



Universidade do Estado do Rio De Janeiro
Centro de Ciência e Tecnologia
Faculdade de Engenharia


Mariana Machado Alves

**PROCESSOS ELETROLÍTICOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES
INDUSTRIAIS E LIXIVIADO DE ATERROS: REVISÃO SISTEMÁTICA**

Rio de Janeiro
2017

Mariana Machado Alves

Processos Eletrolíticos no Tratamento de Efluentes Industriais e Lixiviado de Aterros: Revisão Sistemática



Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientadora: Prof^a. PhD Marcia Marques Gomes

Coorientador: Prof. PhD Fábio Kaczala

Rio de Janeiro

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

A472 Alves, Mariana Machado.
Processos eletrolíticos no tratamento de efluentes industriais
e lixiviado de aterros: revisão sistemática / Mariana Machado
Alves. – 2017.
88f.

Orientador: Marcia Marques Gomes.
Coorientador: Fábio Kaczala.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental - Teses. 2. Água - Purificação -
Teses. 3. Lixo - Teses. 4. Saneamento - Teses. 5. Água -
Poluição - Teses. I. Gomes, Marcia Marques. II. Kaczala, Fábio.
III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Título.

CDU 628.54

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial
desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Mariana Machado Alves

Processos Eletrolíticos no Tratamento de Efluentes Industriais e Lixiviado de Aterros: Revisão Sistemática

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovada em 19 de setembro de 2017.

Banca examinadora:

Prof.^a D.Sc. Marcia Marques Gomes (Orientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. D.Sc. André Luís de Sá Salomão
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof.^a D.Sc. Fabiana Valéria da Fonseca
Escola de Química – UFRJ

Rio de Janeiro

2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha família: meu pai, Tony, minha mãe, Antonieta, e meu irmão, Marcio. Só nós quatro sabemos de tudo o que passamos nos últimos tempos e o quanto foi dura a luta para continuarmos bem e, principalmente, juntos. Toda a força e o apoio de vocês foram fundamentais para que esse trabalho pudesse ser concluído.

Ao meu marido, João, que está sempre ao meu lado, não importa o que aconteça. Você é como um porto seguro que me permite bater asas em busca de novos caminhos.

À minha orientadora, professora Marcia Marques, não só pela orientação em si, mas também pelo auxílio e paciência durante todo este tempo.

Aos professores do PEAMB, que nos inspiram a cada dia a sempre buscar conhecimento e sermos melhores profissionais.

Aos colegas de turma do PEAMB, que estão sempre dispostos a ajudar uns aos outros e que tornaram a jornada do mestrado mais leve e divertida.

Aos amigos das antigas (pessoal da Bio-UFRJ, da época de colégio, equipe do trabalho e todos os demais), que acreditam no meu sucesso e entenderam todo o estresse envolvido e a necessidade de ausência em alguns momentos.

Já disse e repito: sem vocês não existo.

Obrigada!

Eu me preocupo com o planeta porque é o lugar onde moramos,
e o único lugar onde podemos viver.

Luísa Pinho Sartori

RESUMO

ALVES, M. M. *Processos eletrolíticos no tratamento de efluentes industriais e lixiviado de aterros: revisão sistemática*. 2017. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Lançamentos de efluentes sanitários e industriais não tratados ou tratados de forma insuficiente ocasionam poluição das águas. Várias tecnologias têm sido desenvolvidas para aprimoramento do tratamento de efluentes. O tratamento eletrolítico vem ganhando importância e tem um papel fundamental dentre as tecnologias não convencionais de tratamento de efluentes industriais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência obtida com o tratamento eletrolítico de efluentes industriais (indústria têxtil e água oleosa) e lixiviados de aterros. Foi utilizada a abordagem de revisão sistemática (RS) para sintetizar os resultados publicados sobre o tema. O principal parâmetro para avaliação da eficiência do tratamento foi a redução da DQO. Os estudos foram incluídos ou excluídos da presente revisão conforme critérios pré-definidos no protocolo de RS. Foi encontrado um total de 10.987 publicações contemplando os termos pesquisados: lixiviado, água oleosa, efluente têxtil, eletrocoagulação, eletrofloculação, eletroflotação e tratamento eletrolítico. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, 69 artigos permaneceram para análise detalhada. Inicialmente, todos os tipos de efluente foram analisados juntos e, em seguida, separadamente. Para os dados dos três efluentes juntos, foi encontrada correlação positiva entre o tempo de retenção do efluente e a redução da DQO dentro da faixa de densidade de corrente mais baixas (1-10 mA/cm²) aliada a uma pequena distância entre os eletrodos (1-25 mm), bem como dentro da faixa de densidade de corrente mais baixas (1 a 10 mA/cm²) e distância intermediária/alta entre os eletrodos (acima de 26 mm). A análise dos três efluentes separadamente mostrou correlação positiva entre o tempo de retenção e a redução da DQO para lixiviado de aterros, dentro das faixas mais baixas e intermediárias de densidade de corrente (0,1-2,0 mA/cm² e 2,1-4,0 mA/cm²). Também foi encontrada correlação positiva entre o tempo de retenção do lixiviado e a redução da DQO para faixas intermediárias e altas quanto à distância entre os eletrodos (21-40 mm e acima de 41 mm, respectivamente). As condições ótimas do tratamento eletrolítico devem ser o resultado de uma combinação de níveis adequados para diferentes variáveis do processo, incluindo a interação entre as mesmas. Foi possível concluir que o tratamento eletrolítico pode ter um desempenho satisfatório, reduzindo a DQO do efluente a valores próximos a 100%.

Palavras-chave: Eletrocoagulação; Eletrofloculação; Eletroflotação; Tratamento eletrolítico; Efluente têxtil; Efluente oleoso; Lixiviado de aterro; DQO.

ABSTRACT

ALVES, M. M. *Electrolytic processes to treat industrial wastewater and leachate from landfills: systematic review*. 2017. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Discharges of untreated or insufficiently treated sanitary and industrial wastewaters cause water pollution. Several technologies have been developed to improve the quality of treated effluents. The electrolytic treatment is gaining importance and has a fundamental role inside the group of unconventional industrial effluent treatment technologies. The objective of this study was to evaluate the efficiency obtained with the electrolytic treatment of industrial effluents (textile industry and oily wastewater) and landfill leachates. A systematic review approach was used to synthesize reported data on the subject. The main variable used to assess the treatment efficiency was the reduction of COD. Publications were included or excluded from the present review according to a set of criteria previously defined in the RS protocol. In total, 10,987 publications were found covering the following searching terms: leachate, oily wastewater, textile wastewater, electrocoagulation, electroflocculation, electroflotation and electrolytic treatment. After application of the eligibility criteria, 69 articles remained for further analysis. Initially, data about all types of effluents were analyzed together and then, each type of effluent was analyzed separately. For all effluents together, a positive correlation was found between the retention time and COD reduction within lower current density range (1-10 mA/cm²) associated to short distance between electrodes (1-25 mm), as well as lower current densities range (1-10 mA/cm²) and intermediate to high distances between electrodes (26 mm and higher). When each type of effluent was analyzed separately, a positive correlation was found between retention time and COD reduction for leachate from landfills, within low and intermediate current density ranges (0.1-2.0 mA/cm² e 2.1-4.0 mA/cm²). Positive correlation was also found between retention time and COD reduction for intermediate and high ranges of distance between electrodes (21-40 mm and above 41 mm, respectively). Optimal conductions for electrolytic treatment must be the result of a combination of proper levels for different independent variables including interaction among them. It was concluded that electrolytic treatment can have satisfactory performance, reducing COD to values close to 100%.

Keywords: Electrocoagulation; Electroflocculation; Electroflotation; Electrolytic treatment; Textile wastewater; Oily wastewater; Landfill leachate; COD.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Esquema demonstrando uma célula eletrolítica com dois eletrodos.....	20
Figura 2 –	Passo-a-passo da revisão sistemática.....	39
Figura 3 –	Fluxograma do processo de identificação, triagem e seleção dos artigos dos três tipos de efluentes.....	47
Figura 4 –	Fluxograma do processo de identificação, triagem e seleção dos artigos sobre efluente têxtil.....	47
Figura 5 –	Fluxograma do processo de identificação, triagem e seleção dos artigos sobre efluente oleoso.....	48
Figura 6 –	Fluxograma do processo de identificação, triagem e seleção dos artigos sobre lixiviado de aterro.....	48
Figura 7 –	Esquema demonstrando combinação de variáveis fixadas para análise da influência do tempo de retenção do efluente na redução da DQO.....	52
Figura 8 –	Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do efluente, considerando densidade de corrente entre 1 e 10 mA/cm ² e distância entre eletrodos entre 1 e 25mm.....	53
Figura 9 –	Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do efluente, considerando densidade de corrente entre 1 e 10 mA/cm ² e distância entre eletrodos > 26mm.....	53
Figura 10 –	Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do lixiviado de aterro, considerando densidade de corrente entre 0,1 e 2,0 mA/cm ²	55
Figura 11 –	Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do lixiviado de aterro, considerando densidade de corrente entre 2,1 e 4,0 mA/cm ²	56
Figura 12 –	Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do lixiviado de aterro, considerando distância entre eletrodos entre 20 e 40 mm.....	56

