrial ou recreativo (FEISTEL, 2011).

“Os Efluentes de Frigoríficos e Matadouros na sua maior parte não possuem resíduos perigosos, sendo constituído basicamente de matéria orgânica, contudo, as formas de tratamentos utilizadas não necessitam de sistemas complexos e de custos elevados.”(SCARASSATI et al., 2003. P.8).

De acordo com Pacheco (2008), os processos típicos de tratamento de efluentes frigoríficos podem variar de empresa para empresa, conforme as seguintes etapas: O tratamento primário é utilizado para a remoção de sólidos grosseiros, suspensos, sedimentares e flotáveis; A equalização é indicada para homogeneizar o efluente para que não sobrecarregue a estação de tratamento, esse sistema é composto por um tanque de área definida e vazão constante; O tratamento secundário é indicado para remoção de sólidos coloidais por bactérias anaeróbias e aeróbias; O Tratamento terciário não é uma exigência técnica, porém dependendo da composição do efluente, será definido uma terceira etapa que consiste em remover sólidos, nutrientes e organismos patogênicos.

2.4 ELETROFLOCULAÇÃO

A eletrofloculação é também chamada de eletro-coagulação e eletro-flotação (CRESPILHO e REZENDE, 2004). A eletrofloculação apresenta uma tendência superior as demais tecnologias tradicionais de tratamento, devido a sua característica de conjugar efeitos complementares das reações de oxidação/redução; coagulação-floculação; com a ação conjunta de micro-bolhas promovendo um componente mecânico ao processo (SILVA e MAINIER, 2005). Aplicando corrente elétrica a partir de eletrodos de ferro/ou alumínio no processo, envolve a geração de coagulantes *In situ* (CERQUEIRA et, al., 2011).

O processo consiste em um reator eletroquímico que possui eletrodos de sacrifício. Embora a reação eletroquímica sendo considerada uma técnica promissora ou eficiente, há apontamentos e estudos quanto a sua aplicação, que define diferenciados modelos hidrodinâmicos. (CRESPILHO e REZENDE, 2004). As reações eletroquímicas oferecem uma série de benefícios que podem ser capitalizados para obter “*processos verdes*”. Através dessa técnica é possível propor projetos quanto ao processo, que seja capaz de diminuir a quantidade de subprodutos gerados, assim como o consumo de matérias-primas e de energia (IBANEZ , 2002).

Tendo em vista que o processo de eletrofloculação seja satisfatório, é preciso entender todo o sistema de tratamento e as condições que interferem ou influenciam no processo, tais como pH do meio reacional, intensidade de corrente aplicada, material do eletrodo (FORNARI, 2007).

A geração de íons metálicos ocorre no ânodo, enquanto o gás hidrogênio surge no cátodo, como pode ser observado na Figura 1.

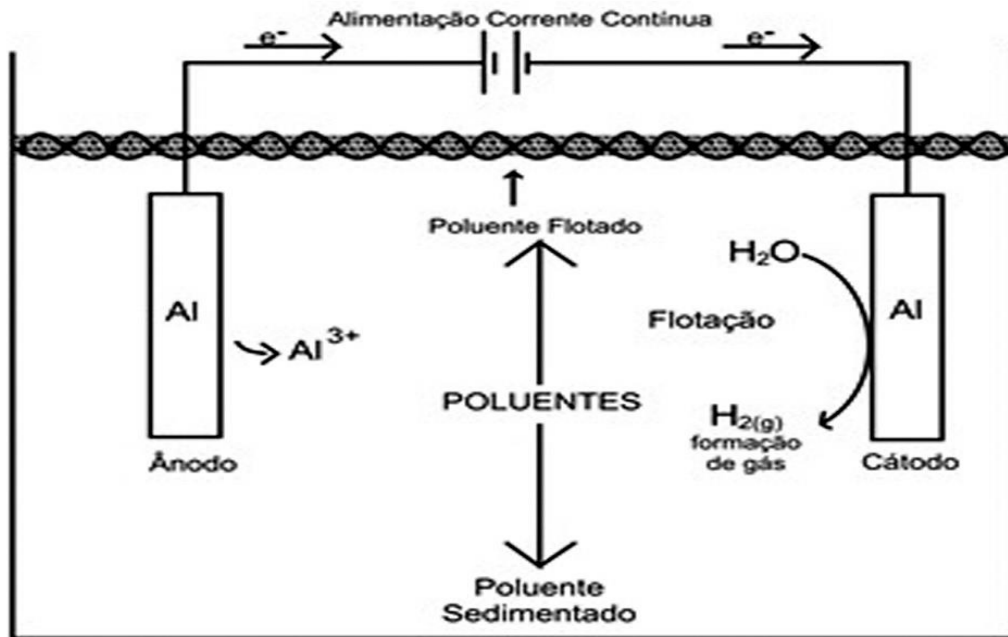


Figura 1 – Interações dentro de um reator de eletrofloculação.
 Fonte: (BRITO et al., 2012, p. 729)

Silva (2002), sugere três estágios sucessivos de operação, devido a complexidade dos fenômenos envolvidos nos processos eletrolíticos de tratamento de efluentes.

- Formação de um agente coagulante através da oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício (Fe/Al), ocasionando a neutralização das cargas superficiais, a desestabilização das partículas coloidais e a quebra de emulsões (eletrocoagulação);
- Aglutinação das partículas desestabilizadas pelos hidróxidos de ferro e alumínio, que são coagulantes naturais favorecendo a formação e o crescimento dos flocos (eletrofloculação);
- Geração de micro-bolhas de oxigênio (O_2) no anodo e de hidrogênio (H_2) no catodo, que sobem à superfície colidindo e sendo adsorvidas pelos flocos, carreando por arraste as partículas e impurezas em suspensão no meio e promovendo dessa forma a clarificação do efluente (eletroflotação).

Segundo Cerqueira (2006), a eletrofloculação mostra-se muito importante do ponto de vista de simplicidade de automação e relativo baixo custo, evidenciando a geração do agente coagulante que, por sua vez, formará os flocos do material particulado e ao mesmo tempo realiza a flotação do resíduo gerado.

A seleção dos materiais é muito importante, uma vez que influenciam no processo de eletrofloculação. Os eletródos mais comuns são o alumínio e o ferro que encontram-se facilmente disponíveis no mercado, baratos e eficazes (CERQUEIRA, 2006).

O presente estudo visa descrever as reações que acontecem no alumínio, de acordo com a escolha do material de realização.

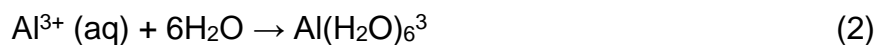
As reações do alumínio estão descritas a seguir.

a) Reações do alumínio

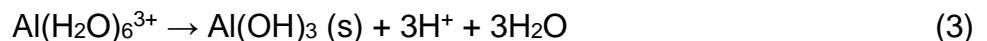
Oxidação do Al sólido (reação anódica)



Solvatação do cátion formado



Formação do agente coagulante



Reações secundárias



Porém, outras espécies iônicas como $\text{Al}(\text{OH})_2^{2+}$, $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$ e $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ podem estar presentes no sistema, dependendo do pH do meio aquoso (Mollah et al., 2001).

2.4.1 Vantagens e Desvantagens da Eletrofloculação

A seguir são apresentadas algumas vantagens e desvantagens da técnica eletrofloculação.

