

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA RESIDENCIAL
PARA FINS DE REUSO**

JEAN WALTER SOARES LOPES



JEAN WALTER SOARES LOPES

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA
RESIDENCIAL PARA FINS DE REUSO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do curso de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Charles Martins Aguilar

Montes Claros
Instituto de Ciências Agrárias - UFMG

2019

Jean Walter Soares Lopes. **TRATAMENTO DE EFLUENTE DE
LAVANDERIA RESIDENCIAL PARA FINS DE REUSO**

Aprovado pela banca examinadora constituída por:

Prof. Dr. Charles Martins Aguilar – Orientador ICA/UFMG

Prof. Dr. Ulisses Alves Pereira – ICA/UFMG

Prof.^a Dra. Julia Ferreira da Silva – ICA/UFMG

Engenheiro Eletricista Rogério Santos Maciel – Co-orientador ICA/UFMG

Dr.^a Maria Cecília Fernandes Dias – ICA/UFMG

Montes Claros, 28 de Junho de 2019.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, socorro presente na hora da angústia. A meu pai Adélio Veloso Lopes, minha mãe Vaneide Soares Lopes, a meu irmão, e às pessoas as quais convivi ao longo desses anos. Afinal, a experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos foi a melhor experiência da minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Esta fase da minha vida é muito especial e não posso deixar de agradecer a Deus por toda força, ânimo e coragem que me ofereceu para ter alcançado minha meta. Ele esteve ao meu lado e me deu resiliência para suportar, não desistir e continuar lutando por este meu sonho e objetivo de vida. A Ele eu devo tudo.

À Universidade quero deixar uma palavra de gratidão por ter me recebido de braços abertos e com todas as condições que me proporcionaram dias de aprendizagem muito ricos. A esta instituição tão imponente eu agradeço pelo ambiente propício à evolução e crescimento, bem como a todas as pessoas que a tornam assim tão especial para quem a conhece.

Aos professores reconheço um esforço gigante com muita paciência e sabedoria. Foram eles que me deram recursos e ferramentas para evoluir um pouco mais todos os dias. Ao longo de todo meu percurso eu tive o privilégio de trabalhar de perto com os melhores professores, educadores, orientadores. Sem eles não seria possível estar aqui hoje com o coração repleto de orgulho. Em especial, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Charles Martins Aguilar. A você, minha amizade, admiração e gratidão. Agradeço também ao técnico administrativo que co-orientou este trabalho, Rogério Santos Maciel.

Amigos e família, a vocês eu deixo uma palavra gigante de agradecimento. Hoje sou uma pessoa realizada e feliz porque não estive só nesta longa caminhada. Vocês foram meu apoio. Aos colegas que se tornaram grandes amigos, como: Marcos, Thiago e Amanda Russo; proporcionaram-me boas risadas e momentos de descontração ímpares. Sei que vou os levar para sempre na memória e no coração. A quem não mencionei, mas estive junto eu prometo reconhecer essa proximidade, ajuda e incentivo todos os dias da minha vida. A todas as pessoas que de alguma forma fizeram parte do meu percurso eu agradeço com todo meu coração.

“Não importa o que aconteça, continue a nadar.”

(WALTERS, GRAHAM; **PROCURANDO NEMO**, 2003).

RESUMO

Os impactos aos recursos hídricos e geração de efluentes veem aumentando cada dia mais pelo resultado do crescimento populacional e uso das indústrias, que são as responsáveis pelo maior consumo daqueles recursos. Pensando em meios de tratamento para esses tipos de efluentes, o método físico-químico pelo meio eletrolítico da eletroflotação destaca-se seguindo à legislação ambiental. Objetivou-se avaliar o desempenho da técnica de eletroflotação como tratamento de efluente de lavanderia. Para a execução do experimento, foram colocados dois litros de efluente bruto de lavanderia em um recipiente com dois eletrodos de alumínio. Os eletrodos foram conectados a dois fios metálicos ligados a uma fonte ligado a um multímetro para leitura de corrente elétrica. Foi acrescentado 34g de cloreto de sódio ao início do experimento para aumento da condutividade elétrica. Nesta configuração as partículas de sujidade e impurezas sobem à superfície do reator, promovendo dessa forma a clarificação do efluente. Utilizou-se um medidor de temperatura e de pH a cada 10 minutos, durante 60 minutos. Ao fim, foi retirado todo o efluente tratado de dentro do reator e colocado dentro de recipientes específicos. Este foram levados para o laboratório LAEE (Laboratório de Análise de Água e Efluentes, Montes Claros - MG), onde foram feitas as devidas análises. Foram avaliados os parâmetros físico-químicos de Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais, DBO₅, DQO e Surfactantes. Os valores de pH, intensidade de corrente elétrica e temperatura do experimento foram submetidos ao teste estatístico de Regressão. A intensidade de corrente oscilou desde a um valor máximo, havendo uma diminuição e depois reestabeleceu para o valor inicial. Houve um aumento do valor da temperatura e diminuição do valor de pH. Houve uma eficiência de redução de 47,5% da DBO₅ e de 42,3% para a DQO, revelando que, de fato, a técnica de eletroflotação é bastante sensível, vantajosa e eficaz na diminuição das demandas de DBOs e DQOs. Houve uma eficiência de 74,5% na redução dos Sólidos Dissolvidos Totais. Para a análise de Surfactantes, foi observado uma eficiência de remoção de apenas 16,2%. Na análise de Turbidez, observou-se uma eficiência máxima de 99,4% na redução. Para os testes estatísticos de regressão da corrente elétrica em função do tempo obteve resultados de correlação muito baixa entre as variáveis. Para o teste de pH e variação de temperatura em função do tempo, obteve resultados de alta correlação entre as variáveis, podendo notar que o tempo influencia muito.

Palavras-chave: efluentes, eletroflotação, físico-químico.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Etapas global do procedimento de lavagem e desinfecção de roupas	15
Figura 2- Esquema representativo de tratamento por eletroflotação.	19
Figura 3- Reservatório plástico com eletrodos de alumínio.	25
Figura 4- Sensor de temperatura.	26
Figura 5- Fonte de energia.	25
Figura 6- peagâmetro utilizado no trabalho.	27
Figura 7- multímetro.	27
Figura 8- Reator para eletroflotação.	28
Figura 9- Amostra de água de lavagem de roupa.	29
Figura 10- processo final da eletroflotação.	30
Figura 11- água antes e depois do tratamento.	30
Gráfico 1- Variação da corrente elétrica em função do tempo.	35
Gráfico 2- Valores de pH em função do tempo.	36
Gráfico 3- Gráfico da variação de temperatura em função do tempo.	37

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LAAE – Laboratório de Análise de Água e Efluentes.

pH – Potencial Hidrogeniônico.

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DQO – Demanda Química de Oxigênio.

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Ecoeficiência	13
2.2 Lavanderias Industriais	14
2.2.1 Operações e Tecnologias em Lavanderias Industriais	15
2.3 Reuso ou Reciclagem da Água	16
2.3.1 Aspectos legais da Gestão de Recursos Hídricos e Padrões de Emissões de Efluentes	17
2.4 Eletroflotação	17
2.4.1 Vantagens e Desvantagens da Eletroflotação	19
2.4.2 Condutividade do Efluente na Eletroflotação	21
2.5 Desinfecção	21
2.6 Sólidos	21
2.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	22
2.7.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	23
2.8 Turbidez	23
2.9 Surfactantes	23
2.10 pH	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Local	24
3.2 Montagem	24
3.2.1 Reator Eletrolítico	25
3.2.2 Sensor de Temperatura	25
3.2.3 Fonte de Energia	26
3.2.4 Phmetro	26

3.2.5 Multímetro	27
3.3 Condução do Experimento	27
3.4 Coleta das Amostras	28
3.5 Parâmetros Avaliados	29
3.6 Avaliação dos Resultados	29
3.7 Análise Estatística	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Variáveis Estudadas	31
4.2 Eficiência na Remoção	32
4.3 Gráficos de Resultados de Significância dos Coeficientes de Regressão Pelo teste t	35
5 CONCLUSÃO	37
6 REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

O consumo de água no Brasil e no mundo vem aumentando de acordo com o crescimento populacional e com o crescimento industrial, resultando em impactos diretamente aos recursos hídricos, pois toda essa água utilizada nas fábricas, indústrias e mesmo nas casas, quase sempre, volta para os rios sem nenhum tipo de tratamento que minimize os poluentes nela contido.

A água sendo o principal composto para a humanidade, ocupando quase 70% do peso corporal, é de total importância para as funções internas, e também pelo fato de ser usada o tempo todo na rotina diária, para limpeza, molhar plantas, tomar banho, etc. Entretanto, com o alto crescimento de indústrias e da população mundial, a utilização descontrolada dos recursos hídricos pelas grandes empresas, gera todos os dias quantidades enormes de poluidores de difícil degradação natural que são jogados diretamente no meio ambiente, cuja grande maioria não recebem nenhum tratamento adequado. Nesse pensamento, observa-se uma grande necessidade de se estabelecer leis de caráter rígido aplicadas a essas indústrias que geram poluentes ao ambiente hídrico, com o intuito de se adotar tratamentos de seus efluentes (QUEIROZ, 2010).

Nesse sentido, observa-se uma certa preocupação das empresas em seguirem as normas da Legislação CONAMA nº 430, sobre o descarte e produção de efluentes (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

Quando os efluentes dessas empresas são tratados, há retiradas de impurezas geradas durante o processo da produção da fábrica. As técnicas de limpeza estão inteiramente ligadas a característica do efluente gerado, ao tipo de operação da indústria e a qualidade da água que é usada. Esses tratamentos podem ser químicos, físicos ou biológicos. A utilização dos agentes químicos coagulantes estão na maioria das técnicas das estações de tratamento, que também tem a possibilidade de provocar impactos ao meio ambiente (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

Segundo BORBA *et al* (2010), pelo fato da técnica de eletroflotação possuir fácil operação e também boa eficiência no tratamento de vários tipos diferentes de efluentes, devido a remoção de uma variedade de contaminantes, vem despertando um certo interesse das indústrias (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

O método de tratamento físico-químico pelo meio eletrolítico é uma forma promissora que segue à legislação ambiental. Este método possibilita o crescimento e mudança nos tratamentos dos sistemas mais clássicos, tradicionais, pois emprega os

mesmos embasamentos fundamentais de coagulação e floculação e ainda potencializa o método. Provoca reações de eletrólise gerando gases hidrogênio e oxigênio, criando bolhas que entra em contato com todo o efluente, o que provoca de forma potencializada reações de oxirredução, mais eficazmente a flotação das partículas poluidoras (SILVA, 2002).