Figura 13 – Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do lixiviado de aterro, considerando distância entre eletrodos > 40 mm.....	57
Figura 14 – Frequência relativa dos tipos de eletrodos dos estudos selecionados.....	58
Figura 15 – Média de redução de DQO dos tipos de eletrodos dos estudos selecionados.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de cor verdadeira, turbidez e pH conforme Resolução CONAMA N° 357/2005.....	28
Tabela 2 – Número de artigos encontrados por termos pesquisados.....	45
Tabela 3 – Checklist de relevância dos estudos triados.....	46
Tabela 4 – Número de artigos encontrados por ano de publicação.....	49
Tabela 5 – Número de artigos encontrados por país de publicação.....	50
Tabela 6 – Matriz dos artigos selecionados para a revisão sistemática.....	70
Tabela 7 – Matriz comparativa com dados extraídos dos estudos selecionados para a revisão sistemática.....	76

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
cm ²	Centímetro quadrado
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ddp	Diferença de potencial
DoE	<i>Design of Experiments</i>
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FI	Fator de Impacto
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
mA	Miliampere
MARPOL	Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios
min	Minutos
mm	Milímetro
MO	Matéria Orgânica
O&G	Óleos e Graxas
pH	Potencial hidrogeniônico
ppm	Partes por milhão
RS	Revisão sistemática
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (do inglês <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>)
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
	OBJETIVO GERAL	18
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
1.1	Tratamento eletrolítico	19
1.1.1	<u>Geração do agente coagulante</u>	20
1.1.2	<u>Eletrocoagulação e eletrofloculação</u>	21
1.1.3	<u>Eletroflotação</u>	21
1.1.4	<u>Variáveis relevantes no tratamento eletrolítico</u>	22
1.1.4.1	Material do eletrodo.....	22
1.1.4.2	Densidade de corrente.....	22
1.1.4.3	Distância entre os eletrodos.....	23
1.1.4.4	Condutividade elétrica do meio.....	24
1.1.4.5	pH do meio.....	24
1.1.4.6	Temperatura.....	25
1.1.5	<u>Vantagens do tratamento eletrolítico</u>	25
1.1.6	<u>Desvantagens do tratamento eletrolítico</u>	26
1.2	Tipos de efluentes estudados	27
1.2.1	<u>Efluente têxtil</u>	27
1.2.1.1	Processo de produção do efluente têxtil.....	27
1.2.1.2	Legislação aplicável.....	28
1.2.1.3	Efeitos da poluição por efluente têxtil.....	29
1.2.1.4	Tratamento de efluente têxtil.....	29
1.2.2	<u>Efluente oleoso</u>	30
1.2.2.1	Processo de produção do efluente oleoso.....	31
1.2.2.2	Legislação aplicável.....	32
1.2.2.3	Efeitos da poluição por efluente oleoso.....	32
1.2.2.4	Tratamento de efluente oleoso.....	33
1.2.3	<u>Lixiviado de aterro</u>	34
1.2.3.1	Processo de produção do lixiviado.....	34

1.2.3.2	Legislação aplicável.....	35
1.2.3.3	Efeitos da poluição por lixiviado.....	35
1.2.3.4	Tratamento de lixiviado.....	35
1.3	Revisão sistemática	37
1.3.1	<u>Importância das revisões sistemáticas</u>	37
1.3.2	<u>Etapas da revisão sistemática</u>	38
1.3.2.1	Pergunta a ser respondida.....	39
1.3.2.2	Definição do método de busca.....	39
1.3.2.3	Identificação dos artigos.....	39
1.3.2.4	Seleção dos estudos.....	39
1.3.2.5	Extração dos dados.....	40
1.3.2.6	Síntese dos dados.....	40
1.3.2.7	Interpretação dos dados e discussão dos resultados.....	40
2	METODOLOGIA	41
2.1	Pergunta a ser respondida	41
2.2	Método de busca	41
2.3	Seleção dos termos para a busca	41
2.4	Avaliação da elegibilidade dos estudos	42
2.5	Crítérios de inclusão e exclusão	43
2.5.1	<u>Inclusão</u>	43
2.5.2	<u>Exclusão</u>	43
2.6	Matriz comparativa	44
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.1	Base de dados	45
3.2	Seleção dos estudos	45
3.3	Resultados gerais da seleção de estudos incluídos na RS	46
3.3.1	<u>Publicações por ano</u>	49
3.3.2	<u>Publicações por país</u>	49
3.3.3	<u>Variáveis investigadas</u>	50
3.3.4	<u>Redução da DQO</u>	51
3.4	Análise de correlação para o conjunto de efluentes	51
3.5	Resultados por tipo de efluente	54
3.6	Resultados por tipo de eletrodo	58

CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS.....	64
APÊNDICES.....	70

INTRODUÇÃO

A água é a substância de maior importância no planeta terra, pois trata-se de um recurso natural essencial, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies vegetais e animais ou como insumo para a produção de vários bens de consumo ou processos industriais. Suas propriedades físicas e químicas proporcionaram a vida no planeta do jeito que se encontra atualmente (SINOTI, 2004).

Cerca de 70% do planeta é composto por água, em sua maioria salgada (MILLER JR, 2007), o que é inviável para o uso humano pelo fato de requerer tratamentos custosos, como a dessalinização. De todo o estoque hídrico existente, o que interessa de forma direta à espécie humana são os recursos de água doce, ainda que cada um dos demais recursos hídricos tenham reconhecida importância na estabilidade do sistema ambiental global (TOMASONI, 2009). De acordo com Schulz (2005) de toda a água existente no mundo, cerca de 2,5% corresponde à água doce, apesar de grande parte deste percentual encontrar-se nas calotas polares ou abaixo da superfície. Sendo assim, de todo o volume existente no planeta, somente cerca de 0,3% encontra-se disponível de modo a tornar passível sua utilização para abastecimento (seja ele doméstico ou industrial) ou irrigação.

Devido ao grande aumento populacional mundial no século passado, as ações antrópicas ligadas à ocupação do solo, poluição e contaminação dos corpos hídricos intensificou a escassez de água no planeta, tanto em quantidade como em qualidade. O avanço do crescimento populacional urbano é geralmente associado à falta de infraestrutura capaz de sustentá-lo (RODRIGUES, 2007).

Com o aumento da produção industrial e o desenvolvimento urbano, a disposição dos efluentes e seus efeitos sobre o meio ambiente começaram a requerer atenção especial (SINOTI, 2004).

Efluentes sanitários e industriais lançados de forma indiscriminada prejudicam o equilíbrio dos ecossistemas, o abastecimento de água para a população e podem ser fontes de doenças infectocontagiosas. Em média, os países mais ricos do mundo tratam cerca de 70% dos efluentes que geram, enquanto isso a taxa diminuiu para 28%-38% considerando os países de média renda e, por fim, para países menos

desenvolvidos, cuja renda é baixa, somente 8% dos efluentes industriais e municipais sofrem algum tipo de tratamento (SATO et al., 2013).

Tais lançamentos ocasionam na chamada poluição da água, que pode ser entendida como a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alteram a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dela são feitos (VON SPERLING, 1996). Neste contexto, o tratamento de efluentes domésticos e industriais é imprescindível para que se mantenha o equilíbrio dos corpos hídricos.

Atualmente os métodos físico-químicos aliados ao tratamento biológico são os métodos mais utilizados para o tratamento de efluentes. No tratamento físico-químico, a remoção dos contaminantes ocorre tanto por processos físicos quanto por meio de reações químicas. Já o tratamento biológico dos efluentes é realizado por microrganismos que, durante seu processo de respiração, consomem a matéria orgânica poluente (SINOTI, 2004). Este método convencional é largamente utilizado para o tratamento de efluentes sanitários, que podem ser definidos como os dejetos provenientes de banheiro e/ou cozinha de residências, edifícios comerciais, indústrias, instituições etc. Por outro lado, existem os efluentes industriais, que apresentam características distintas inerentes ao processo de produção de cada indústria. Sendo assim, compreendem uma variedade de poluentes, dependendo do tipo de indústria, sendo mais complexos e difíceis de tratar.

A eletrocoagulação (também comumente conhecida como eletrofloculação ou eletroflotação) vem ganhando importância e desempenhando um papel fundamental entre as tecnologias não convencionais de tratamento de efluentes industriais. Isso se dá por conta de sua versatilidade, processos operacionais fáceis e performance satisfatória na remoção de contaminantes (MOLLAH et al., 2004). Ainda, como vantagens, o tratamento eletrolítico tem uma produção de lodo reduzida, não há a necessidade do manuseio de produtos químicos (EMAMJOMEH; SIVAKUMAR, 2009), e as plantas possuem tamanho compacto quando comparadas com as estações de tratamento convencionais (físico-químico e biológico).

Este processo consiste basicamente em um reator com placas metálicas, ou eletrodos, que recebem uma carga de energia elétrica, provocando a geração do

coagulante dentro do próprio sistema. Após a coagulação dos poluentes, estes são removidos do sistema por flotação, filtração ou precipitação.

No processo de tratamento eletrolítico há diversas variáveis operacionais envolvidas, que vão influenciar na eficiência do tratamento e também nos custos de operação da estação, o que sugere uma grande importância quanto à combinação destas variáveis para que seja obtido um estado ótimo de tratamento, em que o efluente seja tratado adequadamente dentro das condições mínimas de utilização dos recursos.