2.4.1.1 Vantagens

Segundo Fleck (2011), a eletrofloculação apresenta um nível de resposta muito rápido, muitas vezes inferior ao que é necessário para os processos biológicos, que variam entre 6 e 24 horas, sendo um tempo de 5 a 30 minutos até que se tenha toda a reação química. Além de poder aplicar e controlar a eletrofloculação de acordo com as variações sazonais de vazão e carga, o que não é possível para processos biológicos. O tamanho reduzido das estações de tratamentos e eliminação de produtos químicos empregados em grandes quantidades nos métodos convencionais de tratamento, torna-se uma grande vantagem da eletrofloculação (de PAULI et al. 2012).

Conforme (CRESPILHO e REZENDE, 2004) a técnica da eletrofloculação apresenta algumas das seguintes vantagens:

- O processo requer equipamentos simples e de fácil operação, onde possam ser monitorados e controlados;
- Limitação no uso de substâncias químicas;
- Os flocos formados são mais estáveis, podendo ser melhor removidos por filtração ou flotação.

(MOLLAH et al., 2004) citado por Fornari (2007) apresenta ainda outras vantagens da utilização dessa técnica:

- Versatilidade;
- Eficiência energética;
- Segurança;
- Seletividade;
- Reações rápidas e sistemas de menor tamanho.
- Ao invés de usar produtos químicos ou microrganismos os sistemas empregam somente elétrons para facilitar o tratamento da água.

2.4.1.2 Desvantagens

Segundo (CRESPILO e REZENDE, 2004) apresenta algumas desvantagens do uso de técnicas eletrolíticas são:

- Os eletrodos precisam ser substituídos regularmente, caso sofram passivação;
- O uso de eletricidade pode ser caro em alguns lugares;
- Um filme de óxido impermeável pode ser formado no cátodo, conduzindo à perda de eficiência da unidade;
- É requerida alta condutividade do efluente.

2.4.2 Aplicações da Técnica para o Tratamento de Efluentes Industriais

Para Mohammad e Muttucumar (2009), a técnica eletroquímica tem muitas aplicações. Resíduos de petróleo podem ser removidos em solução aquosa. A técnica mostra-se eficaz para o tratamento de águas residuais têxteis, para atingir a eficiência, depende do tipo da natureza do resíduo líquido, a densidade de corrente aplicada e o tempo de eletrólise. Em seus estudos, demonstraram que os eletrodos de alumínio são mais eficientes, devido a capacidade de adsorção de óxidos de alumínio.

Paschoal e Filho (2005), afirma que a eletrofloculação pode ser um método promissor na recuperação do corante índigo blue, presente no efluente liberado na manufatura do jeans das indústrias têxteis. Jotin et al. (2012) demonstraram em seus estudos que a eletrofloculação é eficaz na remoção da DQO de chorume, atingindo uma remoção de 74%.

Crespilho, Santana e Rezende (2004), observaram uma remoção de 93% da turbidez no efluentes tratado oriundos da indústria de processamento de coco. Theodoro (2010), aplicou a eletrocoagulação para remover poluentes de um efluente de galvanização, alcançando 100% de remoção da cor e turbidez, 90% da DQO e sólidos totais, em torno de 99% de Zn e Cu e uma remoção de 100% de Cr e Ni.

Borba et al. (2010), resultados da eficiência da técnica eletrofloculação em efluente de uma indústria de subprodutos avícolas, obtendo-se aproximadamente

98% da redução dos parâmetros DQO, cor e turbidez. Pauli et al. (2012), avaliaram a eficiência do processo na remoção de cor, DQO e turbidez de efluente industrial de frigorífico. Obtendo-se reduções em torno de 87, 94 e 98% respectivamente.

Ensaio realizados em bancada, apresentaram resultados satisfatórios dos parâmetros (cor, turbidez e DQO) do efluente bruto de indústrias de laticínios (Dallago et al., 2012). Brito et al. (2012), utilizou a eletrofloculação para o tratamento da água de purificação do biodiesel. Rangel et al. (2013). Analisou a termodinâmica da remoção de matéria orgânica (DQO) de emulsões sintéticas óleo – água. Estudos de Cerqueira e Marques (2011) e Meneses et al. (2012) verificaram que processo de eletrofloculação é capaz de atingir 99% da qualidade inicial do teor de óleo e graxas, no tratamento do efluente do biodiesel, melhorando o aspecto visual do efluente. Assim, também na utilização da técnica, Rodrigues (2008), no tratamento de água de produção de plataforma de petróleo.

Cerqueira (2006), e Fleck (2011), avaliaram o tratamento do efluente da indústria têxtil. Cerqueira (2006), indicou que a técnica é uma alternativa viável para a remoção da DQO, cor e turbidez do efluente têxtil, nas suas condições operacionais estudadas de eletrofloculação. No tratamento de efluentes de curtume (FORNARI, 2007) e (COSTA, 2009). Portanto essa técnica sugere vários estudos e testes a serem analisados, por via das características dos efluentes industriais.

2.5 PARAMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS

Avaliar a eficiência de um tratamento depende de seus parâmetros utilizados. Através deles, avalia-se a qualidade dos efluentes industriais antes e após o tratamento. Com os parâmetros físico-químicos analisados, pode-se prever impactos ambientais gerados por efluentes lançados em um corpo receptor e avaliar a eficiência de um tratamento aplicado (THEODORO, 2010). A seguir serão abordados os parâmetros de maior influência no presente estudo e que estão diretamente relacionados aos efluentes de indústrias frigoríficas e à qualidade da água dos cursos hídricos.

2.5.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é medido pela determinação da atividade dos íons de hidrogênio, utilizado frequentemente nos testes químicos da água. Praticamente, é usado em todas as fases de tratamento de água potável e água residuária, como por exemplo: neutralização, abrandamento precipitação, coagulação, desinfecção e controle de corrosão dependem do pH da água (APHA, 2005).

Parron (2011) diz que o pH é uma grandeza que varia de 0 a 14 e indica a intensidade da acidez ($\text{pH} < 7,0$), neutralidade ($\text{pH} = 7,0$) ou alcalinidade ($\text{pH} > 7,0$) de uma solução aquosa.

A influência do pH, dá-se diretamente ou indiretamente sobre os ecossistemas aquáticos, causando efeitos na fisiologia de diversas espécies ou de contribuírem na precipitação de elementos tóxicos. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas de acordo com a legislação federal, resolução CONAMA n.º 430 (BRASIL, 2011). Art.16, inciso 1º, relata que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que o pH esteja entre 5 e 9.

2.5.2 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica pode ser expressa por diferentes unidades e, principalmente, por seus múltiplos. No Sistema Internacional de Unidades (S.I.), é reportada como Siemens por metro (S/m). Entretanto, em medições realizadas em amostras de água, utiliza-se preferencialmente microSiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) ou miliSiemens por centímetro (mS/cm^{-1}).

Condutividade elétrica é uma medida da habilidade de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons, essa habilidade depende basicamente da presença de íons, medidas de temperatura, da concentração total, mobilidade e concentrações relativas. Compostos orgânicos e inorgânicos são bons condutores, mas moléculas de compostos orgânicos que não estão dissociadas em solução aquosa são más condutoras de corrente elétrica (PARRON, 2011).