Objetivou-se avaliar o desempenho da técnica de eletroflotação como tratamento de efluente de lavanderia.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Ecoeficiência

A ecoeficiência é a compreensão de gestão de empresas que abrange a ação econômica e ambiental para promover a produção junto com a redução de danos sobre o meio ambiente (ALMEIDA, 2005). A ecoeficiência pode ser entendida como a junção de valor com a redução do uso de recursos e menos poluição possível (HUESEMANN, 2004).

Dyllick (2002) diz ainda que é uma valiosa parte das estratégias corporativas. O conceito adquiriu grande aceitação nas últimas décadas, como uma condição necessária, embora não satisfatório para minimizar a degradação ambiental (WBCSD, 2000a, 2000b).

De acordo com Vellani e Riberiro (2009), para consolidar a sustentabilidade da empresa, suas ações ecológicas devem percorrer o caminho da ecoeficiência, ou seja, operações ecológicas necessitam de desempenho em seus ofícios, e os gastos nestes aspectos necessitam acarretar vantagens econômicas e financeiras ao negócio total.

Segundo a União das Nações Unidas para a Proteção Ambiental (UNEP, 2014), ecoeficiência é uma prática constante de uma estratégia ambiental de prevenção integrando processos, serviços e produtos, a fim de maximizar a eficiência total e de minimizar riscos ao meio ambiente e aos seres humanos. Também é entendida como um artifício gerencial, a qual pode-se obter crescimento econômico, e simultaneamente são gerenciados os impactos ambientalmente negativos provenientes da escala produtiva (SOMAVILLA, 2013).

2.2 Lavanderias Industriais

Lavanderias industriais são sistemas complexos que, possuem uma demasiada influência de fatores externos e internos, sendo assim precisam ser monitoradas com visão sistêmica cujas oscilações, micro e macroambientais, podem interferir no seu planejamento e resultados (JERÔNIMO *et al.*, 2012). O método das lavanderias industriais começa com o recebimento das roupas e finaliza com a entrega aos donos das peças lavadas com características alteradas dos tecidos. Tratamentos físicos e químicos são feitos ao longo dos procedimentos. Ao longo da lavagem das roupas são feitas execuções, como: enxágues iniciais e intermediários, pré-lavagem, umectação, lavagem, amaciamento, alvejamento, acidulação, desengomagem, secagem, centrifugação, passamento, embalagem, conserto da peça de roupa e acabamento. Durante esse processo, quando a roupa passa pela água, são acrescentadas soluções químicas, o que resulta em danos ambientais (ITABORAHY e SILVA, 2006; PICCHIAI e FARIAS, 2013).

As novidades tecnológicas investidas reforçam no avanço contínua dos métodos de lavagem, com o intuito de acabar ao máximo com as impurezas do material, provenientes de vários elementos podendo ser produtos químicos, alimentos, poeiras atmosféricas, pigmentos que geram alterações nas técnicas das lavanderias, logo precisam ser analisadas com certa periodicidade (PICCHIAI e FARIAS, 2013).

2.2.1 Operações e Tecnologias em Lavanderias Industriais

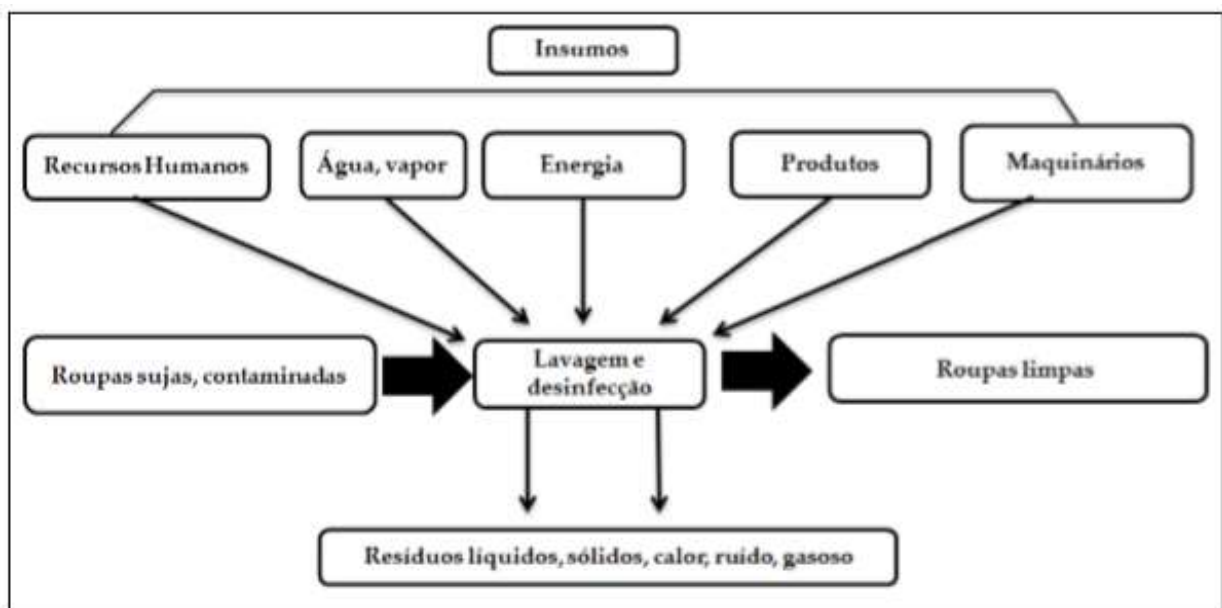
Segundo Cargnin (2008), é essencial avaliar o processo de lavagem e desinfecção dos tecidos de maneira global. Através de análises rigorosas de cada parte integrante pode-se chegar em uma ótima ação ambiental e econômica inserindo avanços no método. De acordo com a CETESB (2009), o movimento das lavanderias industriais envolvendo procedimentos de entrada e saída, são: externalidades, pode ser os resíduos sólidos, particulados, efluente líquido, gases, vapores, calor, ruído e vibração; os insumos pode-se citar fontes de energia, água e materiais químicos, do processo têxtil.

A Figura 1 exemplifica um diagrama dos passos de lavanderias industriais. De acordo Pacher *et al.* (2011), mudanças nos métodos utilizados nas lavanderias como reuso da água, uso de artigos biodegradáveis, demanda para reutilização de embalagens de solventes e o tratamento apropriado da água, antes do despejo para o esgoto, podem

diminuir a consequência negativa sobre o meio ambiente. A lavagem úmida demonstra riscos ao meio ambiente em uma proporção menor comparado a lavagem a seco, tendo em vista que esta utiliza alguns produtos que são químicos e tem a capacidade de trazer sérias complicações ao meio ambiente e à saúde humana. Uma procura por modernos artigos de lavagem menos desatualizados diminui a produção de resíduos (PACHER *et al.*, 2011). A inovação desses materiais já permite a diminuição da aplicação de produtos químicos trocando-os por biológicos. A biolavagem diminui a temperatura, ação mecânica, e tempo, induzindo as condições sinérgicas. Assim sendo, pode-se supor que os elementos são capazes de ser reduzidos, eliminados ou aumentados por meio a fase do procedimento de lavagem (PICCHIAI e FARIAS, 2013).

As modificações nos procedimentos permitem a diminuição de tempos, atividade de calor consumido e atividades dos equipamentos, atingindo os resultados em termos de associação. Assim é possível chegar a diminuições, eliminações ou ampliação de custos em uma lavanderia (PACHER, 2011; PICCHIAI e FARIAS, 2013).

Figura 1. Etapas Global do Procedimento de Lavagem e Desinfecção de Roupas



Fonte - Baseado em Cargnin (2008) e CETESB (2009).

Para uma boa da lavagem, algumas características devem ser consideradas, como: tipo fio, nível de sujeira, pigmentação, resíduo, total segurança do trabalho e do sanitária, garantindo dessa forma, um processo proveitoso. Para ter uma boa noção operacional dos operadores é necessário uma capacitação e treinamento, evitando

acontecer danos nas peças lavadas, desperdícios de materiais e acidentes (PICCHIAI e FARIAS, 2013).

2.3 Reuso ou Reciclagem da Água

A água não pode ser desperdiçada, pois é um bem valioso de todos. Aproximadamente de 1% da água tratada utilizada nas residências vai para o consumo próprio, a outra parte é usada nas máquinas de lavagem, banho, regar plantas, etc. A conservação da água vem sendo uma necessidade para diversos fins, a reutilização já é um conceito antigo (FIRJAN, 2006).

O campo industrial é um dos maiores usuários de água, sendo assim esse uso necessita ser com eficiência e racionalidade (FIRJAN, 2006). No Brasil, as improdutividades ambientais das indústrias e o aumento acelerado da urbanização exibem sinais de carência hídrica. Chen (2012) mostra que, determinados países como Austrália, Oriente Médio, América do Norte Ásia e da África, vem classificado a água reutilizada como um meio alternativo para solucionar dificuldades da escassez hídrica ligados com o crescimento populacional, dano na característica da água e as modificações climáticas.