No capítulo um é feita a fundamentação teórica desta dissertação, sobre o que é o tratamento eletrolítico, como este funciona, suas vantagens e desvantagens. Também são abordadas as variáveis operacionais que podem interferir na eficiência do tratamento e como isso acontece. Também foram incluídas informações sobre os efluentes que foram pesquisados neste estudo (efluente de indústria têxtil, efluente oleoso e lixiviado de aterro), seus processos de geração, caracterização dos efluentes, seus possíveis impactos negativos ao meio ambiente, a legislação à qual os descartes após tratamento devem atender e os métodos mais comuns de tratamento destes efluentes. Em seguida a revisão sistemática é abordada, com explicações acerca do tema, sua importância e os passos que devem ser seguidos para execução de uma revisão confiável e passível de reprodução.

O segundo capítulo demonstra a metodologia que foi utilizada para realização do presente estudo, fazendo a aplicação do passo-a-passo da revisão sistemática, estabelecendo os critérios de inclusão e exclusão de publicações do estudo, e explicitando a forma de seleção e extração dos dados que foram utilizados para análises dos resultados.

Os resultados encontram-se apresentados no capítulo três, no qual foram analisados os dados provenientes da revisão de diversas maneiras. Foram feitas análises comparativas das publicações por ano e por país da publicação. Em seguida foi realizada a análise de correlação entre a redução da DQO e as demais variáveis operacionais. Além da análise global contendo os três tipos de efluentes estudados, também foram incluídas análises realizadas de forma segregada, ou seja, considerando cada tipo de efluente, bem como os tipos de material de eletrodo. As

discussões e ponderações sobre os resultados encontrados foram realizadas neste mesmo capítulo, após a apresentação de cada um dos resultados.

Por fim, o último capítulo encerra este trabalho com as conclusões que foram possíveis de se enxergar por meio deste estudo e também contemplando as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi de avaliar a eficiência obtida no tratamento eletrolítico de efluentes industriais. Para tal, foram incluídas investigações com água oleosa, efluente de indústrias têxteis e lixiviado de aterros sanitários. A ideia central foi realizar a comparação da relevância de parâmetros ou variáveis de processo sobre a redução dos contaminantes na matriz aquosa, tornando possível uma comparação deste método de tratamento com outros.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as principais características de cada um dos três tipos de efluentes selecionados no que tange a sua composição e efeitos poluentes;
- Caracterizar os processos a partir dos quais são gerados os efluentes estudados;
- Levantar as legislações aplicáveis para o descarte de cada tipo de efluente, considerando a composição e os parâmetros mais críticos de cada um deles;
- Triar e selecionar publicações sobre o tratamento eletrolítico realizado com os efluentes selecionados com base em critérios de elegibilidade pré-estabelecidos (abordagem de revisão sistemática);
- Avaliar os níveis de redução de poluentes (DQO) presentes na matriz aquosa por tratamento eletrolítico, correlacionando com as diferentes variáveis de processo envolvidas;
- Compilar vantagens técnicas, ambientais e econômicas do tratamento eletrolítico e suas variações.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Tratamento eletrolítico

Uma célula eletroquímica é o conjunto de reagentes químicos conectados a dois terminais (condutores elétricos). O arranjo destes reagentes dentro célula é de tal modo, que para uma reação acontecer, deverá haver entre eles uma passagem de corrente elétrica entre um terminal e outro (SINOTI, 2004). Se a reação química ocorre espontaneamente, esta célula é chamada célula galvânica. Se, no entanto, é necessária a introdução de uma fonte externa de potência elétrica entre os terminais, a célula é chamada de célula eletrolítica (GOODISMAN, 1987).

Nos processos eletrolíticos, o valor do potencial de corrente mínimo necessário aplicado ao sistema deverá estar de acordo com os potenciais de redução/oxidação das espécies químicas que existam na solução (SINOTI, 2004). O eletrodo que recebe elétrons é o catodo, produzindo a redução, enquanto que o eletrodo que fornece elétrons é o anodo, produzindo a oxidação (RODRIGUES, 2007). Os elétrons sempre caminharão do anodo para o catodo, seja o processo espontâneo ou não.

A eletrocoagulação pode ser explicada como uma célula eletrolítica composta por eletrodos (os anodos e catodos), que quando submetidos a uma fonte de energia externa sofrem corrosão por conta da oxidação (anodo) e passivação (catodo). Existem alguns tipos de sistemas eletrolíticos, como por exemplo reatores monopolares, bipolares, eletrocoagulação por corrente alternada, entre outros. No entanto a ideia central da tecnologia é a mesma: o uso da eletricidade para fazer com que reações eletroquímicas aconteçam.

O reator eletrolítico possui eletrodos, que podem ser feitos do mesmo material ou podem ser diferentes (MOLLAH et al., 2001), gerando íons de acordo com o potencial aplicado. Os eletrodos utilizados na eletrólise podem ser inertes ou reativos. Os eletrodos reativos possuem participação nos fenômenos e ocorrem dentro da célula eletrolítica, podendo sofrer dissolução, fornecendo íons metálicos à solução eletrolítica. Os materiais mais utilizados são ferro, alumínio e cobre. Já os eletrodos inertes não sofrem dissolução durante os processos da eletrólise. Os tipos de materiais inertes mais utilizados são o titânio, grafite, platina, irídio, entre outros (RODRIGUES, 2007).

A Figura 1 mostra um esquema de uma célula eletrolítica típica.

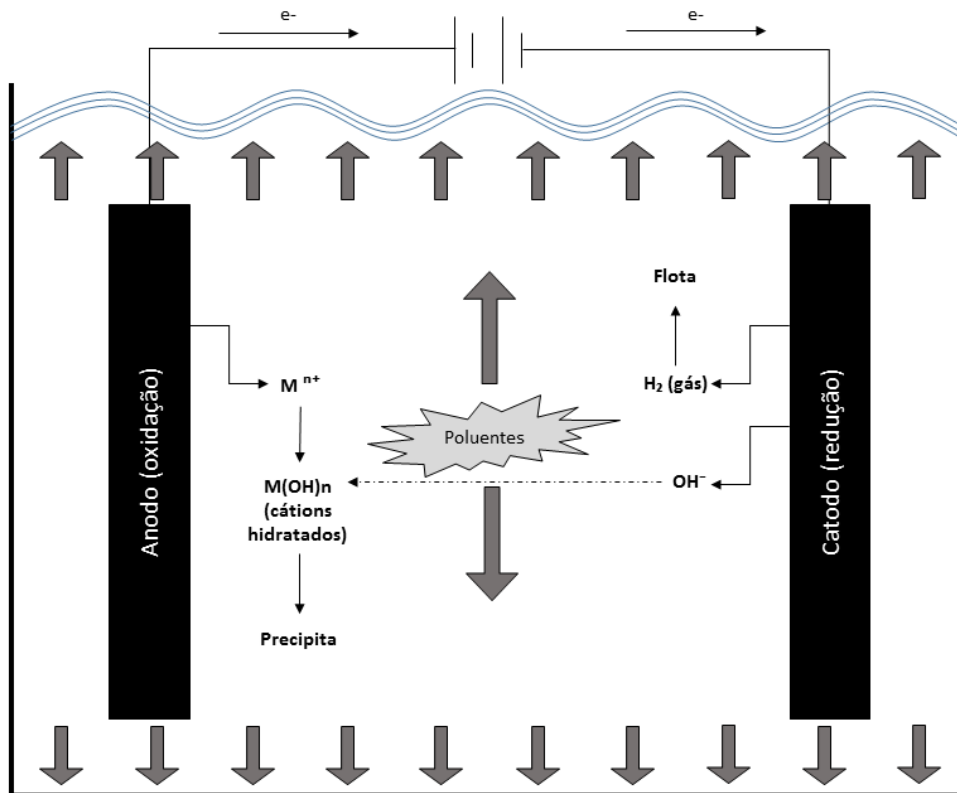
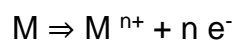


Figura 1: Esquema demonstrando uma célula eletrolítica com dois eletrodos.
Fonte: Adaptado de FORNARI, 2007; MOLLAH et al., 2004.

1.1.1 Geração do agente coagulante

O ânion é oxidado de acordo com a equação mostrada abaixo, onde “M” corresponde ao material reativo do eletrodo metálico (CRESPILO; REZENDE, 2004):



O cátion gerado é hidrolisado, formando o agente coagulante:



Os processos eletroquímicos devem obedecer às duas Leis de Faraday, de acordo com Sinoti (2004):

1. A quantidade de substância que reage, devido ao desgaste do eletrodo ou à deposição no mesmo, ao ter a passagem de uma corrente contínua, é proporcional à intensidade da corrente e à duração da eletrólise.
2. Se a corrente elétrica que passa através do eletrodo for contínua, a massa da substância que reage será proporcional ao equivalente químico da substância.