2.5.3 Cor

O método de avaliação da unidade de cor pode ser através do método da comparação visual de cor ou método espectrofotométrico cuja unidade é dada em unidade de cor (APHA, 2005).

A redução da cor após um processo de tratamento indica a redução de partículas dissolvidas na água. O problema maior de coloração na água, em geral, é o estético já que causa um efeito repulsivo ao consumo.

2.5.4 Turbidez

A turbidez impede a penetração dos raios solares pela presença de partículas em suspensão, causando poluição, restringindo a realização da fotossíntese que por sua vez reduz a reposição do oxigênio. Além disso, prejudica a ação de agentes desinfectantes, como cloro, protegendo os micro-organismos da ação destes agentes, e, além disso, demonstra um péssimo aspecto à água, tornando-a turva (FARIAS, 2006).

“A turbidez na água é causada pela presença de sólidos suspensos e matéria coloidal tais como, silte, matéria orgânica e inorgânica finalmente dividida, plâncton e outros organismos microscópicos.” (FORNARI, 2007. p.45)

2.5.5 Demanda Química de Oxigênio – (DQO)

A Demanda Química de Oxigênio é frequentemente utilizada na detecção de poluição em águas naturais e residuárias.

A análise de DQO é definida como a quantidade específica de oxidante que reage com a amostra sob condições controladas. É expressa em termos de seu oxigênio equivalente, dependendo da quantidade de oxidante consumido. Os componentes orgânicos e inorgânicos da amostra são sujeitos à oxidação, mas na maioria dos casos a matéria orgânica predomina e é a de maior interesse (APHA, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 EFLUENTE DE FRIGORÍFICO

O efluente utilizado no estudo provém de um matadouro e frigorífico de suínos localizado na região Oeste do Paraná. Esse frigorífico abate em torno de 6.500 animais, produzindo uma quantidade de 5.200 m³ de efluentes por dia. Foram coletados cerca de, 30 litros do efluente e armazenados em frascos de 5 litros, totalizando 6 galões de coleta. As amostras foram congeladas e no dia seguinte, iniciaram-se os processos de eletrofloculação e análises no laboratório de Biocombustíveis e Processos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Medianeira.

Na Figura 2 pode-se observar o fluxograma da estação de tratamento de efluente da indústria.

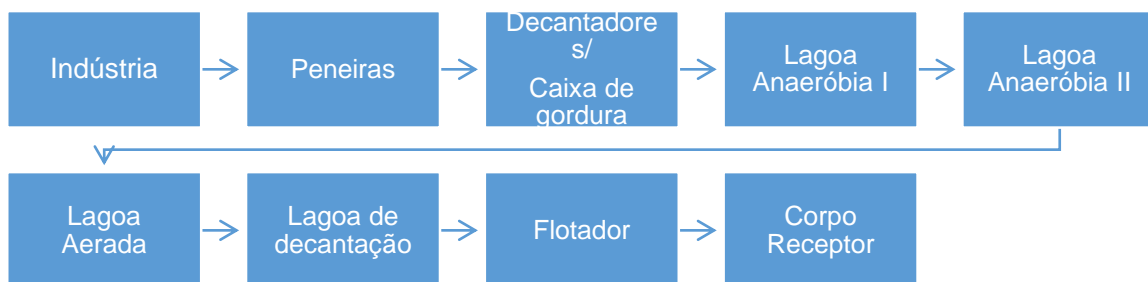


Figura 2 - Fluxograma da estação de tratamento de efluente do frigorífico.

O efluente utilizado para os ensaios de eletrofloculação foi coletado após a saída dos decantadores/caixa de gordura e caracterizado observando os parâmetros apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Análises físico-químicas para caracterização do efluente.

Parâmetro	Unidade	Método
Demanda química de oxigênio	mg.L ⁻¹	APHA, 2005
pH	-	Potenciométrico
Condutividade	mS.cm ⁻¹	Condutivímetro
Turbidez	UNT	Nefelométrico
Cor	UC	Espectrofotometria

3.2 SISTEMA EXPERIMENTAL EM BATELADA

O sistema de tratamento por eletrofloculação consiste em um reator batelada de bancada (copo de béquer de 1 litro e agitador magnético), o qual comportou os eletródos de sacrifício de alumínio, assim como o efluente a ser tratado. Os eletródos foram conectados a uma fonte de corrente contínua (Fonte de alimentação Modelo FA-3050, Marca: *Instrutherm*), a amostra se encontrava em agitação contínua, com o uso de um agitador magnético da marca Fisatom, modelo 752 A, para o favorecimento da formação de Al(OH)_3 e também a aglomeração dos colóides dando origem aos flocos. O volume tratado de cada ensaio foi de 800 mL. A Figura 3 ilustra o sistema descrito.



Figura 3 - Módulo experimental para o tratamento de efluente por eletrofloculação.

A escolha do eletródo de alumínio, foi determinada por ser um material de baixo custo. Considerando os estudos de Fornari (2007) em efluente têxtil, os eletrodos de alumínio apresentam baixo consumo de energia elétrica, menor tempo de Eletrólise e também por apresentar uma boa eficiência de redução do parâmetro de DQO.

Para o controle de distância dos eletródos e execução de um modelo padrão, foi criado um dispositivo que permanecesse fixados os mesmos. Permitindo uma distância de 70 mm e 70 mm de imersão no reator. Quanto maior a distância entres os eletródos, maior deverá ser a diferença de potencial aplicada, quando a solução possuir resistividade à passagem de corrente elétrica (CRESPILHO e REZENDE ,

2004). A Figura 4, pode-se observar o eletrodo monopolar de alumínio e o dispositivo para fixação e espaçamento dos eletrodos.



Figura 4 – Eletrodo Monopolar de Alumínio e o dispositivo de espaçamento.

Para a eletrofloculação, em ambos o processo em duplicatas, foram utilizados os mesmos eletrodos, garantindo sua alternância de corrente em cada etapa de eletrólise, deixando que se tenha um desgaste (corrosão) uniforme nos eletrodos, uma vez que ocorre a oxidação e redução no ânodo e no cátodo devido as reações eletroquímicas.

Durante a eletrofloculação, o efluente eletrofloculado permanecia em repouso em bancada, por 10 minutos, para a flotação, conforme pode-se observar na Figura 5. Para fazer as análises dos parâmetros cor, turbidez e DQO retirava-se a amostra do efluente, do fundo do béquer, com o auxílio de uma mangueira adaptada a uma seringa. As análises dos parâmetros foram acertadas após o descongelamento das amostras, que estavam mantidas no congelador identificadas e em frascos de poliestireno, como pode observar na Figura 6.



Figura 5 - Flotação das amostras.



Figura 6 - Amostras armazenadas.

3.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento utilizado foi o DCCR (delineamento composto central rotacional). Como foram trabalhadas com 2 variáveis independentes, diferencial de potencial elétrica (ddp) e tempo de eletrólise (t), realizou-se um planejamento fatorial completo 2^2 , incluindo 4 pontos axiais e 4 repetições no ponto central, totalizando 12 ensaios os quais foram realizados em duplicata.

Na Tabela 2 são apresentados os valores reais, as variáveis (ddp) e (t), os quais foram definidos a partir de testes com o efluente frigorífico. Na Tabela 3 tem-se a matriz codificada dos ensaios. Esses testes também mostraram que não é necessário à inserção de agentes alcalinos e que o efluente possui elevada condutividade.