Na área das lavanderias industriais, a lavagem dos tecidos utiliza uma água que possui aplicações superiores de produtos químicos, pode-se citar o fosfato de boro, sódio, surfactantes, nitrogênio e amônia. Nesse caso, danos ambientais podem acontecer se essa água não for tratada antes do descarte. O conceito de Reduzir, Reutilizar e Reciclar (3 R's) vem sendo empregado, destacando-se como sendo uma forma da produção que possui maior cuidado de poluição na fonte, denotando a área da produção que mais se preocupa com a necessidade de limpeza (AHMAD, 2008).

De acordo com Hoinkins (2008), as lavanderias industriais liberam uma quantidade alta de águas residuais mesmo sendo consideradas indústrias que fazem o uso de maneira abundante a água reutilizada. É importante constituir metas de gerenciamento possuindo todas os passos de manejo como o, transporte acondicionamento e passo final, treinamento, minimização de resíduos, minimizar o desperdício, segurança, estímulo a reciclagem, e negociação comercial para resíduos entre outras (SANCHEZ, 2003)

Segundo Hernández-Sancho; Sala-Garrido (2009) os benefícios da reutilização da água é um senso comum, pois permite a recuperação de recursos hídricos e minimiza os impactos ao meio ambiente.

2.3.1 Aspectos Legais da Gestão de Recursos Hídricos e Padrões de Emissões de Efluentes

O uso da água possui normas e leis vigentes que tem como intuito manter uma estabilização entre o meio ambiente e o uso humano, permitindo que os setores econômicos ou a sociedade possam seguir de forma equilibrada. A utilização dos meios tecnológicos de reutilização tem a capacidade de diminuir gastos de produção e provocar a conservação e recuperação dos recursos hídricos e trazendo também benefícios para a população (FIRJAN, 2006).

No Brasil, a Lei nº 9.433/97 instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos tendo o intuito de I) ordenar a gestão coesa das águas; II) atribuir administrativamente as divergências ligadas aos recursos hídricos; III) efetivar a Política Nacional de Recursos Hídricos; IV) controlar a recuperação, uso, e a preservação da água; e V) requerer a cobrança pela utilização da água. A Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Recursos Hídricos é o órgão que monitora a gestão da água no Brasil. São penalizadas as indústrias que modificarem os valores das medições dos volumes de água que foi usado (BRASIL, 1997).

As Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 430/2011 determina exigências padrões para despejo de efluentes em corpos d'água. Dessa forma, efluentes constituem-se de líquidos lançados, derivados de várias atividades (BRASIL, 2005; 2011). Determinados critérios proeminentes para despejo de efluentes são: temperatura inferior a 40°C; pH entre 5 e 9, materiais sedimentáveis até 1 mL.L⁻¹ em teste de uma hora; regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor (BRASIL, 2005; 2011).

Vale recomendar que no Brasil, não existe uma lei federal indicativa a reutilização dos recursos hídricos sendo que, segundo a CETESB-SP (2015), o governo federal procura uma alternativa de regulamentar o uso da água reciclada.

2.4 Eletroflotação

A eletroflotação (ou eletrocoagulação) é um método utilizado desde 1870 e, de acordo com a CETESB (1988), foi empregado inicialmente para o tratamento esgoto

vindo das casas. Contudo, nota-se hoje o crescimento do interesse nesse método, no melhoramento em áreas da indústria de papéis, metalúrgicas, petrolíferas, alimentos e têxteis, citados por Ferreira (2006), Camboim (2010), Oliveira (2012), Stülp *et al* (2005), Crespilho *et al* (2004) e outros.

A limpeza das águas, usadas na reutilização ou no descarte, é feito por várias indústrias, determinando as propriedades de seus efluentes e definem a técnica que consente com às legislações vigentes, como a Resolução CONAMA nº357 (2005).

A técnica da eletroflotação utiliza uma corrente elétrica para dissolver ânodos de sacrifício de ferro ou alumínio, imersos na água poluída, formando os correspondentes íons metálicos produzindo diferentes espécies, tais como Fe(II) (e/ou Fe(III)) ou Al(III) (HUITLE *et al.*, 2008). Para eletrodos de alumínio, por exemplo, há geração de elementos coagulantes e gases de acordo com as reações (1, 2, 3, e 4):

*Oxidação do Al sólido (reação anódica):



*Solvatação do cátion (reação catódica):



*Formação de agente coagulante:



*Reações Secundárias

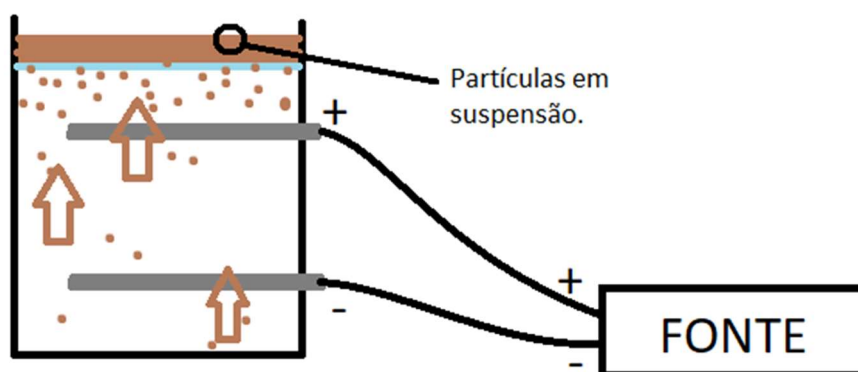


Segundo Silva (2005), nesta técnica há presente um reator eletroquímico, considerado o centro das reações de coagulação; portanto, durante o processo ocorre a geração de coagulantes *in situ* e o reator contendo eletrodos (ânodos de sacrifício), como alumínio, libera íons Al^{3+} em razão do potencial aplicado. O cátion assim formado na etapa anódica hidrolisa-se, formando o agente coagulante ($\text{Al}(\text{OH})_3$), que será o responsável pela coagulação e formação das partículas coloidais. Simultaneamente à geração de coagulantes através das reações eletrolíticas ocorridas no ânodo,

desenvolvem-se gases (geralmente bolhas de hidrogênio) no cátodo. Dependendo das condições de operação do reator e do poluente estas bolhas podem flotar algumas porções dos poluentes coagulados para a superfície do reator, ficando disponível para a sua filtração. Como não é feito o uso de produtos químicos para esse tratamento, esta técnica é definida eficazmente trazendo menos riscos ao meio ambiente.

De acordo com Silva (2005), em função da complexidade dos fenômenos envolvidos nos processos eletrolíticos de tratamento de efluentes, ocorrem três estágios sucessivos de operação: i) 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); ii) aglutinação das partículas desestabilizadas pelos hidróxidos de ferro e/ou alumínio, que são coagulantes naturais favorecendo a formação e o crescimento dos flocos (eletrofloculação); iii) geração de micro-bolhas de oxigênio ($O_{2(g)}$) no ânodo e de hidrogênio ($H_{2(g)}$) no cátodo, 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. A Figura 2 evidencia a forma como funciona o tratamento de efluente quando usado a eletroflotação para adequada remoção de poluentes do esgoto em que deseja realizar o devido tratamento.

Figura 2- Esquema Representativo de Tratamento por Eletroflotação.



Fonte: Do autor, 2019.

2.4.1 Vantagens e Desvantagens da Eletroflotação

De acordo com Mollah *et al.* (2001), as principais vantagens da Eletroflotação são:

- a) A eletroflotação requer um equipamento simples e de fácil operação onde a corrente e o potencial podem ser monitorados de maneira automatizada;
- b) O efluente tratado através da eletrocoagulação gera uma água palatável, limpa, sem cor e odor;
- c) O lodo formado tende a ser prontamente estabilizado, porque ele é composto principalmente de óxidos e hidróxidos metálicos. Além disso, esta é uma técnica com baixa produção de lodo;
- d) Os flocos formados são similares aos flocos químicos, exceto que os flocos tendem a ser muito maiores, contém menos água aderida, são resistentes a ácidos e mais estáveis, e, portanto, podem ser separados mais rapidamente através da filtração;
- e) Produz um efluente com um conteúdo de sólidos totais dissolvidos menor quando comparado com os tratamentos químicos. Se esta água for reusada, o baixo nível de sólidos totais dissolvidos contribui para um baixo custo de recuperação desta água;
- f) Durante o processo há remoção das partículas coloidais menores, pois o campo elétrico aplicado promove mais rapidamente o contato entre elas, facilitando a coagulação;
- g) Limita o uso de substâncias químicas, minimizando conseqüentemente, o impacto negativo causado pelo excesso de xenobióticos lançados no meio ambiente, fato que acontece quando a coagulação química é empregada no tratamento de efluentes;
- h) As bolhas de gás produzidas durante a eletrólise podem levar o poluente ao topo da solução, onde ele pode ser concentrado e removido mais facilmente, por flotação;
- i) A cela eletrolítica é eletricamente controlada não necessitando de acessórios secundários, o que requer menos manutenção;
- j) A técnica pode ser usada convenientemente em áreas rurais onde a eletricidade não é disponível, desde que um painel solar seja acoplado à unidade.

Ainda, de acordo com Mollah *et al.* (2001), as principais desvantagens da Eeletroflotação são:

- a) Os ânodos de sacrifício são dissolvidos no fluxo do efluente como um resultado da oxidação e precisam ser regularmente substituídos;

- b) O uso da eletricidade pode ser caro em muitos lugares;
- c) Um filme de óxido impermeável pode ser formado no cátodo levando a uma perda da eficiência na unidade e eletroflotação;
- d) É requerida uma alta condutividade do efluente;
- e) Hidróxidos gelatinosos podem tender a se solubilizar em alguns casos.

2.4.2 Condutividade do Efluente na Eletroflotação

Conforme Crespilho e Rezende (2004) a distância entre os eletrodos influencia significativamente quanto à corrente provocada no meio, sendo que um sistema em que opere em baixa corrente se recomenda que os eletrodos se disponham a uma distância próxima entre eles. Logo, quando o sistema é operado a uma corrente maior, os eletrodos podem ser dispostos a uma distância maior, sem que a melhor eficiência causada pela corrente não decaia. A adição de Cloreto de Sódio (NaCl) em meio aquoso eleva o número de íons Cl^- (aq), uma vez que pode vir a trazer vantagens no que diz respeito à geração de hipoclorito, dessa forma otimizando o tratamento e promovendo a desinfecção do efluente.