1.1.2 Eletrocoagulação e eletrofloculação

Este agente ($M(OH)_2$) é o responsável pela coagulação no sistema. Portanto, não há necessidade de adição de químicos, levando em conta que o agente coagulante é gerado no próprio sistema. De acordo com Mollah (2004), no processo de eletrocoagulação os íons são produzidos *in situ*, conforme mencionado, envolvendo três diferentes e sucessivas etapas:

1. Formação de coagulantes pela oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício;
2. Desestabilização dos contaminantes, neutralizando as cargas das partículas suspensas e quebrando as emulsões;
3. Agregação das fases desestabilizadas para a formação de flocos.

Os flocos formados podem ser removidos por decantação, filtração ou flotação (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

1.1.3 Eletroflotação

Simultaneamente a estas etapas, bolhas de hidrogênio são liberadas no catodo e flutuam levando os flocos formados (CHEN, 2002), levando os contaminantes ao topo da solução, para que possam ser removidos, promovendo a clarificação do efluente (CHEN, 2004).

A eficiência da flotação depende do tamanho das bolhas e também da mistura das mesmas com o efluente (MOLLAH, 2004). Geralmente acredita-se que pequenas bolhas promovem maiores áreas superficiais de contato, resultando em melhor eficiência de separação no processo (FORNARI, 2007). O tamanho reduzido do diâmetro das bolhas de gás facilita a adesão entre as mesmas e as partículas em suspensão no meio, aumentando a eficiência da flotação (RODRIGUES, 2007).

1.1.4 Variáveis relevantes no tratamento eletrolítico

A eficiência de um sistema de tratamento eletrolítico pode ser mensurada por meio da remoção de poluentes e da potência elétrica e/ou consumo químico (CHEN, 2004). Diversos parâmetros, como pH, tamanho das partículas, concentração dos constituintes químicos, entre outros, influenciam no processo eletrolítico (MOLLAH, 2001). As variáveis de controle do processo de tratamento eletrolítico possuem grande importância, pois aprimoram a eficiência de remoção do sistema, bem como os custos operacionais. As principais variáveis seguem detalhadas nos próximos tópicos.

1.1.4.1 Material do eletrodo

Os tipos de eletrodo mais utilizados são os de ferro e alumínio, devido a sua eficácia já comprovada, baixos custos envolvidos e pelo fato de serem materiais bastante disponíveis na natureza (RODRIGUES, 2007). O ferro é ainda mais utilizado do que o alumínio por ter um menor custo. Os eletrodos geralmente possuem uma geometria plana, como em placas ou chapas metálicas.

Quando se está interessado no processo de eletrocoagulação e eletrofloculação, são usados eletrodos reativos de alumínio e ferro. Quando utilizados no tratamento eletrolítico em conjunto com eletrodos reativos, podem diminuir a quantidade de íons metálicos doados à solução, otimizando o processo (RODRIGUES, 2007). Eletrodos inertes são mais resistentes quanto ao desgaste, não sendo dissolvidos durante o processo eletrolítico.

Segundo Silva (2002), a maioria dos eletrodos destinados ao tratamento de efluentes são constituídos do mesmo material, e isso se deve principalmente às seguintes razões:

- Eletrodos iguais, feitos de mesmo material, têm mesmo potencial de eletrodo;
- Eletrodos iguais sofrem desgastes uniformes, o que simplifica as intervenções de substituição dos mesmos.

1.1.4.2 Densidade de corrente

Ao aplicar uma diferença de potencial (ddp) entre dois eletrodos em um reator eletrolítico, reações eletroquímicas de oxidação e redução começam a ocorrer no

ânodo e no cátodo, respectivamente (GOBBI, 2013). A fonte de corrente para o sistema da eletrocoagulação determina a quantidade de íons de Al^{3+} ou Fe^{3+} liberados nos respectivos eletrodos (SOUZA, 2012), em caso de sistemas eletrolíticos que se baseiam no uso de alumínio e ferro, por exemplo.

A geração de alumínio ou ferro em solução está intimamente relacionada à carga, que, por sua vez, pode ser controlada pela corrente medida (CERQUEIRA, 2006).

A densidade de corrente que será aplicada a um sistema eletrolítico depende de uma série de fatores como o grau de remoção requerido, o tipo de efluente, o tipo de eletrodo, entre outros (RODRIGUES, 2007). Para definir o valor da densidade de corrente a ser aplicado deve-se considerar também o tempo de retenção do efluente no sistema em questão.

De acordo com Crespilho e Rezende (2004) a aplicação de uma corrente muito elevada pode significar perda de potência do sistema eletrolíticos, já que parte da corrente se dissipará em energia térmica pelo efeito Joule, além do fato de que poderá desgastar os eletrodos mais rápido de forma desnecessária, aumentando a frequência de manutenção destes.

1.1.4.3 Distância entre os eletrodos

Dentro da célula eletrolítica deve haver uma distância física entre os eletrodos de modo a prevenir a ocorrência de reações diretas, requerendo assim que haja diferentes interfaces entre os eletrodos e a solução com eletrólitos (GOODISMAN, 1987).

A distância entre os eletrodos é fundamental quando se deseja otimizar os custos de operação da unidade eletrolítica. Quanto mais distante estiverem os eletrodos entre si, maior deverá ser a ddp aplicada ao sistema, pois a solução apresenta resistividade à passagem da corrente elétrica (CRESPILHO; REZENDE, 2004). Se tal distância for muito grande, a diferença de potencial dentro da célula aumentaria demasiadamente, o que acarretaria numa perda de energia do sistema por dissipação térmica (RODRIGUES, 2007). Ou seja, quando a distância aumenta, aumenta o consumo de energia, por aumentar a resistividade do meio (DEN; HUANG, 2005). A distância também deve ser relacionada com a condutividade elétrica da

solução para a otimização dos processos, ou seja, se a condutividade for elevada, pode-se utilizar um maior espaçamento entre os eletrodos, sem que haja perda de eficiência do sistema.

1.1.4.4 Condutividade elétrica do meio

O mecanismo da eletrocoagulação é altamente dependente das características químicas do meio aquoso, em especial a condutividade elétrica (MOLLAH, 2001). A condutividade elétrica do efluente, ou seja, a capacidade de conduzir corrente elétrica é, diretamente proporcional à quantidade de íons condutores presentes no líquido. Estes íons são os responsáveis pela condução da corrente elétrica (FORNARI, 2008).

Portanto, quanto maior for a concentração desses íons no efluente, maior será sua capacidade de condução de corrente elétrica e maior será a possibilidade de ocorrência de reações entre as substâncias presentes no efluente, sendo, assim, um fator positivo que possibilita a redução do consumo de energia (CERQUEIRA, 2006).

A adição de sal NaCl é empregada, geralmente, para o aumento da condutividade elétrica do efluente a ser tratado por eletroflotação (CRESPILO; REZENDE, 2004).

1.1.4.5 pH do meio

O desempenho do processo de eletrocoagulação é altamente dependente do pH da solução (AVSAR et al.; 2007). A eficiência do tratamento depende da natureza dos poluentes, sendo que a melhor eficiência de remoção encontrada desses poluentes foi em pH próximo de 7. O consumo de energia, no entanto, aumenta em pH neutro devido à variação da condutividade. Quando esta é alta, o efeito do pH não é significativo (CHEN, 2004).

No tratamento eletrolítico, especialmente em relação à eletrocoagulação, existe uma tendência de aumento do pH do efluente durante o processo, pois na dissociação da água pela eletrólise, há a formação de hidróxidos pelos íons OH^- , enquanto que os íons H^+ tendem a formar o gás H_2 (RODRIGUES, 2007). No caso da oxidação de substâncias orgânicas, a tendência será a diminuição do pH, devido à formação de ácidos orgânicos e outras substâncias ácidas (SINOTI, 2004).

1.1.4.6 Temperatura

A temperatura apresenta efeito sobre as reações químicas, acelerando-as ou desacelerando-as, causando maior ou menor solubilidade de gases (CERQUEIRA, 2006). Alguns estudos sobre tratamento de água mostraram que a eficiência de remoção para o eletrodo de alumínio aumentou inicialmente com a temperatura até 60°C. Acima desse valor, a eficiência diminui. Porém, a condutividade elétrica aumenta com o aumento da temperatura, diminuindo a resistividade do meio e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica (FORNARI, 2008), já que a temperatura é diretamente proporcional à condutividade elétrica e inversamente proporcional ao consumo energético.

Ibrahim et al. (2001) e Daneshvar et al. (2007) descobriram que o aumento da temperatura da solução contribui para o acréscimo da eficiência da remoção causado pelo aumento do movimento dos íons produzidos, facilitando a colisão deles com o coagulante formado.

1.1.5 Vantagens do tratamento eletrolítico

Os benefícios do uso das técnicas eletroquímicas podem incluir:

- Versatilidade;
- Eficiência energética;
- Facilidade na operação;
- Seletividade (possibilidade de escolha do eletrodo específico para um determinado contaminante); e
- Custo-benefício.