Tabela 2 - Valores reais

Código	ddp (V)	(t) (min)
-1,41	10	10'
-1	12,91	12'55"
0	20	20'
1	27,09	27'05"
1,41	30	30'

Tabela 3 - Matriz codificados dos ensaios

Ensaio	X ₁ ddp	X ₂ Tempo de eletrólise
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	1
4	+1	1
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	-1,41	0
10	1,41	0
11	0	-1,41
12	0	1,41

A partir de uma análise estatística dos resultados foi possível obter o modelo matemático quadrático, o qual relacionou a variável-resposta às demais variáveis independentes testadas, assim como o efeito entre estas. A representação gráfica deste modelo constituiu em um gráfico de superfície, que auxiliou na determinação da região ótima de operação do sistema.

A eficiência do processo foi acompanhada através dos parâmetros, remoção de cor, turbidez e DQO. Os resultados foram posteriormente avaliados no software Statistica 12.0 (Stat soft, inc. 2013) em relação à modelagem empírica.

A análise de regressão dos dados obtidos por meio do DCCR permite o ajuste dos parâmetros de modelos quadráticos das variáveis-resposta em função dos fatores estudados e suas interações. A Equação 01 representa um modelo geral a ser obtido, sendo que os parâmetros β foram ajustados mediante análise de regressão.

Eficiência na remoção de Cor, Turbidez e DQO.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_3 X_1^2 + \beta_4 X_2^2 + e \quad (05)$$

Borba et al. (2010), revelou em sua pesquisa com efluente de indústria de subprodutos avícolas, que o tempo de eletrólise e tensão elétrica mínima utilizada para alcançar a ótima eficiência do processo, é um fator importante para custos operacionais baixos no tratamento de efluentes.

Para verificar a melhor eficiência nos parâmetro, baseou-se no efluente bruto, foi considerada a remoção de turbidez (T), cor (C) e demanda química de oxigênio (DQO).

3.4 TURBIDEZ

O equipamento utilizado foi o TURBIDÍMETRO de BANCADA AP2000 w, da marca *Policontrol*, com painel digital, possui um microprocessador interno que minimiza os erros de operação e garante a exatidão da leitura em toda a escala, utiliza padrões prontos de calibrações, calibração automática com (05) cinco padrões.

O equipamento foi calibrado conforme procedimento padrão do fornecedor, posteriormente inserida a amostra na cubeta para a leitura da turbidez em UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez).

3.5 COR

A cor foi medida utilizando o aparelho Espectrofotômetro HACH modelo DR2800 com faixa de leitura de 340-900 NM.

As medidas da cor foram obtidas pelo método colorimétrico, baseado no método descrito no Standard Methods (APHA, 2005).

As amostras de efluentes bruto e após o tratamento foram homogeneizadas e transferidas para as cubetas quadradas de vidro 10 mL, usando-se como padrão zero de cor a água destilada. As amostras que ultrapassaram o limite de leitura foram diluídas com água destilada, de modo a reduzir o teor da cor para um valor abaixo do limite máximo de detecção.

3.6 DQO

A DQO foi realizada utilizando o método colorimétrico de refluxo fechado, (APHA, 2005). Os equipamentos utilizados foram: um bloco digestor, da marca Solab, modelo SL 16/25 – Dry Block, com capacidade para 25 tubos e um espectrofotômetro visível, da marca Hach, modelo DR2800. Após a digestão de 2 horas, as amostras foram resfriadas a temperatura ambiente e a DQO foi determinada através da curva de calibração preparada por soluções padrões de Biftalato de potássio com concentrações conhecidas e amostras brancos com água destilada, garantindo assim uma equação que fornece diretamente a quantidade de DQO expressa em $\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$. Dependendo da análise de leitura de absorção de cada amostra no espectrofotômetro em comprimento de onda selecionado (600 nm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO

Na Tabela 4 observam-se os resultados analíticos de caracterização do efluente bruto em termos dos valores do pH, cor, turbidez, demanda química de oxigênio e condutividade. Tomando como base a resolução do CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), e resolução CEMA nº 70 (PARANÁ, 2009) os parâmetros utilizados, mostram que o efluente bruto está acima do limite permitido para lançamento direto em um corpo receptor, apenas, indo de encontro o parâmetro pH. Portanto este efluente deve, necessariamente passar por um tratamento antes de ser descartado a fim de atender as exigências ambientais.

Tabela 4 - Resultados analíticos dos parâmetros do efluente bruto

Parâmetros característicos do efluente	Valores iniciais	Legislação
pH	6,46	5-9 ^L
Cor (mg Pt/L)	11000	75 ^d
Turbidez (UNT)	1525	100 ^d
DQO (mgO ₂ L ⁻¹)	4730	200 ^{LI}
Condutividade(mS/cm)	3,91	-

^d padrão água doce classe III ^L padrão lançamento ^{LI} padrão lançamento IAP

4.2 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DA COR, TURBIDEZ E DQO.

Após a realização das análises de cor, turbidez e DQO, em duplicata, calculou-se a porcentagem média de remoção de cada parâmetro para cada amostra. Esses valores, juntamente com a ordem de ensaios propostos para cada tratamento, são apresentados na Tabela 5. Analisando os resultados, verifica-se que as maiores taxas de porcentagem de remoção obtidas foram: 98,94% para a cor, 99,28% para a turbidez e 81,01% para a DQO. A partir da Figura 7, é possível observar os comportamentos variáveis dos resultados. Verificou-se que o ensaio 12 obteve-se o maior resultado de eficiência de remoção da cor, nas seguintes condições: à uma tensão elétrica (ddp) de (20V),

tempo de eletrólise de 30 minutos. O Resultado em que obteve-se a maior eficiência de remoção da turbidez e DQO, foi o ensaio 10, à uma tensão elétrica (ddp) de (30V) e 20 minutos de tempo de eletrólise. Observa-se que o ensaio 1 do planejamento DCCR, teve-se o menor resultado de eficiência de remoção das análises cor, turbidez e DQO.

Tabela 5 – Resultados da remoção média (%) dos parâmetros após o tratamento.