2.5 Desinfecção

A variável de tempo é um importante fator para que ocorra a desinfecção, dessa forma, além da concentração do agente desinfetante, também deve ser monitorado o tempo em que o agente permanece em contato com o meio a ser desinfetado. Tendo em vista que a temperatura também pode ser usada para a eliminação de microrganismos a seguinte relação de Hoff-Arrhenius resulta na relação entre tempo e temperatura quanto à desinfecção (LEME, 1995).

2.6 Sólidos

Conforme Von Sperling (2005), a variedade de sólidos pode ser classificada sob três formas a seguir:

- Classificação por características físicas:

– Sólidos dissolvidos (ou sólidos filtráveis): são compostos por partículas com tamanho variável entre $10^{-6}\mu\text{m}$ a $10^{-3}\mu\text{m}$. Podem ser compostos por sais e matéria orgânica;

→ Sólidos coloidais: tamanho das partículas varia entre $10^{-3}\mu\text{m}$ a $10^{-2}\mu\text{m}$. Estes sólidos podem ser compostos por argila, vírus e algumas bactérias;

→ Sólidos suspensos (ou sólidos não filtráveis): as partículas que compõe estes sólidos apresentam tamanho de $10^0\mu\text{m}$ a $10^3\mu\text{m}$. Tais sólidos podem ser compostos por parte de bactérias algas e protozoários, além de flocos de bactérias, entre outras.

- Classificação por características químicas:

→ Sólidos orgânicos: são a fração de sólidos volatizáveis a até uma temperatura de 550°C ;

→ Sólidos inorgânicos (ou fixos): são sólidos não voláteis, que se apresentam em sua fração mineral ou inorgânica.

- Sólidos sedimentáveis:

→ São compostos por sólidos que apresentam capacidade de se sedimentarem em 1 hora.

2.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Segundo Van Valente (1997), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um indicador da concentração de matéria orgânica biodegradável presente no fluido em questão, onde é determinada de forma indireta pelo consumo de oxigênio exercido devido à respiração dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

A DBO também pode ser conceituada como a quantidade de oxigênio dissolvido necessário ou requerido aos microrganismos para que se possa realizar a estabilização da matéria orgânica que se encontra em decomposição, ou seja, podemos concluir que a DBO e a quantidade de matéria orgânica biodegradável são diretamente proporcionais, sendo que quanto maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável, maior será a DBO, segundo (MARTINELLE, 2011). A DBO baseia-se apenas no consumo de oxigênio necessário para oxidar compostos orgânicos biodegradáveis, pela ação de microrganismos (MARTINELLE, 2011).

2.7.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) representa a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar quimicamente as matérias orgânica e inorgânica oxidáveis de um despejo, ou seja, é a quantidade de oxigênio consumida por diversos compostos sem a intervenção de microrganismos. É uma indicação indireta do teor de carbono orgânico através do consumo de oxigênio no processo de oxidação da matéria orgânica presente na água.

2.8 Turbidez

O termo turbidez é empregado ao resultado de uma técnica usada para a constatação de qualquer material suspenso na água em que dificulte a passagem de luz por ela, dessa forma, podemos atestar que as águas subterrâneas são mais límpidas em sua grande maioria, sendo assim facilmente considerada como portadora de baixa turbidez. Já as águas superficiais estão mais propícias ao recebimento de diversos tipos de impurezas, podendo encontrar facilmente recursos hídricos superficiais que possuam materiais suspensos, matéria orgânica e inorgânica, organismos microscópicos e algas. Portanto, gera alta turbidez em sua grande maioria quando comparadas com fontes subterrâneas (SANTOS et. al. 2001).

2.9 Surfactantes

Os surfactantes constituem um importante grupo de compostos químicos amplamente utilizados em diversos setores industriais. A maioria destas substâncias disponíveis comercialmente é formada a partir do petróleo. Sendo assim, a consciência ambiental entre os consumidores, aliados a novas legislações de controle do meio ambiente levaram à procura por surfactantes naturais como alternativa aos produtos já existentes (NITSCHKE e PASTORE 2002).

O termo surfactante se refere à abreviação de agente ativo de superfície. Em outras palavras este termo é caracterizado pela tendência de absorção dessas moléculas nas superfícies e interfaces (JONSSON *et al.*, 1997). Os surfactantes são moléculas anfipáticas constituídas de uma porção hidrofóbica e uma porção hidrofílica. A porção apolar é frequentemente uma cadeia de hidrocarboneto enquanto a porção polar pode ser

iônica (aniônica ou catiônica), não iônica ou anfotérica. Alguns exemplos de surfactantes iônicos amplamente utilizados incluem ésteres sulfatados ou sulfatos de ácidos graxos (aniônicos) e sais de amônio quaternário (catiônico).

Em função da presença de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos na mesma molécula, os surfactantes tendem a se distribuir nas interfaces entre fases fluidas com diferentes graus de polaridade (óleo/água e água/óleo). A formação de um filme molecular, de forma ordenada nas interfaces, reduz as tensões interfaciais e superficiais, sendo responsável pelas propriedades únicas dos surfactantes. Estas propriedades fazem os surfactantes serem adequados para uma ampla gama de aplicações industriais envolvendo: detergência, emulsificação, lubrificação, capacidade espumante e molhante, solubilização e dispersão de fases. A maior utilização destes produtos se concentra na indústria de produtos de limpeza (sabões e detergentes), na indústria de petróleo e na indústria de cosméticos e produtos de higiene (NITSCHKE e PASTORE 2002).

2.10 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) indica a concentração de íons hidrogênio em uma solução específica, determinando se ela apresenta característica: ácida, neutra ou básica.

O pH apresenta valores que podem ir de 0 a 14, em uma temperatura de 25°C, sendo que, se o pH for menor que 7, indica que o meio é ácido, se indicar 7, o meio é neutro, e se indicar valores maiores que 7, esse meio será básico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Física do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA-UFMG) *campus* Montes Claros, no período de março a maio de 2019.

3.2 Montagem

Para a correta montagem do projeto foi desenvolvido um diagrama, contendo os elementos de controle que foram utilizados, neste diagrama estão

representados o reator (reservatório de plástico que suporta 2L), a fonte de alimentação e dois eletrodos de alumínio de 15cm de comprimento e 0,5cm de largura. Foi utilizado também, um sensor de temperatura, um phmetro e um multímetro para medir a corrente elétrica.

3.2.1 Reator Eletrolítico

Foi utilizado no experimento um reator eletrolítico na forma de reservatório plástico de 2L, onde foram colocados eletrodos de alumínio na sua lateral, de 15cm de comprimento e 0,5cm de largura. O fluxo do efluente no interior deste reator possui uma configuração de fluxo vertical ascendente. (FIGURA 3).

Figura 3- Reservatório plástico com eletrodos de alumínio.

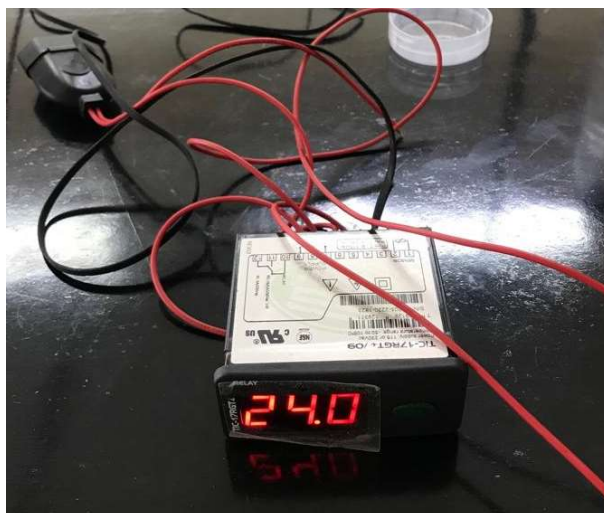


Fonte: Do Autor, 2019.

3.2.2 Sensor de Temperatura

Durante o experimento, foi utilizado um sensor de temperatura que ficou durante a realização do experimento dentro do efluente indicando os valores de temperatura utilizados para as medidas da temperatura em °C. (FIGURA 4).

Figura 4- Sensor de temperatura, Tic-17 RGT, c RUus.

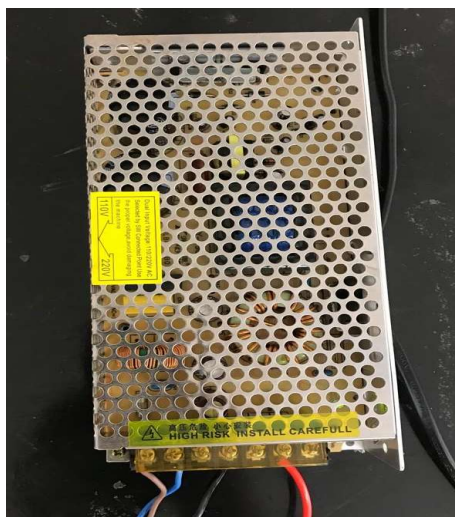


Fonte: Do Autor, 2019.

3.2.3 Fonte de Energia

Foi utilizado no trabalho uma fonte de energia de 220V, que fora conectada aos eletrodos do reator eletrolítico. (FIGURA 5).

Figura 5- Fonte de energia.