Mollah et al. (2001) e Crespilho & Rezende (2004) também citam algumas vantagens que o processo geral do tratamento eletrolítico possui sobre os processos de coagulação, floculação e flotação convencionais, como:

- A não adição de produtos químicos, logo a possibilidade de geração de efluentes secundários fica reduzida;
- Baixo tempo de retenção;
- Reações rápidas e sistemas de menor tamanho;
- Produção de menor quantidade de lodo químico;

- Remoção de partículas coloidais menores, pois a menor partícula tem a grande probabilidade de se agregar devido ao campo elétrico que as mantém em movimento;
- A célula eletrolítica é eletricamente controlada, não necessitando de dispositivos adicionais, o que requer menos manutenção;
- O processo requer equipamentos simplificados e de fácil operação;
- Os flocos da eletrocoagulação tendem a ser bem maiores, contém menos água retida, são resistentes a meios ácidos e são mais estáveis;
- As bolhas de gás produzidas durante a eletrólise podem carrear os poluentes para o topo da solução onde podem ser facilmente concentrados, coletados e removidos;
- Por requerer baixa corrente, a célula eletrolítica também pode ser operada pelo fornecimento de energias menos poluentes, como a fotovoltaica (KHANDEGAR; SAROHA, 2013);
- A unidade eletroquímica pode ser acoplada como uma das sequências das etapas de processo em uma planta de tratamento de efluentes, assim reduzindo ou degradando compostos químicos que podem influenciar na eficiência do tratamento biológico (SOUZA, 2012);
- As plantas são relativamente compactas.

1.1.6 Desvantagens do tratamento eletrolítico

Algumas das desvantagens do sistema eletrolítico é que quando os eletrodos estão sofrendo corrosão ou passivação, eles podem precisar de trocas periódicas, o que resulta em altos custos, dependendo do tipo de material do eletrodo e quão rápido ocorre seu desgaste ou passivação.

Ainda, o uso da eletricidade pode ser extremamente custoso em alguns países, o que pode tornar mais difícil a implantação de uma tecnologia como esta. Nestes casos, normalmente é dada preferência a outros tipos de tratamento, que envolvem custos mais acessíveis, ainda que a eficiência do tratamento eletrolítico seja comprovada.

Certamente é necessário haver uma alta condutividade no efluente, por conta da corrente elétrica que será aplicada a este. Caso o meio apresente alta resistividade pode ser necessária a adição de sal ao sistema de modo a garantir a passagem da

corrente entre os eletrodos (CERQUEIRA, 2011; SINOTI, 2004; GIORDANO; BARBOSA FILHO; CARVALHO, 2011).

1.2 Tipos de efluente estudados

1.2.1 Efluente têxtil

Na indústria têxtil, o uso intenso de diversos corantes e o fato de produzirem grande volume de efluentes representam um risco ambiental, pela sua potencialidade poluidora tanto do solo, como da água (RODRIGUES et al., 2010).

O efluente gerado pela indústria têxtil possui uma grande carga de compostos orgânicos não biodegradáveis, por conta da presença de diversas classes de corantes, liberados no processamento, resultado da fixação incompleta destes às fibras, dificultando o seu tratamento (TONES, 2015).

No processo da indústria têxtil, muitos produtos químicos auxiliares são utilizados, tais como metais, sais, surfactantes, sulfeto e formaldeído. Todos estes produtos são utilizados para melhorar a qualidade do produto final. Conseqüentemente, diferentes corantes recalcitrantes e outros produtos auxiliares, cujas estruturas são complexas, dão a característica deste tipo de efluente (MANENTI et al., 2014). Outras características relevantes do efluente proveniente da indústria têxtil são: pH alto ou baixo, temperatura elevada e altos níveis de coloração (DANESHVAR et al., 2003).

1.2.1.1 Processo de produção do efluente têxtil

O processamento têxtil pode ser basicamente resumido em fiação, tecelagem e acabamento. A transformação da fibra crua em tecido não acabado ou em fios é essencialmente uma operação mecânica, que não gera efluentes. Estes serão gerados apenas na fase da engomagem e nos diversos setores do acabamento (BELTRAME, 2000).

A fase do beneficiamento engloba todas as etapas de transformação do tecido quanto a sua aparência, aumento da resistência, toque, capacidade de absorção de água, etc. Estas etapas são: pré-tratamento, tinturaria, estamparia e acabamento final (BELTRAME, 2000).

De acordo com Araújo e Castro (1984), na etapa do pré-tratamento são eliminadas as impurezas das fibras, para que o material tenha maior qualidade para ser preparado para as operações seguintes de tingimento, estamparia e acabamento. Durante a parte da tinturaria, é onde os materiais são coloridos uniformemente, e a estamparia onde ocorre a aplicação de um desenho colorido no material têxtil. Por fim a etapa de acabamento inclui operações que conferem aos tecidos características mais detalhadas, tais como brilho, caimento, resistência, entre outros.

1.2.1.2 Legislação aplicável

No que tange aos efluentes da indústria têxtil, os parâmetros mais relevantes seriam a cor, turbidez e pH (TONES, 2015). A Resolução CONAMA N° 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução N° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; não estabelece limites para os parâmetros cor e turbidez, porém determina que o pH deve estar entre 5 e 9 para que possa haver o lançamento do efluente.

Ao analisar a Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Os lançamentos de efluentes não devem alterar a classe de um determinado corpo hídrico. A tabela abaixo mostra os limites de cor, turbidez e pH para as diferentes classes de corpos d'água:

Tabela 1: Limites de cor verdadeira, turbidez e pH conforme Resolução CONAMA N° 357/2005.

	Cor verdadeira	Turbidez	pH
Água doce classe I	Cor natural do corpo hídrico	< 40 UNT	6,0 a 9,0
Água doce classe II	< 75mg Pt/L	< 100 UNT	6,0 a 9,0
Água doce classe III	< 75mg Pt/L	< 100 UNT	6,0 a 9,0
Água doce classe IV	< 75mg Pt/L	< 100 UNT	6,0 a 9,0

Fonte: Resolução CONAMA N° 357/2005.

Esta Resolução diz, ainda, que para as classes II e III não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais. E para a classe I os corantes provenientes de fontes antrópicas devem estar virtualmente ausentes.

Portanto, para que haja o descarte de um efluente têxtil, tais parâmetros (e outros que sejam relevantes no processo) devem ser observados de modo a não provocar alteração no corpo hídrico receptor.

1.2.1.3 Efeitos da poluição por efluente têxtil

O lançamento de compostos com cor acentuada, provenientes da indústria têxtil, além de causar impacto visual, pode desencadear em problemas de toxicidade, causando danos à vida aquática e infertilidade dos solos (KHANDEGAR; SAROHA, 2013). Estes resíduos possuem também grande quantidade de surfactantes e agentes quelantes que podem provocar a eutrofização, além de perturbações na vida aquática (AQUINO NETO et al., 2011).

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la. Sendo assim, uma preocupação ambiental importante é a remoção dos corantes das águas residuais, pois afetam não só a parte estética, mas também a transparência das águas, assim conduzindo a solubilização de gases nos corpos hídricos, causando danos à flora e à fauna (PASCHOAL; FILHO, 2005). Este tipo de efluente apresenta, além da alta coloração, um elevado valor de demanda química de oxigênio (DQO), além do fato de ser cancerígeno (AQUINO NETO et al., 2011).

Entretanto, os corantes possuem uma estrutura complexa, tornando sua remoção de águas residuais extremamente difícil, já que devem atender à legislação ambiental vigente, a qual estipula, dentre outros parâmetros, o limite máximo para a variável cor dos corpos aquáticos (CERQUEIRA; RUSSO; MARQUES, 2009).

1.2.1.4 Tratamento de efluente têxtil

A remoção da cor pode ser alcançada em processos biológicos e não biológicos de tratamento de esgotos, sendo o método mais utilizado para a remoção de resíduos, já que possui baixo custo, porém, sua cinética de degradação é lenta e sua ação é limitada a compostos de baixa toxicidade e a concentrações baixas de contaminantes (ALINSAFI, 2006).

De acordo com Paschoal e Filho (2005), os processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica, fotoquímica, biodegradação e

floculação, são as principais técnicas de tratamento, empregadas para a descoloração de rejeitos industriais.

Também é notável que a aplicação de processos oxidativos avançados (POA), que são caracterizados pela produção de espécies altamente oxidantes, possuem a capacidade de degradar compostos orgânicos complexos que são dificilmente removidos pelos métodos tradicionais (MANENTI et al., 2014).

O desenvolvimento de novas tecnologias mais eficazes e menos poluentes para o tratamento de efluentes é indispensável para viabilizar seu lançamento em corpos hídricos, atendendo aos padrões exigidos pela legislação, no que se refere ao limite máximo de cada substância existente (TONES, 2015).

1.2.2 Efluente oleoso

Efluente oleoso ou água oleosa são termos genéricos utilizados para descrever todas as águas que apresentam quantidades variáveis de óleos e graxas (O&G), além de outros materiais em suspensão, incluindo areia, terra, argila e outros, bem como uma gama de substâncias coloidais e dissolvidas, como detergentes, sais, íons metálicos, etc. (CERQUEIRA, 2011).

De acordo com a Lei Federal nº 9.966 de 28 de abril de 2000, óleo pode ser definido como qualquer forma de hidrocarboneto (petróleo e seus derivados), incluindo óleo cru, óleo combustível, borra, resíduos de petróleo e produtos refinados. Cerqueira e Marques (2012) adicionam que o óleo tem característica de ser menos denso que a água, ter um odor característico e coloração variando entre o marrom e o preto.