Ensaio	Remoção média (%)					
	COR	s (%)	Turbidez	s (%)	DQO	s (%)
1	81,34	6,37	92,85	1,86	58,62	8,53
2	96,54	6,37	97,87	1,86	80,98	8,53
3	96,31	6,37	98,03	1,86	80,03	8,53
4	98,03	6,37	99,05	1,86	80,90	8,53
5	96,91	6,37	98,43	1,86	80,32	8,53
6	96,34	6,37	98,33	1,86	80,64	8,53
7	97,05	6,37	98,49	1,86	79,32	8,53
8	97,41	6,37	99,08	1,86	79,98	8,53
9	82,91	6,37	95,84	1,86	60,96	8,53
10	98,30	6,37	99,28	1,86	81,01	8,53
11	86,45	6,37	96,39	1,86	65,88	8,53
12	98,94	6,37	98,92	1,86	79,64	8,53

s = Desvio Padrão

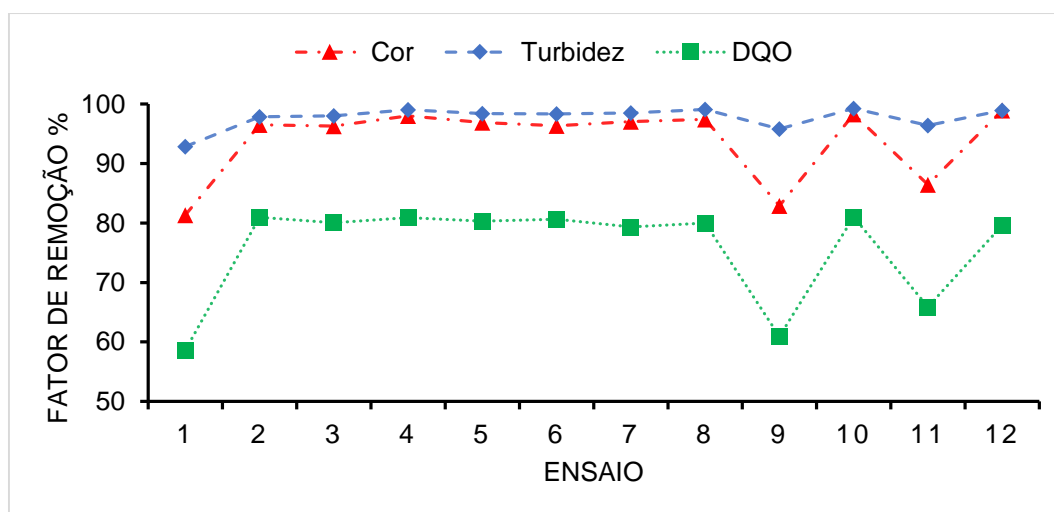


Figura 7 – Gráfico de dispersão dos resultados da eficiência de remoção.

4.3 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO.

Os modelos de segunda ordem obtidos a partir das porcentagens de remoção de cor, turbidez e DQO foram validados pela análise de variância (ANOVA) a partir da matriz codificada, os termos lineares estão associados a letra L e os termos quadráticos com a letra Q cujos resultados são apresentados na Tabela 6, implicando que os modelos apresentados, são estatisticamente confiáveis a 95% ($p < 0,05$), de acordo com o teste da razão $F(F_{calc} > F_{tab})$.

Tabela 6 – (ANOVA) dos modelos DCCR.

	Causas	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F_{calc}	p-Valor
Cor	ddp(L)	187,0542	1	187,0542	142,0598	0,000021
	ddp(Q)	50,3489	1	50,3489	38,2379	0,000823
	Tempo(L)	145,4105	1	145,4105	110,4332	0,000044
	Tempo(Q)	19,7680	1	19,7680	15,0129	0,008221
	ddp x Tempo	45,4245	1	45,4245	34,4980	0,001078
	Erro	7,9004	6	1,3167		
	total	445,8008	11			
Turbidez	ddp(L)	14,85974	1	14,85974	38,52519	0,000807
	ddp(Q)	2,93285	1	2,93285	7,60367	0,032964
	Tempo(L)	12,33832	1	12,33832	31,98818	0,001312
	Tempo(Q)	2,52147	1	2,52147	6,53715	0,043095
	ddp x Tempo	4,00000	1	4,00000	10,37035	0,018130
	Erro	2,31429	6	0,38571		
	total	38,07175	11			
DQO	ddp(L)	332,6054	1	332,6054	75,25424	0,000129
	ddp(Q)	88,2732	1	88,2732	19,97242	0,004242
	Tempo(L)	207,9337	1	207,9337	47,04643	0,000473
	Tempo(Q)	51,0792	1	51,0792	11,55701	0,014504
	ddp x Tempo	115,5170	1	115,5170	26,13652	0,002195
	Erro	26,5185	6			
	total	800,0182	11			

*Valor de F_{tab} - 4,387

Observa-se na Tabela 6, que todos os parâmetros apresentaram o p-valor menor que 0,05, sendo significativos para estes modelos.

Os gráficos de Pareto, apresentados nas Figuras 8, 9 e 10, possibilitam visualizar o efeito absoluto (aquele que leva em consideração o desvio padrão) de cada variável manipulada sobre as remoções de cor, turbidez e DQO, com um nível de 95% de confiança ($P < 0,05$).

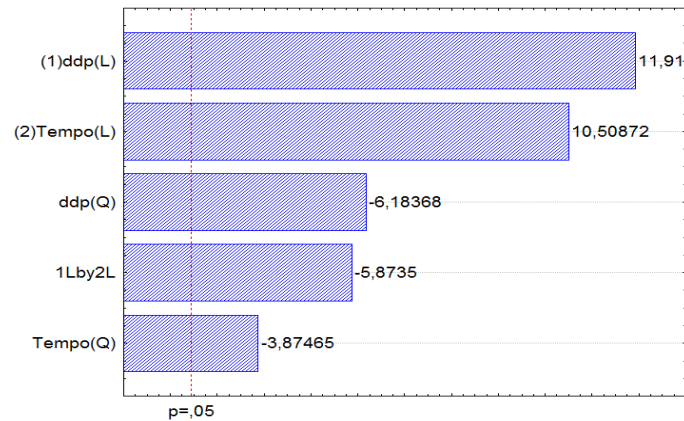


Figura 8 – Influência da ddp e do tempo sobre a remoção da cor.

O gráfico de Pareto, na figura 8, demonstra que todos os cinco termos estudados apresentam efeitos significativos sobre a remoção da cor. Para o Termo ddp(L) e Tempo(L) o efeito observado foi positivo, enquanto que para os termos ddp(Q), ddp(L) x Tempo(L) e Tempo(Q) o efeito foi negativo.

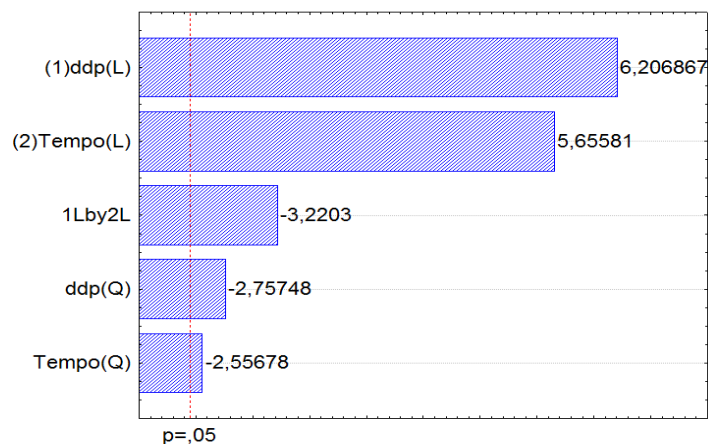


Figura 9 – Influência da ddp e do tempo sobre a remoção da Turbidez.

Na figura 9, os termos estudados, também apresentam efeitos significativos sobre a remoção de turbidez. Para os modelos lineares ddp(L) e Tempo(L) o efeito observado foi positivo, enquanto que para os termos ddp(L) x Tempo(L), ddp(Q) e Tempo(Q) o efeito foi negativo. Assim, como também mostra na figura 10, os efeitos significativos sobre a remoção da DQO.