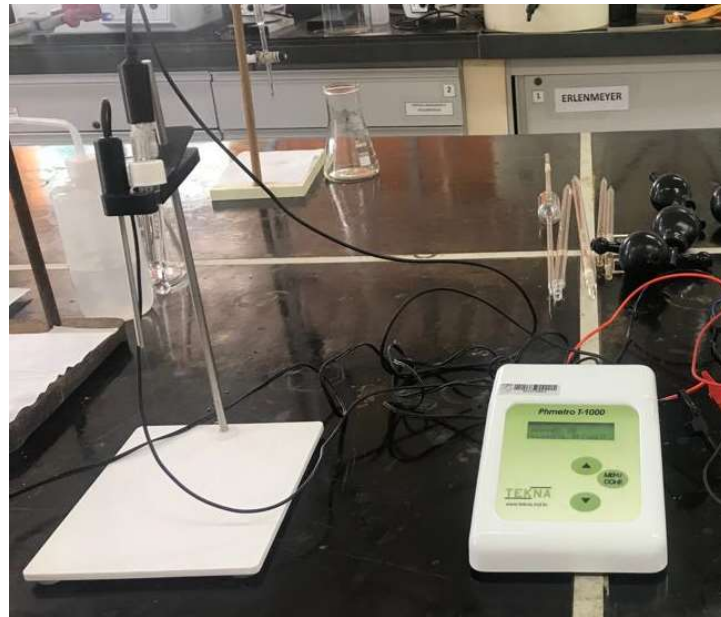


Fonte: Do Autor, 2019.

3.2.4 Phmetro

O phmetro foi utilizado para medir os níveis de pH do material durante o experimento, sendo feitas medições a cada 10 minutos, durante um intervalo de tempo total de 60 minutos. (FIGURA 6).

Figura 6- phmetro utilizado no trabalho, T-1000, TEKNA.



Fonte: Do Autor, 2019.

3.2.5 Multímetro

Um multímetro foi usado durante todo o experimento, fazendo leituras da corrente elétrica do sistema. (FIGURA 7).

Figura 7- Multímetro, VC9808, VICTOR.



Fonte: Do Autor, 2019.

3.3 Condução do Experimento

Foram colocados dois eletrodos de alumínio (sendo cada um constituindo-se o ânodo e o cátodo, respectivamente) dentro do reator eletrolítico, e estes foram conectados a dois fios que foram diretamente conectados à fonte de energia. Ao início do

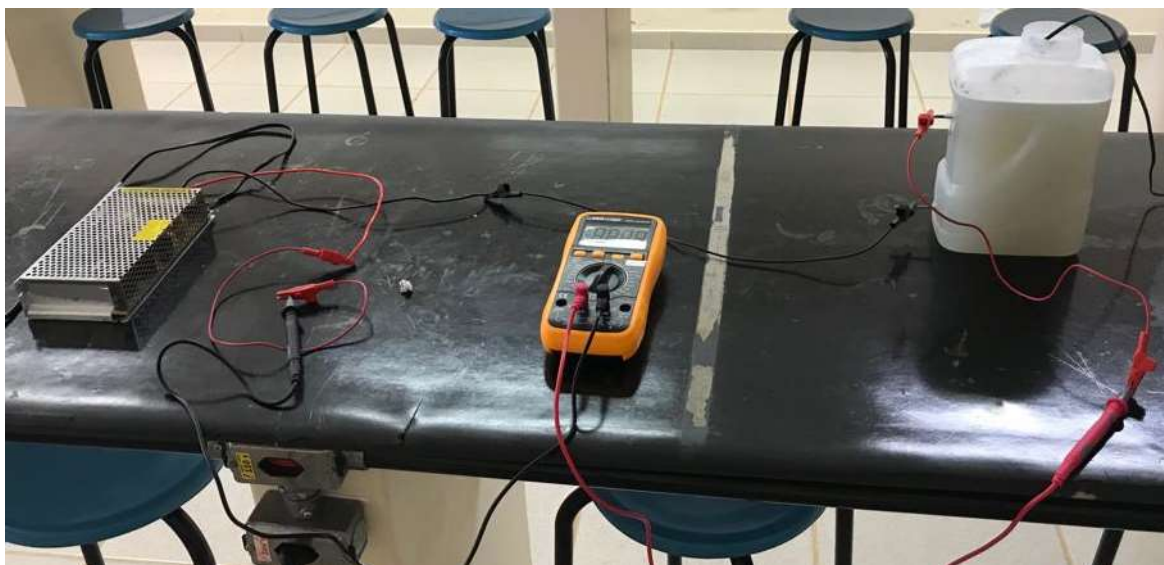
experimento foi adicionado 34g de cloreto de sódio para aumentar a condutividade elétrica do meio.

Um multímetro foi ligado a esses fios, fazendo a leitura da corrente elétrica a cada 10 minutos. Utilizou-se um medidor de temperatura, esse medidor foi colocado dentro do reator em contato com o efluente, que fazendo medições a cada 10 minutos.

Durante o processo, a cada 10 minutos era feito também a leitura de níveis de pH através de um phmetro. Todo o processo de condução do experimento durou 60 minutos e foi controlado manualmente.

O reator para o processo de eletroflotação foi montado em formato de protótipo. Utilizou-se um reator de conexão monopolar em série como o mostrado na Figura 8, uma vez que este tipo de conexão é fácil de montar e requer pouca manutenção durante a operação. Neste trabalho foi utilizado eletrodo no formato de cilindro dúctil de alumínio.

Figura 8- Montagem Materila para a Eletroflotação



Fonte: Do Autor, 2019.

3.4 Coleta das Amostras

As amostras de águas residuais (efluente bruto) foram advindas de máquina de lavar doméstica da região de Montes Claros, MG. Como informação inicial,

o efluente bruto constituiu-se de água residual advinda da lavagem de uniformes de trabalho e roupas usadas no dia a dia. (FIGURA 9).

Figura 9- Amostra de água de lavagem de roupa (efluente bruto).



Fonte: Do Autor, 2019.

3.5 Parâmetros Avaliados

Os parâmetros físico-químicos que foram avaliados: Sólidos Dissolvidos Totais, Turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Surfactantes, pH, temperatura e intensidade de corrente elétrica.

3.6 Avaliação dos Resultados

Depois de executar o experimento, foi transferida a água tratada de dentro do reservatório para dentro de determinados frascos, no qual foram levados para o laboratório LAEE (Laboratório de Análise de Água e Efluentes), onde foram feitas as devidas análises de parâmetros de avaliação do projeto. (FIGURA 10 e 11).

O protocolo de análises do LAEE segue a referência do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 5210 B 23^a Ed. 2017 para análise de DBO; Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 2540 C & E 23^a Ed. 2017

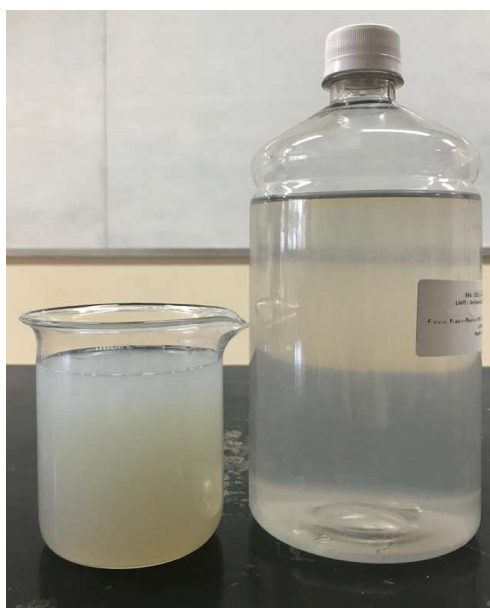
para análise de SDT; Nanocolor Método 985-026, 985-027 e 985-029 (5220 D 22ª Ed. 2012) para análise de DQO); Nanocolor Método 985-032 (5540 C 22ª Ed. 2012) para análise de surfactantes e Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 2130 B 23ª Ed. 2017 para análise de turbidez.

Figura 10- Processo Final da Eletroflotação.



Fonte: Do Autor, 2019.

Figura 11- Amostras do efluente bruto (antes do experimento) e tratado (após o experimento) do tratamento.



Fonte: Do Autor, 2019.

3.7 Análise Estatística

Os valores de pH, corrente elétrica e temperatura do experimento foram submetidos ao teste estatístico de Regressão, calculando o coeficiente de determinação R^2 para analisar o grau de correlação entre as variáveis observadas em função do tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis Estudadas

A Tabela 1 mostra valores das variáveis principais estudadas, intensidade de corrente elétrica, pH, tempo e temperatura.

Tabela 1: Combinação entre as variáveis: intensidade de corrente elétrica, pH, tempo e temperatura aplicadas em ensaio de amostra de batelada única

t / (minutos) ^b	pH	I / (A) ^a	T / (°C) ^c
0	8,80	2,1	26,2
10	7,20	2,0	26,9
20	6,55	1,97	27,8
30	5,60	1,76	28,3
40	5,25	1,86	28,7
50	4,90	1,88	29,2
60	4,50	1,96	29,5

^aIntensidade de Corrente Elétrica; ^bTempo; ^cTemperatura.

Fonte: Do autor, 2019.

Foram realizadas sete medidas em batelada única. O cloreto de sódio é comumente usado para aumentar a condutividade dos efluentes que serão tratados eletroquimicamente permitindo menor consumo de energia, pois há uma diminuição na tensão oferecida pelo efluente. Portanto, foram utilizados 34 g de cloreto de sódio e também o cloro eletroquimicamente gerado é efetivo na desinfecção da água. Os valores para a intensidade de corrente oscilam, havendo uma diminuição em seu valor e depois tende a restabelecer para o valor inicial. De acordo com Harris (2005), a corrente determina a quantidade de espécies químicas que serão oxidadas. Crespillo e Rezende (2004) alerta que elevada corrente pode significar perda de potência; pois parte dela se dissipará pelo efeito Joule e também maior frequência de manutenção dos eletrodos.

A variável temperatura é também um outro fator importante, uma vez que esta tem efeito sobre as reações químicas, acelerando-as ou desacelerando-as, sendo responsável por maior ou menor solubilidade de gases (CERQUEIRA, 2006). Alguns estudos mostram que a condutividade aumenta com o aumento da temperatura, diminuindo o consumo de energia elétrica (TETERICZ, 2011).