Emulsões de óleo em água são comumente chamadas de óleos solúveis em água (apesar de estes não serem, de fato, solúveis em água), que são obtidas pela mistura de um óleo mineral e uma fase aquosa contendo um emulsificante (BENITO, 2010). Uma emulsão é definida como uma mistura de dois líquidos imiscíveis ou parcialmente miscíveis em que uma das fases encontra-se dispersa na outra sob a forma de gotas de tamanho microscópico ou coloidal (SHAW, 1975).

De acordo com Oliveira (1995), o óleo em água pode apresentar-se em quatro formas distintas: livre, disperso, emulsificado e solubilizado. O óleo livre representa as dispersões grosseiras, constituídas por gotas com diâmetro superior a 150 µm. Esse tipo de dispersão é facilmente removido por meio de operações convencionais de

separação gravitacional. O óleo disperso, normalmente com diâmetros de gota entre 50 e 150 μm , também pode ser removido por operações gravitacionais. Entretanto, a eficiência de separação neste caso dependerá essencialmente da distribuição dos diâmetros das gotas e da presença ou não de agentes estabilizantes. No caso do óleo emulsificado, o diâmetro das gotas encontra-se abaixo de 50 μm , o que dificulta a sua separação por meios gravitacionais e, geralmente, requer a utilização de processos mais sofisticados para seu tratamento (GOBBI, 2013).

Uma emulsão estável é aquela que possui a capacidade de manter sua homogeneidade por um tempo considerável, sem que haja separação de fases, sendo normalmente necessária a adição de um emulsificante para obtenção desta estabilidade (GOBBI, 2013).

1.2.2.1 Processo de produção do efluente oleoso

A exploração e produção de óleo é uma das atividades industriais mais importantes da sociedade moderna e seus derivados possuem muitas aplicações industriais (CERQUEIRA; MARQUES, 2012).

Na indústria do petróleo, a água oleosa ocorre nos estágios de produção, transporte e refino, bem como durante a utilização de seus derivados. Entretanto, é a fase de produção a maior fonte poluidora (OLIVEIRA, 1995). Os efluentes oleosos são produzidos em refinarias, indústrias petroquímicas e unidades de produção de lubrificantes e estão, geralmente, na forma de emulsões (POULOPOULOS, 2005).

A formação destas emulsões está provavelmente relacionada à turbulência do escoamento até a superfície, através do cisalhamento imposto por bombas, válvulas, restrições hidráulicas e outros equipamentos do processo de produção do petróleo (GOBBI, 2013). As partículas sólidas finamente divididas oriundas da própria formação rochosa, assim como os produtos químicos residuais utilizados na desestabilização de emulsões água/óleo, e as moléculas surfactantes naturais do petróleo podem aumentar a proporção e a estabilidade do óleo emulsificado nas águas oleosas (OLIVEIRA, 1995).

1.2.2.2 Legislação aplicável

A IMO (Organização Marítima Internacional, traduzido do inglês) proibiu o descarte de água contaminada com óleo, seja ela qual for, de acordo com a regulação da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (mais conhecida como MARPOL 73/78). A Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL) é uma das mais importantes do cenário ambiental internacional, pois objetiva estabelecer regras para que a poluição do meio ambiente por óleo ou outras substâncias nocivas provenientes de navios seja minimizada. Esta Convenção foi criada em 1973 e posteriormente teve uma emenda pelo Protocolo de 1978, passando a ser conhecida como MARPOL 73/78.

Todos os navios cujas bandeiras são de países signatários da Convenção MARPOL estão sujeitos aos seus requisitos, não importando onde eles estejam navegando.

Foi estabelecido um limite máximo de descarte de óleos e graxas de 15 mg/L (ou também 15 ppm) quando os navios estiverem a menos de 12 milhas náuticas do continente (KÖRBAHTI; ARTUT, 2013).

Especificamente para descarte contínuo em unidades marítimas de petróleo e gás natural, aplica-se a Resolução CONAMA 393/2007, que estabelece a média aritmética simples mensal do teor de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L.

De acordo com a Resolução CONAMA 393/2007 os efluentes somente podem ser lançados diretamente no corpo receptor em casos obedecendo ao limite de óleos e graxas de 20 mg/L para óleos minerais e 50 mg/L para óleos de origem vegetal ou gordura animal. Esta Resolução é menos proibitiva do que o exigido pela MARPOL 73/78, portanto deve-se obedecer sempre à legislação mais restritiva.

1.2.2.3 Efeitos da poluição por efluente oleoso

A água oleosa é normalmente gerada em alto mar, em unidades marítimas offshore, e estas muitas vezes descartam seus resíduos (água de porão, água de lastro, borra oleosa, etc.) aleatoriamente no oceano, causando a poluição (ULUCAN; KURT, 2015).

Os óleos e graxas que existem na mistura oleosa, que é definida pela Lei Federal nº 9.966 de 2000 como uma mistura de água e óleo, em qualquer proporção, quando descartados indiscriminadamente podem afetar muitas espécies marinhas. O plâncton faz parte do nível basal da cadeia alimentar dos mares e apresenta grande vulnerabilidade, tanto de forma direta quanto indireta. De forma indireta por meio da toxicidade do líquido descartado, que pode provocar a mortandade de indivíduos. E indiretamente, se tratando de misturas oleosas, estas tendem a permanecer na superfície, local onde se encontram os plânctons e por onde a luz solar incide na água, propiciando a ocorrência de fotossíntese. Tal fragilidade do plâncton em relação aos O&G já foi provada experimentalmente pelos pesquisadores Olsen et al. em 2013. Quando o plâncton é prejudicado pelos O&G, os efeitos adversos vão ser visíveis em outros níveis da teia alimentar, afetando diversas espécies marinhas (ULUCAN; KURT, 2015).

Adicionalmente, favorece a ocorrência de incêndios quando as concentrações de materiais combustíveis derramados são excessivas (DA ROSA, 2003).

1.2.2.4 Tratamento de efluente oleoso

Para que sejam atendidos os padrões ambientais de descarte e/ou as características necessárias para o reuso da água, o tratamento de uma água oleosa pode se tornar uma operação complexa e dependente de processos altamente eficientes (CERQUEIRA, 2011).

Segundo Pouloupoulos (2005) diversos processos são empregados para o tratamento de água oleosa, variando de métodos convencionais, como floculação seguida de flotação por ar dissolvido, até técnicas avançadas como ultra ou microfiltração combinada com tratamento biológico. Quando o óleo está solubilizado na água é extremamente difícil a sua remoção, requerendo o uso de processos químicos especiais, tais como extração com solventes, emprego do tratamento biológico, precipitação, troca iônica, filtração por membrana, adsorção em zeólitos sintéticos, adsorção em carvão ativado e *stripping* (borbulhamento com gás).

A eletrocoagulação endereça de forma direta três fatores principais que levam à estabilidade dos sólidos suspensos e óleos emulsionados: carga iônica, tamanho das gotículas ou partículas e densidade destas (ASSELIN et al., 2008).

1.2.3 Lixiviado de aterro

O crescimento da população em áreas urbanas e a intensificação do consumo de produtos industrializados tem aumentado a geração de resíduos sólidos, os quais são, em sua grande maioria, destinados em aterros sanitários. Segundo dados da ABRELPE (2015), o total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil no ano de 2015, foi de aproximadamente 79,9 milhões de toneladas. Em relação à destinação final destes resíduos, 58,7% dos resíduos coletados foram destinados em aterros sanitários; o restante, aproximadamente 30 milhões de toneladas, tiveram destinação inadequada em aterros controlados e lixões.

Os aterros sanitários são reconhecidos como uma das técnicas mais baratas de disposição de resíduos sólidos municipais em larga quantidade (VLYSSIDES, 2001), por isso esta técnica vem sendo largamente utilizada em todo o mundo. A expansão do uso dos aterros para a disposição de resíduos vem causando um aumento na produção de lixiviado (também chamado de chorume) em muitos lugares pelo mundo afora. O lixiviado fica retido na manta protetora do aterro, sendo acumulado com o tempo até ser coletado.

O lixiviado de aterro sanitário é um efluente complexo que é gerado quando o teor de umidade ou a água contida nos sólidos aterrados são maiores do que a sua capacidade de campo (WANG et al., 2003). Lixiviados são definidos como um efluente aquoso gerado como uma consequência da percolação da água da chuva através do resíduo sólido, dos processos bioquímicos nas células de resíduo e da água inerente ao próprio resíduo (RICORDEL; DJELAL, 2014).

1.2.3.1 Processo de produção do lixiviado

A quantidade de lixiviado a ser formado e suas características dependem fortemente do clima do local onde o aterro está instalado, bem como do hábito dos residentes locais (TSAI et al., 1997). Quanto mais úmido for o local, maior será o risco potencial de contaminação das águas subterrâneas e superficiais. Se o resíduo está sofrendo alterações na sua composição, por conta, por exemplo, de intemperismo ou biodegradação, então a qualidade do lixiviado também sofrerá alterações com o tempo (SALEM et al., 2008). Um aterro sanitário cuja operação foi iniciada há pouco tempo, geralmente apresentará o lixiviado de cor preta e contendo grande quantidade de MO biodegradável, onde uma fermentação anaeróbica rápida acontece, resultando

em ácidos graxos voláteis (RENOU et al., 2008). Deste modo, os processos de tratamento biológico normalmente são empregados para lixiviados imaturos quando a taxa DBO/DQO (demanda bioquímica de oxigênio/demanda química de oxigênio) é alta, para remover o material orgânico biodegradável.