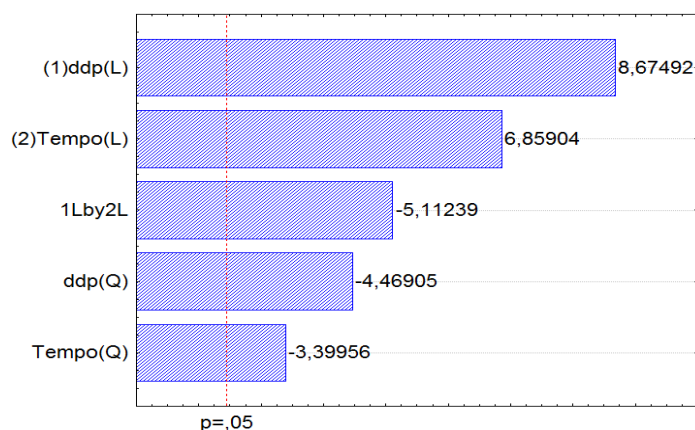


Figura 10 – Influência da ddp e do tempo sobre a remoção da DQO

4.3.1 ANOVA Completa dos Parâmetros Físico-Químicos

Para interpretação global, foram analisados (ddp) e tempo de eletrólise a fim de avaliar o comportamento das variáveis ensaiadas sobre a remoção percentual da cor, turbidez e DQO. Os resultados foram analisados com o auxílio do software Statistica 12.0. Na Tabela 7 pode se observar os resultados da análise de variância (ANOVA), onde são estatisticamente confiáveis a 95% ($p < 0,05$), de acordo com o teste da razão $F(F_{cal} > F_{tab})$.

Tabela 7 - (ANOVA) completa da remoção de cor, turbidez e DQO.

Respostas	Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quad.	F Calc.	F Tab.	p-Valor
Cor	Regressão	448,006	5	89,601	68,048	4,387	3,34861E-05
	Resíduos	7,900	6	1,317			
	Total	455,907	11				
Turbidez	Regressão	36,652	5	7,330	19,005	4,387	0,001284051
	Resíduos	2,314	6	0,386			
	Total	38,967	11				
DQO	Regressão	795,409	5	159,082	35,993	4,387	0,000212455
	Resíduos	26,519	6	4,420			
	Total	821,927	11				

4.3.2 Modelagem da Redução dos Valores dos Parâmetros Físico-Químicos

Através dos resultados é possível avaliar um modelo matemático para a remoção da cor, turbidez e DQO.

Na tabela 8, descreve-se os coeficientes do modelo de regressão.

Tabela 8 – Coeficientes de regressão para as respostas de remoção cor, turbidez e DQO.

Fatores	Coeficientes de regressão		
	Cor	Turbidez	DQO
Média	96,92300	98,58390	80,0549
ddp(L)	4,84268	1,36492	12,9151
ddp(Q)	-2,81654	-0,67978	-7,4587
Tempo(L)	4,26973	1,24374	10,2116
Tempo(Q)	-1,76482	-0,63030	-5,6738
ddp x Tempo	-3,36989	-1,00000	-10,7479

Os coeficientes (β) representam o peso de cada variável independente na função resposta de cada remoção, os valores negativos dos coeficientes (β) indicam a ocorrência de um efeito de redução na resposta quando aumento do parâmetro independente for feito, e valores positivos indicam aumento da porcentagem de remoção quando o aumento do parâmetro independente for feito. Portanto, os modelos foram ajustados aos termos significativos. Observa-se que a equação para conversão ficam caracterizados pelas equações abaixo, sendo influenciados pelas variáveis independentes x_1 e x_2 .

$$\begin{aligned} \% \text{ de remoção de Cor} = & 96,923 + 4,842x_1 - 2,816x_1^2 + 4,269x_2 - & (6) \\ & 1,764x_2^2 - 3,369 x_1 x_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ de remoção de Turbidez} = & 98,583 + 1,364x_1 - 0,679x_1^2 + & (7) \\ & 1,243x_2 - 0,63x_2^2 - 1 x_1 x_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ de remoção da DQO} = & 80,054 + 12,915x_1 - 7,458x_1^2 + 10,211x_2 - & (8) \\ & 5,673x_2^2 - 10,747 x_1 x_2 \end{aligned}$$

4.3.3 Superfícies de Respostas dos Parâmetros Físico-Químicos

As Figuras 11, 12 e 13, apresentam as superfícies de respostas, que mostram os comportamentos das percentagens de remoção dos seguintes parâmetros; cor, turbidez e DQO, todos em função das variáveis independentes, diferencial de potencial - ddp (x_1) e tempo de eletrolise (x_2).

Na Figura 11, pode-se observar que a máxima percentagem de remoção de cor encontra-se, entre 90% e 95%. Como, mostra os pontos na região experimental, numa faixa de (ddp) entre 20V a 27,09V e de tempo de eletrólise de 20 a 27 minutos.

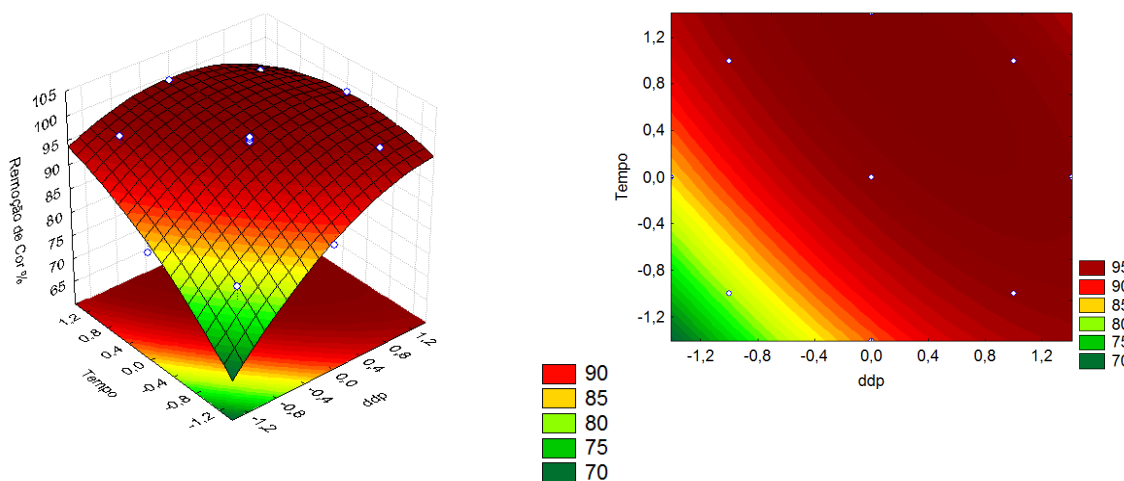


Figura 11 – Superfícies de respostas do percentual de remoção da cor.

Observa-se na figura 12, que a máxima percentagem de remoção de turbidez encontra-se, entre 96% e 98%. Como, mostra na região experimental os pontos, considerando a maior remoção, entre 12V e 30V (ddp) e de tempo, também entre 12 e 30 minutos de eletrólise.