De fato, a Tabela 1 mostra que os valores de temperatura tendem a aumentar no decorrer do experimento, e a tensão aplicada tende a ser estabilizada. A corrente oscila muito pouco, variando de 0,34 A, evidenciando um baixo consumo de energia elétrica.

Observa-se que há um aumento do valor da temperatura e diminuição do valor de pH. Isso pode ser explicado devido ao fato que durante o processo de eletrofloculação ocorre também a formação de íons $(OH)^-_{(aq)}$ na água que faz com o pH sofra uma alteração. Portanto, o pH do efluente após o tratamento pelo processo de eletroflotação aumenta em um efluente ácido e diminui em um efluente alcalino. Assim, pela Tabela 1 nota-se que a amostra de efluente bruto apresentou características básicas (pH = 8,80) e depois de 60 minutos, a amostra do efluente tratado apresentou características ácidas, com pH=4,50. O eletrodo de sacrifício (ânodo) de alumínio utilizado foi dissolvido no fluxo do efluente como resultado da oxidação, o que influencia no aumento do pH no início do experimento. Todavia, ao passo que as reações de formação dos hidróxidos de alumínio, que atuam como agentes coagulantes naturais que favorecem a formação e crescimento dos flocos, se processam e devido à formação do fluxo ascendente destes formados por aglutinação das partículas de sujeira, há uma diminuição do valor do pH.

4.2 Eficiência na Remoção

Pela Tabela 2 abaixo, pode-se observar os resultados obtidos na remoção da DBO₅, DQO, sólidos dissolvidos totais, surfactantes e turbidez do efluente bruto e tratado pelo processo eletrolítico da eletroflotação.

Tabela 2: Eficiência na remoção dos parâmetros^a

Ensaio	Efluente Bruto	Efluente Tratado	Eficiência na remoção / (%)
DBO ₅ /(mg.L ⁻¹)	1.609,76	845,07	47,5
DQO/(mg.L ⁻¹)	2.940,00	1.695,00	42,3
Sólidos Dissolvidos			
Totais (SDT) /(mg.L ⁻¹)	10.604,00	2.704,00	74,5
Surfactantes/(mg.L ⁻¹)	27,45	23,00	16,2
Turbidez/(NTU)	327,0	2,0	99,4

^aValores creditados pelo LAAE (Laboratório de Análises de Água e Efluentes), credenciado pelo Instituto Mineiro de Agropecuária, despacho de homologação 01/2018, 17 outubro 2018 – IOF/MG. Métodos: DBO₅: SMWW 5210 B 23^a Ed. 2017; DQO: Nanocolor Método 985-026, 985-027 e 985-029 (APHA 5220 D 22^a Ed. 2012; SDT: SMWW 2540 C & E 23^a Ed. 2017; Surfactantes: Nanocolor Método 985-032 (APHA 5540 C 22^a Ed. 2012); Turbidez: SMWW 2130 B 23^a Ed. 2017.

Fonte: Do autor, 2019.

Como mostrado pela Tabela 2, apesar dos valores elevados para os parâmetros e DBO₅ e DQO (tanto para a amostra contendo o efluente bruto quanto para a contendo o efluente tratado), observou-se que houve uma eficiência de redução de 47,5% da DBO₅ e de 42,3% para a DQO. Esta redução nos valores revela que, de fato, a técnica de eletroflotação é bastante sensível, vantajosa e eficaz na diminuição das demandas bioquímica e química de oxigênio, apesar da maior instabilidade biológica dos compostos orgânicos presentes na amostra do efluente bruto (maior valor de DBO₅). Além disso, de acordo com a relação descrita por Jardim e Canela (2004) a amostra contendo o efluente tratado mostrou-se ter sua quantidade de matéria orgânica facilmente removida, pois apresenta relação DQO/DBO₅ \approx 2,0, significando que o efluente é facilmente biodegradável. Por exemplo, para águas residuais de origem doméstica, as relações entre DQO/DBO₅ variam de 1,7 a 2,4.

De acordo com Santos *et al.* (2006), a eficiência de redução da DQO aumenta à medida que a temperatura aumenta. Para tanto, há três explicações possíveis para este aumento de eficiência com elevação da temperatura: (a) reações envolvendo a evolução de produtos gasosos podem ser favorecidas, o que produz diretamente um aumento efetivo na eletroflotação; (b) a taxa de oxidação de compostos orgânicos no eletrodo pode

ser aumentada, em virtude do caráter cinético da reação, e (c) os agregados da amostra em suspensão podem ser quebrados mais facilmente, aumentando assim a solubilidade do material e da sua oxidação direta no eletrodo. Assim, é provável que o aumento de temperatura influencie a cinética das reações envolvidas no processo eletrolítico que conduz a um aumento global da taxa de degradação (DQO).

A amostra de efluente bruto não apresentou sólidos suspensos totais (SST), apenas sólidos dissolvidos totais (SDT), constituindo-se das quantidades de substâncias orgânicas e inorgânicas solubilizadas. Pelos valores de SDT apresentados na Tabela 2 observa-se uma eficiência de redução de 74,5%. Como já apresentado, as águas residuais de lavanderias domésticas estão constituídas de vários compostos, como tensoativos, amaciantes, alvejantes, tinturas, fibras de tecidos, enzimas e gomas, portanto, grande parte destes constituem os sólidos dissolvidos totais.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 430 de 2011 não estabelece valores de referência para SST em águas naturais, de descarte ou consumo humano, no entanto são permitidos 500 mg L⁻¹ de sólidos dissolvidos totais (SDT) para águas doces das classes 1, 2 e 3 e 1.000 mg L⁻¹ para águas subterrâneas, classes 1 e 2 (BRASIL, 2005). De acordo, portanto, com esta resolução os valores encontrados para o parâmetro SDT na amostra de efluente tratado não está em conformidade com os valores tabelados permitidos para o reuso da água. Todavia, vale a pena destacar a alta taxa de eficiência de redução dos sólidos dissolvidos totais pela aplicação da técnica de eletroflotação.

Para os valores dos surfactantes, nota-se uma eficiência de remoção de apenas 16,2%. Esta remoção pode ser explicada por mecanismos sortivos da superfície do surfactante a complexos hidroxicatiônicos gelatinosos presentes formados durante a eletrocoagulação. Águas residuais advindas de lavanderias domésticas contem em sua composição volumes significativos que apresentam uma diversidade de compostos, como tensoativos, amaciantes, alvejantes, tinturas, fibras de tecidos, enzimas, gomas e vários outros tipos de contaminantes. Portanto, o efluente bruto gerado apresenta uma alta carga orgânica, coloração, baixa tensão superficial e quantidade significativa de sólidos suspensos (MENEZES, 2005).

Observa-se ainda que os valores para o parâmetro da turbidez apresentaram a máxima eficiência de redução com 99,4%. Este parâmetro está relacionado com a capacidade de um feixe de luz espalhar-se ao atravessar a água. Esse espalhamento pode ser atenuado pela presença de partículas de sólidos em suspensão (silte, areia, argila,

algas, detritos). Portanto, o valor apresentado para a amostra de efluente tratado está em conformidade com os parâmetros necessários de turbidez para o reuso da água (BRASIL, 2005)

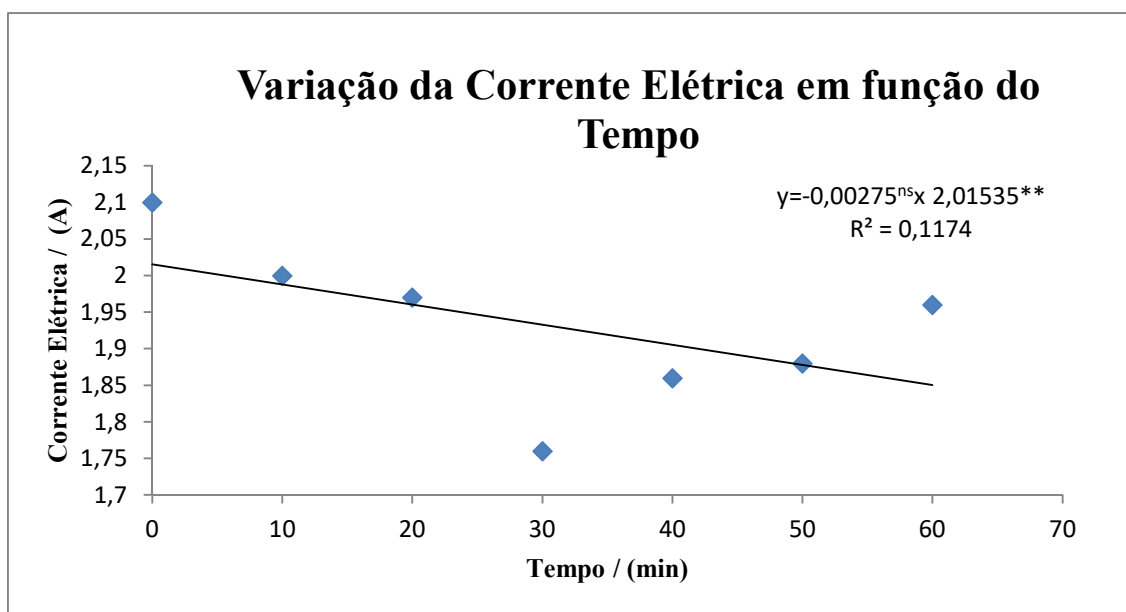
De forma geral os dados da Tabela 2 evidencia que há uma grande diferença entre os valores dos parâmetros apresentados para as amostras do efluente bruto e tratado, portanto, pelos resultados alcançados é possível inferir que a eletrofloculação mostra-se um método alternativo e eficiente para o tratamento de efluentes de lavanderias domésticas.

4.3 Gráficos de Resultados de Significância dos Coeficientes de Regressão pelo Teste t

Foram elaborados três testes estatísticos de regressão, onde foi analisado a influência do tempo sob as variáveis de corrente elétrica, temperatura e pH. O teste feito, serve para avaliar o quanto duas variáveis possuem de grau de correlação, calculando o coeficiente de determinação R^2 , que auxilia na análise dos dados. Resultados de R^2 próximos de 1 significa alta correlação entre as variáveis, resultados próximos de 0 significa baixa correlação entre as variáveis.