O conteúdo orgânico dos lixiviados de aterros sanitários pode variar extensamente de acordo com os diferentes parâmetros que influenciam de um local para outro, porém a matéria orgânica é sempre ubíqua (LABANOWSKI et al., 2010).

1.2.3.2 Legislação aplicável

Não existe no Brasil uma legislação específica que regule os descartes de lixiviado tratado nos corpos hídricos. Deve ser respeitado o texto da Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

1.2.3.3 Efeitos da poluição por lixiviado

Lixiviados podem conter grandes quantidades de matéria orgânica (MO), amônia, nitrogênio, metais pesados, organoclorado e sais inorgânicos. (OLLER; MALATO; SANCHEZ-PEREZ, 2011). O lixiviado consiste em diferentes compostos orgânicos e inorgânicos que podem estar tanto suspensos quanto dissolvidos no meio (DJELAL; LELIEVRE; RICORDEL, 2014).

Análises de toxicidade usando vários organismos-teste confirmaram os efeitos potenciais que os lixiviados podem causar (MARTTINEN et al., 2002) e que eles causam impactos ambientais negativos significativos caso suas emissões não sejam controladas (DJELAL; LELIEVRE; RICORDEL, 2014).

1.2.3.4 Tratamento de lixiviado

Devido à extensa variação das características dos lixiviados, ainda não há uma técnica que possa ser considerada como um tratamento ideal. O desenho de uma estratégia generalista para o tratamento de lixiviado fica impedido pelo fato de haver uma grande diversidade na composição deste efluente, o que resulta que técnicas bem sucedidas para um determinado lugar não necessariamente serão passíveis de aplicação em outro local (LEMA; MENDEZ; BLASQUEZ, 1988).

Este tipo de efluente é um dos mais complicados a ser tratado, já que contém sempre altos níveis de poluentes que podem causar efeitos adversos ao meio ambiente (CHIANG; CHANG; WEN, 1994), principalmente às águas subterrâneas e superficiais que se localizam próximas ao local do aterro (SALEM et al., 2008).

A tecnologia de tratamento de chorume mais difundida no Brasil é a lagoa de estabilização (DE LIMA, 2010), onde a matéria orgânica em forma de suspensão fica no fundo da lagoa, formando um lodo que vai aos poucos sendo estabilizado. Processos com lodos ativados, filtros lentos e reatores anaeróbios de leito fixo também são bastante utilizados para tratar lixiviado.

Outra opção de tratamento seria a degradação biológica, que é provavelmente o processo mais utilizado no mundo para tentar tratar lixiviados. No entanto, este processo se mostrou ineficiente no que tange aos lixiviados que possuam idade média para avançada (TSAI et al., 1997).

A maior fração do lixiviado antigo ou do lixiviado novo que foi tratado biologicamente é uma elevada porcentagem de moléculas orgânicas recalcitrantes (WANG et al., 2003). Por este motivo, ou seja, a maior presença destes materiais, o tratamento biológico acaba tendendo a ter uma efetividade bastante limitada.

Os processos físico-químicos podem demonstrar alta eficiência na remoção de matéria orgânica durante o tratamento do lixiviado, porém os sistemas mais comuns usados mundialmente não têm mostrado um bom resultado na taxa de remoção deste material.

Um dos métodos promissores para o tratamento de efluentes considerados difíceis de tratar, tal como o lixiviado, é o processo eletrolítico. Estes processos são caracterizados por facilidade na operação, produção de lodo reduzida e não há necessidade de manuseio de químicos (EMAMJOMEH; SIVAKUMAR, 2009). Em experimentos com escala de bancada, a eletrólise se mostrou capaz de oxidar a maioria da carga orgânica do lixiviado e também remover cor (CHIANG et al., 1995; TSAI et al., 1997; COSSU et al., 1998).

1.3 Revisão sistemática

A revisão sistemática (RS) é um método imparcial e abrangente de síntese de evidências que avalia criticamente e interpreta todas as pesquisas relevantes disponíveis para uma questão particular (BRASIL, 2012). A RS substitui os formatos tradicionais de revisão como forma de resumir as evidências científicas sobre um tema, trazendo para o trabalho de revisão o mesmo rigor esperado em pesquisas experimentais sobre as quais ela se baseia (HEMINGWAY; BRERETON, 2009). A RS consiste em uma investigação focada em uma pergunta bem definida, que tem por objetivo identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as evidências disponíveis e relevantes sobre um determinado tema (GALVÃO; PEREIRA, 2014).

As revisões sistemáticas são consideradas estudos secundários, isso significa que utilizam fontes primárias – artigos científicos que apresentam resultados de experimentos e pesquisas realizadas em primeira mão – como a fonte de seus dados (GALVÃO; PEREIRA, 2014). Portanto, a qualidade das revisões sistemáticas também será dependente da qualidade dos estudos primários.

O objetivo maior das revisões sistemáticas é ser passível de reprodução, utilizando uma metodologia rigorosa e confiável, que foi pensada e descrita antes do início da pesquisa. Assim, as revisões sistemáticas buscam elevar a confiabilidade da síntese, sem comprometer o desenvolvimento do conhecimento científico. O processo de desenvolvimento desse tipo de revisão inclui caracterizar cada estudo selecionado, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos, sintetizar as descobertas dos estudos individuais de forma não viciada, comparar as análises estatísticas expostas por cada um e concluir sobre o que a literatura informa em relação a uma determinada intervenção (SAMPAIO; MANCINI, 2007), apontando ainda problemas e/ou questões que necessitam de novos estudos.

1.3.1 Importância das revisões sistemáticas

A relevância das revisões sistemáticas está no fato de poder reunir, de forma clara e explícita, estudos sobre um determinado assunto, permitindo a incorporação de um espectro maior de resultados relevantes, em vez de limitar as conclusões à leitura de somente alguns artigos (SAMPAIO; MANCINI, 2007). Dentre outros pontos importantes das revisões sistemáticas, destacam-se, por exemplo:

- Permite solucionar controvérsias em estudos com estimativas divergentes,
- Permite uma análise mais consistente de subgrupos;
- Fornece dados para melhor estimar o tamanho de amostra;
- Responde perguntas não abordadas pelos estudos individualmente (BRASIL, 2012);
- Identificam a necessidade de estudos primários adicionais, pois são um método eficiente para verificar em que área a pesquisa está em falta (PETTIGREW, 2001).

A RS como método encontra-se em pleno desenvolvimento, mais recentemente em outras áreas além da Medicina. Até então a maioria das revisões sistemáticas é voltada para avaliar a eficácia de tratamentos clínicos (no campo da Medicina) e este método, portanto, pode a princípio, ser adequado para avaliar a eficácia de tratamentos de efluentes, bem como outras áreas de conhecimento.

Os estudos de observação podem apresentar limitações e tendências que devem ser levados em conta quando se está avaliando os resultados de uma revisão sistemática. Os principais percalços que podem afetar as RS são o viés de publicação, a limitação metodológica das pesquisas primárias, além de dificuldades em combinar estudos que podem ter diferenças significativas nas populações, intervenções, comparadores e definição dos resultados (BRASIL, 2012).

Estudos de revisão literária que não apresentam um protocolo pré-estabelecido acabam por reduzir a confiabilidade das sínteses oferecidas e comprometer o desenvolvimento do conhecimento científico. Neste contexto, a revisão sistemática entra como forma de sintetizar os estudos já realizados acerca de um tema, mantendo a criticidade e estando livre das tendências comuns em revisões literárias realizadas de forma não-sistemática.

1.3.2 Etapas da revisão sistemática

A Figura 2 apresenta um resumo do passo-a-passo que deve ser seguido em revisões sistemáticas, de modo a garantir a não ocorrência de viés e possibilitar a reprodutibilidade de estudos semelhantes no futuro.

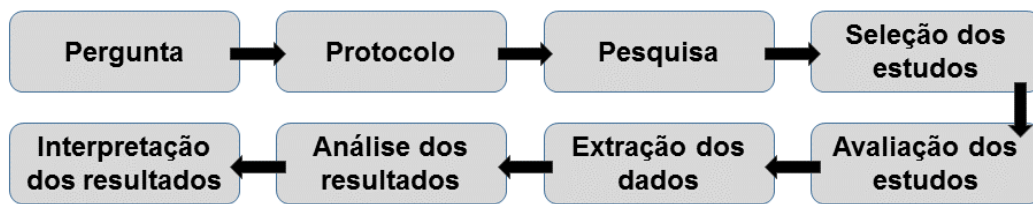


Figura 2: Passo-a-passo da revisão sistemática.
Fonte: A autora, 2017.

1.3.2.1 Pergunta a ser respondida

É a etapa fundamental da revisão sistemática, já que após definição da pergunta são definidos os objetivos e toda a estrutura da revisão, o que vai determinar sua futura aplicabilidade (DUBUGRAS; PÉREZ-GUTIÉRREZ, 2009).