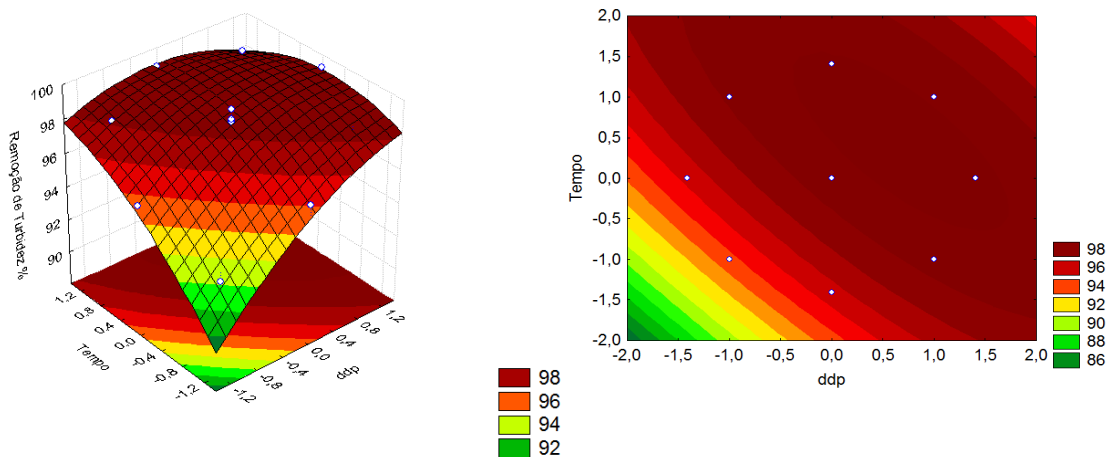


Figura 12 - Superfícies de respostas do percentual de remoção da turbidez.

Na figura 13, pode-se observar a superfície de respostas para a porcentagem de remoção da DQO.

Nestas condições aplicadas a ótima porcentagem de remoção da DQO variou entre 75 e 80%. A região de máxima remoção está numa faixa de ddp entre 12V e 27V e tempo de 12 a 27 minutos.

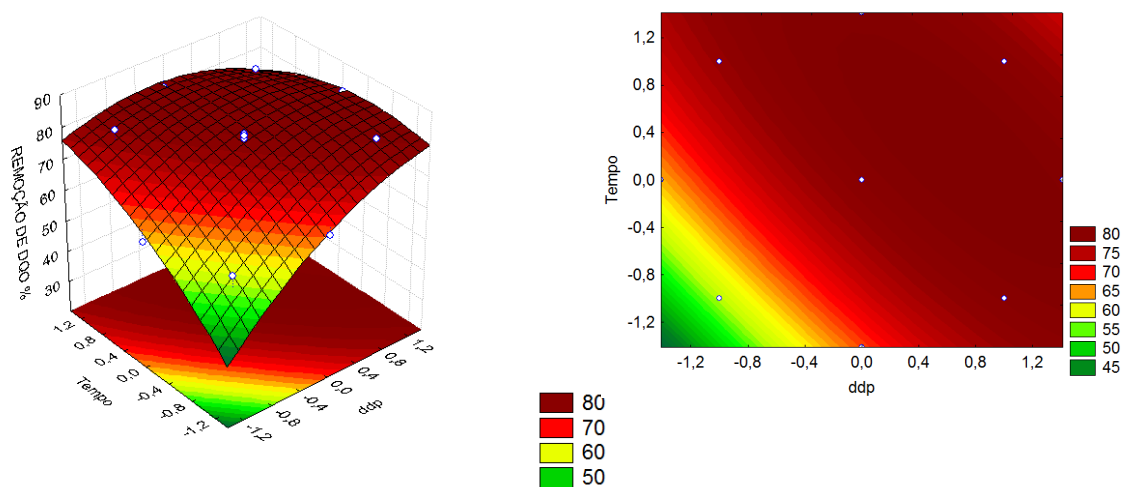


Figura 13 – Superfícies de respostas do percentual de remoção da DQO

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Através do presente estudo, pode-se perceber a eficiência de remoção da cor, turbidez e DQO, do efluente de indústria frigorífica de abate de suínos, pelo tratamento eletrofloculação em reator batelada, sendo a maior porcentagem de remoção de cor no ensaio 12 (98,94%), e de remoção da turbidez e DQO, obteve-se a porcentagem de (99,28%) e (81,01%) no ensaio 10. Comparando os valores de concentrações residuais do parâmetro DQO analisado, verifica-se que este não atende o valor máximo permitido pela legislação ambiental brasileira, propondo novo tratamento seguinte. O parâmetro turbidez, teve-se aproximadamente 100% de eficiência de remoção.

O planejamento experimental DCCR mostrou-se otimizado entre suas variáveis ddp e tempo ao processo de eletrofloculação, garantindo assim resultado significativos para condições ótimas de operação do reator batelada. A melhor condição experimental foi 27V (ddp) e 20 minutos (t) que obteve-se a maior influência de remoção entre parâmetros cor, turbidez e DQO.

5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de trabalhos futuros, propõe-se analisar o custo operacional do tratamento em efluente matadouro e frigorífico de suíno.

Verificar novos arranjos e formas de eletródos para eficiência do tratamento eletrofloculação, ou até, utilizar reatores de fluxo contínuo.

Compreender novas influências ao processo eletrolítico, tais como as variáveis pH e distância dos eletródos .

REFERÊNCIAS

ABIPECS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. **Exportação brasileira de carne suína**, relatório de 2012. Disponível em <http://www.abipecs.org.br>. Acesso em: 16 de julho de 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.800**: critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987a.

APHA. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 21th ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

BACCI, Denise de La Corte; PATACA, Ermelinda Moutinho. **Educação para a água**. *Estud. av.*, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 de julho de 2014.

BORBA, F. MANENTI, D. MÓDENES, A. MORA, N. ESPINOZA-QUIÑONES, F. PALÁCIO, S. YASSUE, P. DO NASCIMENTO, R. **Avaliação da eficiência da técnica de Eletro-floculação no tratamento de efluentes de indústrias de subprodutos avícolas**. *Estudos Tecnológicos* - Vol. 6, nº 1:36-47. 2010. ISSN 1808-7310. Disponível em: <<http://www.foz.unioeste.br/~lamat/publicengquim/estudostecnol2010.pdf>> Acesso em: 19 de julho de 2014.

BRAGA, B. HESPANHOI, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N. JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 2ª reimpressão. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2004. 305 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução – CONAMA. **No 430 de 13 de maio de 2011**. Trata das condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama> Acesso em 19 de julho de 2014

BRITO, Juliana Ferreira de; FERREIRA, Laís de Oliveira; SILVA, Joaquim Paulo da and RAMALHO, Teodorico Castro. Treatment for purification water of biodiesel using electroflocculation. *Quím. Nova* [online]. 2012, vol.35, n.4, pp. 728-732. ISSN 0100-4042. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000400014>> Acesso em 29 out. 2014.

CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis**. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Mestrado).

CERQUEIRA, A. A.; MARQUES, M. R. da C.; RUSSO, C., **Avaliação do processo eletrolítico em corrente alternada no tratamento de água de produção**. *Quím. Nova* [online]. 2011, vol.34, n.1, pp. 59-63. ISSN 0100-4042.

COSTA, Carla Regina. **Tratamento de efluentes provenientes de curtumes utilizando os processos eletroquímico e fotoeletroquímico**. 2009. Tese (Doutorado em Química) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/59/59138/tde-11092009-113441/>>. Acesso em: 2014-11-13.