Para a elaboração dos gráficos, considerou-se os dados da Tabela 1. Os resultados do teste são representados graficamente a seguir.

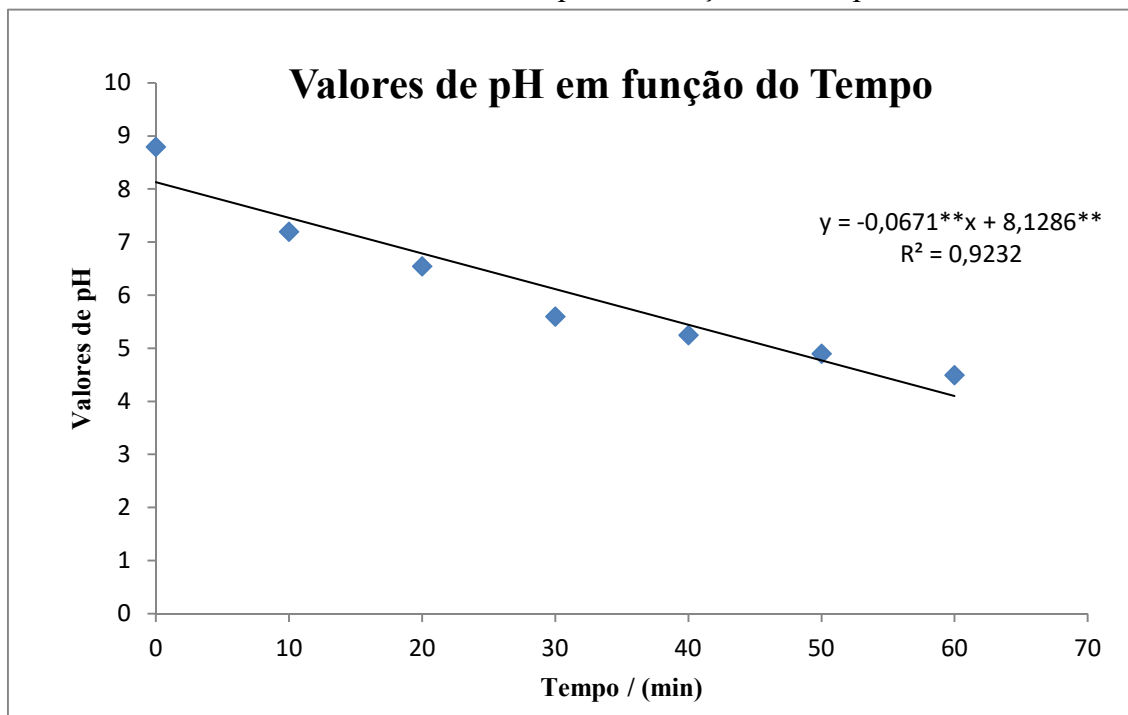
Gráfico 1 - Variação da Corrente Elétrica em Função do Tempo



Fonte: Do autor, 2019.

De acordo com o Gráfico 1 da corrente elétrica em função do tempo, apresentou um resultado de coeficiente de determinação (R^2) bem próximo de 0, sendo assim existe uma correlação muito baixa entre as variáveis.

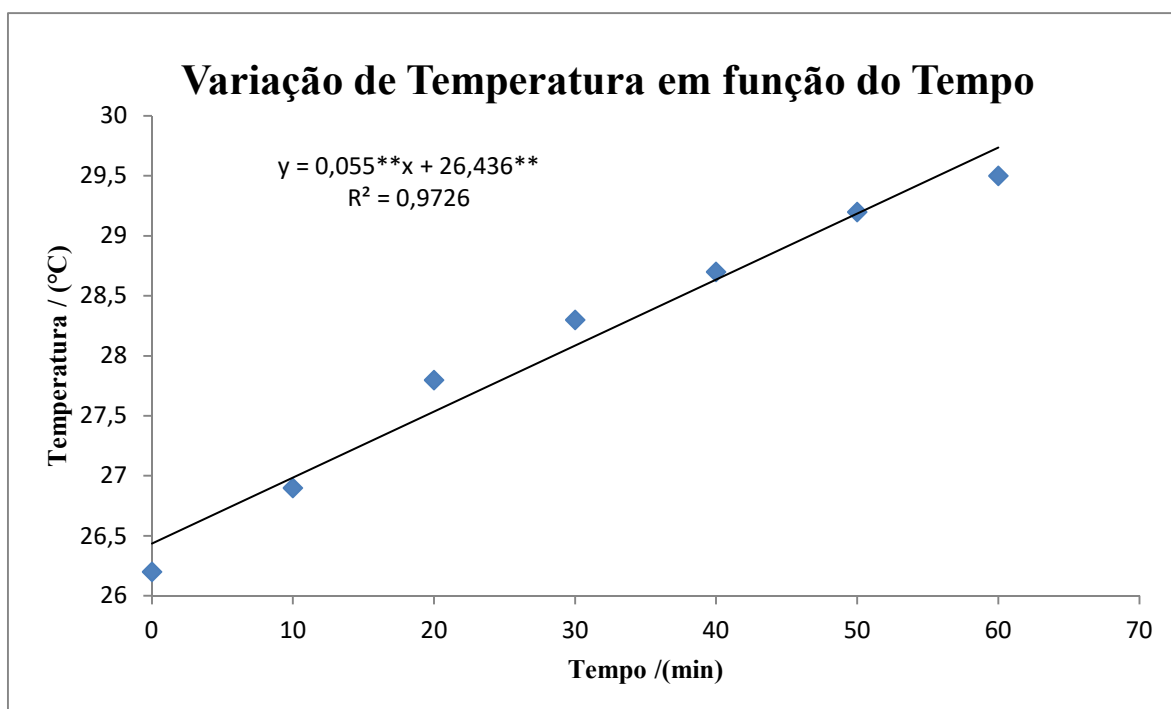
Gráfico 2 - Valores de pH em Função do Tempo



Fonte: Do autor, 2019.

De acordo com o Gráfico 2 dos valores de pH em função do tempo, apresentou um resultado de coeficiente de determinação (R^2) bem próximo de 1, sendo assim existe uma alta correlação entre as variáveis, podendo observar que o tempo influencia na queda dos valores de pH.

Gráfico 3 - Variação de Temperatura em Função do Tempo



Fonte: Do autor, 2018

De acordo com o Gráfico 3 da variação de temperatura em função do tempo, apresentou um resultado de coeficiente de determinação (R^2) bem próximo de 1, sendo assim existe uma correlação bastante alta entre as variáveis, podendo observar pelo gráfico a influência do tempo no aumento da temperatura.

5 CONCLUSÃO

A realização do experimento mostrou que a aplicação de métodos eletroquímicos, como a eletroflotação, visando o tratamento de efluente advindo de lavanderia doméstica obteve bons resultados na redução da carga orgânica (DBO_5) com eficiência de redução de 47,5%; de DQO, com 42,3%; de SDT, com 74,5%; surfactantes, com 16,2 e turbidez com eficiência de remoção de 99,4%. Percebeu-se também houve uma grande diferença entre os valores dos parâmetros apresentados para as amostras do efluente bruto e tratado, evidenciado antes e após o tratamento, respectivamente.

Os valores para a intensidade de corrente oscilaram desde a um valor máximo, havendo uma diminuição em seu valor e depois tende a restabelecer, retornando ao valor inicial.

Os valores de temperatura tenderam a aumentar no decorrer do experimento, mediante a estabilização da tensão aplicada. A corrente oscila muito pouco, variando de 0,34 A, evidenciando um baixo consumo de energia elétrica.

A análise estatística mediante o teste estatístico de regressão, apontou que há uma correlação muito baixa entre as variáveis intensidade de corrente elétrica e o tempo; já entre os valores de pH e tempo, há uma alta correlação entre estas variáveis, denotando que a variável tempo influencia na queda dos valores de pH. Finalmente, para os valores da temperatura e tempo, os resultados mostraram que há uma correlação bastante alta em estas duas variáveis, demonstrando que o tempo influencia no aumento da temperatura durante o processo.

Portanto, pelos resultados alcançados é possível inferir que a eletrofloculação mostra-se um método alternativo e eficiente para o tratamento de efluentes de lavanderias domésticas, pois, dentro deste contexto, os ensaios realizados neste estudo indicaram uma grande potencialidade para o emprego das tecnologias eletroquímicas no tratamento dos efluentes de lavanderia, podendo fazer o uso dessa água para molhar plantas, lavar a casa, lavar o carro, jogar no vaso sanitário, dentre outros. Uma proposta, e como sugestão e contribuição do trabalho aqui realizado, seria adotar a ideia de que os processos que envolvam a eletroflotação podem ser associados a métodos convencionais de tratamento, atuando como pré ou pós-tratamento dos efluentes gerados em casas, fábricas e indústrias. Como exemplo, a proposta segue como integração de um sistema constituído por um tratamento físico preliminar, acoplado da eletroflotação seguida por uso de reatores do tipo UASB como lodos ativados poderia ser uma solução adotada para realizar um tratamento eficiente dos efluentes gerados, reduzindo em muitos os parâmetros de carga, grau de toxicidade e contaminação; a água advinda deste tratamento pode ser reutilizada, por exemplo, para irrigação em áreas verdes de canteiros e jardins.

6 REFERÊNCIAS

AHMAD, R., M. ARSHAD, A. KHALID, Z.A. ZAHIR AND T. MAHMOOD. 2008. Effect of compost enriched with N and L-tryptophan on soil and maize. *Agron. Sustain. Develop.*, 28: 299-305.

ALMEIDA, F. O Bom negócio da sustentabilidade. 3 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2005.

BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e Proposta de tratamento, em Natal/RN [dissertação]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2000.