CRESPILHO, F. N.; REZENDE, M. O. O. **Eletroflotação: princípios e aplicações**. São Carlos: RiMa Editora, 2004.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O. **Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco** utilizando eletro-flotação. *Química Nova*, V. 3, São Paulo – SP, 2004.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O. **Tratamento de efluente de indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação**. *Química Nova*, v. 27, n. 3, p. 387-392, 2004.

DALLAGO, R. M., DILUCCIO, M., KÜHN, M. E., KREBS, J., DO NASCIMENTO, M. S. BENAZZI, T. L., VENQUIARUTO, L. D., MORES, R., **Eletrofloculação aplicada ao Tratamento de Efluente de Laticínio**. *PERSPECTIVA*, Erechim. v.36, n.135, p.101-111, setembro/2012.

FARIAS, Marcos. S. S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo**. Campina Grande. 2006. Disponível em : <<http://www.deag.ufcg.edu.br/copeag/teses2006/tese%20silly.pdf>> . Acesso em 29 out. 2014.

FEISTEL, J. C., **Tratamento e Destinação de Resíduos e Efluentes de Matadouros e Abatedouros**. Seminários Aplicados. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2011.

FLECK, Leandro. **Aplicação do Controle Estatístico de Processo ao Tratamento de um Efluente Têxtil por Eletrofloculação**. 2011. (Trabalho de conclusão de Curso). Medianeira, PR. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/472>> . Acesso em 29 out. 2014.

FORNARI, M. M. T. **Aplicação da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de curtume**. 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, 2007.

GOBBI, Lorena Cristina Abrahão. **Tratamento de água oleosa por eletrofloculação**. 2013, 120f. Dissertação de Pós-Graduação em Energia do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo. São Mateus, ES, Brasil.

GRASSI, M.T. . **As Águas do Planeta Terra**. Química Nova na Escola, n.1, p. 31-40, 2001.

IBANEZ, J. G.; *Química Nova na Escola* **2002**, nº 15, 45. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/edicao.php?idEdicao=35>> Acesso em: 29 out. 2014.

JOTIN, Rosie. IBRAHIM, Shahrin. HALIMOON, Normala . **Electro coagulation for removal of chemical oxygen demand in sanitary landfill leachate**. International Journal of Environmental Sciences Volume 3 No.2, 2012 . p. 921-930. ISSN 0976-4402

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos da Qualidade e Tratamento de Água**. 2º Ed. Campinas-SP: Editora Átomo, 2010.

MACHADO, C. J. (organizador) **Gestão de águas doces**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004.372 p.

MENESES, Janaina Moreira de; VASCONCELOS, Robelsa de Fátima; FERNANDES, Thalys de Freitas and ARAUJO, Gilmar Trindade de. **Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação: investigação dos parâmetros operacionais**. *Quím. Nova* [online]. 2012, vol.35, n.2, pp. 235-240. ISSN 0100-4042. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000200002>.> Acesso em: 29 out. 2014.

MOHAMMAD, M. E., MUTTUCUMARU. S., **Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes** .Journal of Environmental Management, Volume 90, Issue 5, April 2009, Pages 1663-1679.

MOLLAH, M.Y.A.; SCHENNACH, R.; PARGA, J. R.; COCKE, D. L., Electrocoagulation (EC): science and applications. **Journal of Hazardous Materials**,v. 84, p. 29-41, 2001.

NORMAS PARA ELABORAÇÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. - Curitiba : UTFPR, 2008.

NR 25 - NORMA REGULAMENTADORA 25 RESÍDUOS INDUSTRIAIS. Disponível em:< <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr25.htm>> Acesso em: 29 out. 2014.

PACHECO, J. W. **Guia técnico ambiental de frigoríficos - industrialização de carnes (bovina e suína)**. São Paulo : CETESB (Série P + L), 2008.

PARANÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA. **Resolução Industrial No 070/2009.** Disponível em: [http://www.cema.pr.gov.br/arquivos/File/resolucao_070_site\(1\).pdf](http://www.cema.pr.gov.br/arquivos/File/resolucao_070_site(1).pdf) Acesso em: 01 de novembro de 2014

PARRON, Lucilia Maria. **Manual de Procedimentos de amostragem e análises físico-química de água [recurso eletrônico]** /Lucilia Maria Parron; Daphne Heloisa de Freitas Muniz; Claudia Mara Pereira. – dados eletrônicos. – Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (Documentos/ Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 219) Disponível em : <<http://www.infoteca.embrapa.br/bistream/doc/921050/1/Dov232ultimaversao.pdf>> Acesso em: 29 out. 2014.

PASCHOAL, F. M. M.; FILHO, G. T. **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais.** Química Nova, v. 28, n. 5, p. 766-772, 2005.

PAULI, A. R. ESPINOZA-QUIÑONES, F. MÓDENES, A. BORBA, C. THEODORO, P. **Aplicação do planejamento experimental método de eletrocoagulação para a remoção de matéria orgânica de efluentes frigoríficos.** ENGEVISTA, V. 14, n. 3. p. 293-301, dezembro 2012

RABELO, Mariane Helena Sances; SILVA, Eric Keven and PERES, Alexandre de Paula. **Análise de Modos e Efeitos de Falha na avaliação dos impactos ambientais provenientes do abate animal.** *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2014, vol.19, n.1, pp. 79-86. ISSN 1413-4152. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522014000100009>. Acesso em: 16 de julho de 2014.

RANGEL, Rodolfo Maia; CARVALHO, Roberto José de and TOREM, Maurício Leonardo. **Organic matter removal from oil-water emulsions by electrocoagulation - 1: thermodynamic analysis.** *Rem: Rev. Esc. Minas* [online]. 2013, vol.66, n.1, pp. 77-83. ISSN 0370-4467. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672013000100010>. > Acesso em: 29 out.2014.

RODRIGUES, Bárbara Martins. Utilização da eletrofloculação para tratamento de água de produção, Brasil. 2008. 107f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

RODRIGUES, Maria Isabel. LEMMA, Antonio Francisco. **Planejamento de experimentos e otimização de processos.** 2ª. Ed. – Campinas, SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor. 2009. ISBN: 85-98389-03-X. p 357.

SCARASSATI, D.; CARVALHO, R.F.; DELGADO, V.L.; CONEGLIAN, C.M.R.; BRITO, N.N.; TONSO, S.; SOBRINHO, G.D.; PELEGRINI, R. Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos. In **III Fórum de Estudos Contábeis**, [online], Claretianas, 2003. Disponível em:

www.universoambiental.com.br/novo/artigos_ler.php?canal. Acesso em: 17 de julho de 2014.

SILVA, A. L. C., **Processo eletrolítico: Uma alternativa para o tratamento de águas residuárias**. 2002, 60f. Monografia de Especialização em Química Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SILVA, P. C. F. **Tratamento de resíduos líquidos industriais pelo processo eletrolítico: uma alternativa para o gerenciamento dos resíduos líquidos gerados nas indústrias mecânicas fabricantes de equipamentos para produção de petróleo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

SILVA, P.C. F. da., Mainier, F.B. **Tratamento eletrolítico de resíduos líquidos gerados em indústria mecânica fabricante de equipamentos para produção de petróleo**. 2005. 9 f.

THEODORO, P. S. **Utilização da eletrocoagulação no tratamento de efluentes da indústria galvânica**. 2010. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Unioeste Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 3ª edição. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002. 943 p.