BERTAZZOLI, R.; PELEGRINE, R. Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em solução aquosa através do processo fotoeletroquímico. *Química Nova*, v. 25, p. 477-482, 2002.

BRASIL. Lei nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. Acesso em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 04 de Out. de 2018.

BRASIL. Lei nº 430, de 13 de Maio de 2011. Completa e altera a Resolução nº 357/2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 04 de Out. de 2018.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídrico. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 04 de Out. de 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf>. Acesso em 17 de junho de 2019.

CAMBOIM, R. A. Técnica de eletroflotação aplicada na remoção de cores de efluentes têxteis. Dissertação de mestrado. UNICAMP, 2010.

CARGNIN, M. T. Análise do processo de lavagem e desinfecção de roupas hospitalares: o caso da lavanderia HUSM, em Santa Maria/RS [Dissertação]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2008. 153p.

CERQUEIRA, A. A. Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006. 111 p. Dissertação (Mestrado).

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Resíduos Sólidos. Disponível em em

<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/php/mapa_qualidade_rmsp.php> Acesso em: 03 de Outubro de 2018.

CETESB. Diagnóstico da situação atual das estações eletrolíticas de tratamento de esgoto. São Paulo. CETESB, 1988.

CHEN, Z.; NGO, H. H. ; GUO, W. A critical review on sustainability assessment of recycled water schemes. *Science of the Total Environment*, v. 426, p. 13–31. 2012.

CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E.; EATON, A.D. Standard methods for the water and wastewater. 20. ed. Washington: American Public Health Association, 1998. 1204p

CONAMA. Resolução CONAMA nº 357 de 2005. CONAMA, 2005.

CRESPILHO, F. N. REZENDE, M. O. Eletroflotação: Princípios e Aplicações. São Carlos. Ed. Rima, 2004, p.85.

CRESPILHO, Frank N.; REZENDE, Maria. Eletroflotação: Princípios e Aplicações. São Carlos: Ed. Rima, 2004, 85 p.

CRESPILHO, Nelson. F; REZENDE, Maria. O. Eletroflotação: Princípios e aplicações, 2004.

CRESPILHO, Nelson. F; REZENDE, Maria. O. Eletroflotação: Princípios e aplicações, 2004.

DEL SAZ-SALAZAR, S., F. HERNÁNDEZ-SANCHO AND R. SALA-GARRIDO (2009). The Social benefits of restoring water quality in the context of the water framework directive: a comparison of willingness to pay and willingness to accept total. *Science of the environment*, 407 (16), 4574-83.

DYLLICK, T.; HOCKERTS, K. BEYOND THE BUSINESS CASE FOR CORPORATE SUSTAINABILITY. *Business Strategy and the Environment*, v. 11, p. 130–141, 2002.

EMAMJOMEH, M. M; SIVAKUMAR, M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. *Journal of Environmental Management*, v. 90, p. 1663-1679, 2009.

FERREIRA, L. H. Remoção de sólidos em suspensão de efluente da indústria de papel por eletroflotação. Dissertação de mestrado. UNICAMP, 2006.

FIRJAN. Manual de conservação e reúso da água na indústria. Rio de Janeiro: DIM, 2006.

GARRIDO-BARSEBA, M. REIF, R. HERNANDEZ, F. PONCH, M. Implementation of a knowledgebased methodology in a decision support system for the design of suitable wastewater treatment process flow diagrams. *Journal of Environmental Management*, v. 112, p. 384-391. 2012.

GE, J.; QU, J.; LEI, P.; LIU H. New bipolar electrocoagulation–electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. *Separation and Purification Technology*, v. 36,n. 1, p .33-39, 2004.

HARRIS, DANIEL C. *Análise Química Quantitativa*. 6 ed. Editora LTC. Cap 14 e 15, Rio de Janeiro. 2005

HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; SALA-GARRIDO, R. Technical efficiency and cost analysis in wastewater treatment processes: a DEA approach, *Desalination*, v. 249, n. 1, pp. 230 234, 2009.

HOINKIS, R. M. S.; AMARAL, H. J.; SANTO,G. 2004. Productivity evaluation of Jundiá *Rhamdia* sp., a native South Brazilian specie, under intensive fish culture system in autumn/winter period. In: *World Aquaculture Society*, Salvador, P.34

HUESEMANN, M. H. The failure of eco-efficiency to guarantee sustainability:Future challenges for industrial ecology. *Environmental Progress*, v. 23, n. 4, p. 264–270. 2004.

HUITLE, C. A. M.; BRILAS E. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review. *Applied Catalysis B: Environmental* 87 (2009) 105–145.

ITABORAHY, M.A.; SILVA, V.H. Indústrias de confecção no município de Cianorte-PR e a necessidade de implantação de programas de Gestão Ambiental. *Revista Ciências Empresariais*, v.12, n. 1, p.360-387, 2006.

JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. Fundamentos da Oxidação Química no Tratamento de Efluentes e Remediação de Solos. *Caderno Temático. Volume 01; Campinas*, 2004.

JERÔNIMO, T.B.; GALVÃO M.B.; FALCÃO, J.M.S.L. Proposta de utilização do environment to businesses em projetos de recursos hídricos de despejo de produtos químicos: estudo de caso das lavanderias no município de Toritama. *Revista Eletrônica Serviços e Gestão*, v. 7, p. 366-378. 2012.

JONSSON, B.; LINDUAN, B.; HOLRUBERG, K.; KRONBERG, B. Surfactantes and polymers in aqueous solution. 1997

LEME, E.J.A., *Manual prático de tratamento de águas residuárias*. 1º edição São Carlos, SP: Universidade Federal de São Carlos, 1995.

LORA, E. E. S. *Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte*. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

MENEZES, Jean. C. S dos S. Tratamento e reciclagem do efluente de uma lavanderia industrial. *Dissertação de Mestrado como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia – Área de Concentração Tecnologia Mineral / Metalúrgica Extrativa*. Porto Alegre, RS. 2005.

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).

NAVARRO, R. M. Protótipo de um alimentador sustentável utilizando o micro controlador Arduino. Monografia de Graduação. Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. Biossurfactantes: Propriedades e aplicações. *Química Nova*. V. 25, p. 772-776, 2002

OLIVEIRA, J. S. de. Tratamento da água produzida utilizando a eletroflotação e o processo combinado eletroflotação/fenton em reator de reciclo fechado. Dissertação de mestrado. UNIT, 2012.

PACHER, B.A., VAZ, C.R., OLIVEIRA, I.L. Análise do gerenciamento de resíduos de lavanderias de Ponta Grossa. *P&D em Engenharia de Produção*, v. 9, n. 2, p. 121-131, 2011.

PICCHIAI, D.; FARIAS.R.M. A visão sistêmica da Lavanderia Hospitalar: Limites e Propostas. *Revista de Gestão em Sistemas de Saúde* , v. 2, n. 2, p. 124-147. 2013.

QUEIROZ, Caroline Bressan. Otimização da Técnica de Eletrofloculação Via Análise de Superfície de Resposta Aplicada ao Efluente de Uma Indústria Têxtil. 2011 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2010.

QUEIROZ, Caroline Bressan. Otimização da Técnica de Eletrofloculação Via Análise de Superfície de Resposta Aplicada ao Efluente de Uma Indústria Têxtil. 2011 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2010.

ROMERO, J. A. P. Eletroflotação Aplicada ao Tratamento de Esgoto Sanitário. Tese de Doutorado em Ciências (Química Analítica)- Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos: 2009.

SÁNCHEZ Characterization of *gdp1+* as encoding a GDPase in the fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*. *FEMS Microbiol Lett*228(1):33-8 2003.

SANTOS, M. R. G.; GOULART, M. O. F.; TONHOLO, J.; ZANTA, C. L. P. S. The application of electrochemical technology to the remediation of oily wastewater. *Chemosphere*, n. 64, p. 393-399, 2006.

SENAI, Apostila de Eletropneumática. São Paulo, 2012.

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. Niterói: Mestrado profissional em Sistemas de Gestão. Universidade Federal Fluminense, 2005.

SILVA, Paulo César França; MAINIER, Fernando. Tratamento eletrolítico de resíduos líquidos gerados em indústrias mecânica fabricante de equipamentos para produção de petróleo. p. 949-957.

SILVA, Paulo César França; MAINIER, Fernando. Tratamento eletrolítico de resíduos líquidos gerados em indústrias mecânica fabricante de equipamentos para produção de petróleo. p. 949-957, 2002.

SOMAVILLA, D. Proposta de Plano de gerenciamento de resíduos sólidos e Produção mais Limpa para uma indústria metalúrgica do município de Carazinho. [monografia]. Passo Fundo: Departamento de Engenharia Ambiental/UPF; 2013

STÜLP, S. SILVA, C. P. MARMITT, S. O uso de técnicas eletroquímicas no tratamento de efluentes de indústria alimentícia: Uma ferramenta para gestão ambiental. Estudo & Debate, Lageado, 2005. v.12, n.2, p.109-123.

TETERICZ, A. M. Tratamento de efluente do herbicida Atrazina pelo processo de eletrofloculação. 2011, 65 f. Projeto de trabalho final de graduação - Faculdade Dinâmica de Cataratas, Foz do Iguaçu.

UNEP – United Nations Environment Programme. Disponível em: <http://www.uneptie.org/PC/cp/understanding_cp/home.htm>. Acesso em: 03 de Outubro de 2018

VELLANI, C. L; RIBEIRO, M. S. Sistema Contábil para Gestão da Ecoeficiência Empresarial. Revista Contabilidade & Finanças. v. 20, n. 49, p. 25-43, 2009.

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. Eco-efficiency: creating more value with less input. NorthYorkshire, UK. 2000^a

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance. North Yorkshire, UK. 2000^b.

YOUNES, S. B., ELLOUZE, M.; SAYADI, S. A comparative study of an industrial effluent treatment using enzymatic and alkaline adapted consortium assays. Journal of Chemical Technology Biotechnology, v. 88, p. 563–571. 2012.