1.3.2.2 Definição do método de busca

Um protocolo de revisão sistemática descreve de forma clara e transparente todo o processo que envolve a realização da RS, a lógica, a hipótese e os métodos planejados da revisão, bem como define as análises que serão realizadas. Ele deve ser preparado antes da revisão ser iniciada e usado como um guia para realizar a revisão. Isso é necessário, pois minimiza o risco de erros sistemáticos ou vieses, introduzidos por decisões que são influenciadas pelos achados (BRASIL, 2012).

1.3.2.3 Identificação dos artigos

A etapa de identificar os estudos se inicia com a definição das palavras-chave e dos locais onde as publicações serão pesquisadas (SAMPAIO; MANCINI, 2007). A validade da revisão sistemática está diretamente legada à reprodutibilidade do protocolo (DE PAULA, 2014).

1.3.2.4 Seleção dos estudos

Durante a etapa da seleção dos estudos, são selecionados os estudos relevantes para que seja respondida adequadamente a pergunta da revisão sistemática. Esta seleção é realizada pelos critérios de inclusão e exclusão, que são definidos no protocolo de estudo (SOUSA; RIBEIRO, 2009).

1.3.2.5 Extração dos dados

Consideram-se dados de uma RS quaisquer informações sobre o estudo, incluindo detalhes de métodos e outros pontos relevantes verificados (BRASIL, 2012). Tais informações permitirão determinar a possibilidade de comparar ou não os estudos selecionados (DE PAULA, 2014).

1.3.2.6 Síntese dos dados

Nesta etapa são gerados os resultados da revisão sistemática. Os estudos podem ser apresentados em um quadro que destaca as principais características, como: autores, ano de publicação, desenho metodológico, grupos de comparação, caracterização do protocolo, variáveis dependentes e principais resultados (SAMPAIO; MANCINI, 2007; DUBUGRAS; PÉREZ-GUTIÉRREZ, 2009).

Tabelar os dados permite a comparabilidade das variáveis entre os estudos. Além disso, auxiliam na interpretação crítica e validação da aplicabilidade dos resultados (BRASIL, 2012).

1.3.2.7 Interpretação dos dados e discussão dos resultados

A fase de interpretação dos dados e discussão dos resultados é onde se determina a força da evidência encontrada, bem como a aplicabilidade e relevância dos resultados obtidos (DE PAULA, 2014).

2. METODOLOGIA

O protocolo deste estudo segue nos próximos itens, que descrevem todo o processo de busca, seleção, avaliação e síntese das publicações encontradas.

2.1 Pergunta a ser respondida

No presente estudo foi realizada uma análise da eficiência de tratamento de efluentes pelo método da eletrocoagulação. A partir deste trabalho é possível analisar criticamente o desempenho deste método no que tange à redução de carga poluente de três tipos de efluente investigados. Neste caso o parâmetro para comparação da eficiência do tratamento foi a DQO, tendo em vista que é um parâmetro proxy relevante para a avaliação da eficiência do tratamento nos três tipos de efluentes. Assim, é possível realizar uma síntese dos resultados obtidos a partir dos diferentes artigos científicos e da matriz comparativa e verificar se o desempenho foi satisfatório, justificando o uso desta técnica em lugar de técnicas convencionais (métodos físico-químicos e/ou biológico).

2.2 Método de busca

O Google Acadêmico foi escolhido como ferramenta de busca, pois permite integrar várias fontes na pesquisa em um só lugar (BRASIL, 2012). Também foi realizada busca manual, por meio da verificação da lista de “Referências Bibliográficas” de estudos incluídos na revisão, o que pode ser muito útil na identificação de artigos elegíveis e que podem não ter sido recuperados pela estratégia de busca (BRASIL, 2012).

A informação foi buscada durante o período de abril de 2016 a junho de 2017 por um examinador, que salvou todas as publicações que se encaixavam nos critérios pré-estabelecidos e lançou os dados em uma planilha do Excel, gerando uma matriz comparativa.

2.3 Seleção dos termos para a busca

Foram utilizados os seguintes termos na busca: *lixiviado, água oleosa, efluente têxtil*, e em conjunto com cada um destes os termos *eletrocoagulação, eletrofloculação, eletroflotação e tratamento eletrolítico*. Os termos foram procurados somente em inglês, conforme abaixo:

- Efluente têxtil & eletrocoagulação;
(*“textile wastewater”; “dye wastewater”; “electrocoagulation”*);
- Efluente têxtil & eletrofloculação;
(*“textile wastewater”; “dye wastewater”; “electroflocculation”*);
- Efluente têxtil & eletroflotação;
(*“textile wastewater”; “dye wastewater”; “electroflotation”*);
- Efluente têxtil & tratamento eletrolítico;
(*“textile wastewater”; “dye wastewater”; “electrolytic treatment”*);
- Água oleosa & eletrocoagulação;
(*“oily wastewater”; “electrocoagulation”*);
- Água oleosa & eletrofloculação;
(*“oily wastewater”; “electroflocculation”*);
- Água oleosa & eletroflotação;
(*“oily wastewater”; “electroflotation”*);
- Água oleosa & tratamento eletrolítico;
(*“oily wastewater”; “electrolytic treatment”*);
- Lixiviado & eletrocoagulação;
(*“leachate”; “electrocoagulation”*);
- Lixiviado & eletrofloculação;
(*“leachate”; “electroflocculation”*);
- Lixiviado & eletroflotação;
(*“leachate”; “electroflotation”*);
- Lixiviado & tratamento eletrolítico;
(*“leachate”; “electrolytic treatment”*).

2.4 Avaliação da elegibilidade dos estudos

Os artigos cujos títulos apresentavam estas palavras combinadas, por exemplo, tratamento eletrolítico e lixiviado, foram selecionados para uma análise posterior. Os resumos foram lidos de modo a verificar a adequação do trabalho à revisão sistemática e, em seguida, as publicações que se encaixavam dentro dos critérios de inclusão ou que não se encaixavam nos critérios de exclusão foram selecionados e salvos, para uma análise mais detalhada no texto completo.

Quando algum dos artigos científicos não pôde ser incluído ou excluído com segurança, este foi separado para que o texto inteiro pudesse ser lido e analisado conforme os critérios pré-estabelecidos.

2.5 Critérios de inclusão e exclusão

2.5.1 Inclusão

Na presente revisão foram considerados os seguintes critérios de inclusão:

- Estudos cujo título englobavam as combinações de palavras mencionadas acima;
- Estudos com dados primários (experimentais) originais em Inglês;
- Artigos publicados entre 2005 e 2016;
- Artigos publicados em periódicos cujo fator de impacto (JCR) do ano de 2016 foi superior a 1.000. Desta forma, buscou-se a garantir a qualidade da informação triada.

2.5.1 Exclusão

Foram excluídos os estudos que se enquadravam dentro dos critérios de exclusão mencionados abaixo:

- Artigos que não foram localizados na íntegra;
- Artigos publicados em outros idiomas, que não o Inglês;
- Artigos que não obedeceram aos critérios de inclusão;
- Monografias, dissertações e/ou teses;
- Artigos de congressos, eventos e seminários;
- Estudos com combinação de tecnologias, ou seja, onde foram aplicadas diferentes técnicas de tratamento junto ou após o tratamento eletrolítico. Esta exclusão pode ser justificada, pois o objetivo principal do presente trabalho foi verificar apenas o desempenho dos processos eletrolíticos no tratamento de diferentes tipos de efluente, logo, técnicas combinadas poderiam levar a um resultado superior, conferido pelas outras técnicas associadas;
- Estudos que não realizaram a análise de DQO, tendo em vista que este foi o parâmetro selecionado, tendo em vista sua importância como

indicador proxy de matrizes aquosas contaminadas por compostos orgânicos recalcitrantes.

2.6 Matriz comparativa

Os dados dos artigos selecionados foram lançados em uma matriz comparativa, para que fossem realizadas as análises de correlação. Para analisar uma combinação entre as variáveis, a densidade de corrente e a distância entre os eletrodos foram divididas em faixas para que, dentro destas faixas, o tempo de retenção do efluente fosse relacionado à eficiência de redução da DQO. Quando os valores de tempo encontravam-se repetidos dentro de uma mesma faixa, e com resultados de redução de DQO diferentes, foi feita uma média simples destes resultados de redução de DQO para inclusão na análise de correlação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Base de dados

De acordo com as combinações de termos pesquisados no *Google Scholar*, foi encontrado um total de 10.987 publicações, conforme demonstrado em detalhes na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2: Número de artigos encontrados por termos pesquisados.

Termos pesquisados	Número de artigos
Efluente têxtil & eletrocoagulação	4.430
Efluente têxtil & eletrofloculação	486
Efluente têxtil & eletroflotação	1.204
Efluente têxtil & tratamento eletrolítico	326
Água oleosa & eletrocoagulação	799
Água oleosa & eletrofloculação	96
Água oleosa & eletroflotação	316
Água oleosa & tratamento eletrolítico	59
Lixiviado & eletrocoagulação	2.420
Lixiviado & eletrofloculação	155
Lixiviado & eletroflotação	485
Lixiviado & tratamento eletrolítico	211
Total	10.987

3.2 Seleção dos estudos

Em seguida foi realizado um *checklist*, adaptado da metodologia de Pereira (2006), para verificação da adequação de cada artigo, baseando-se pelas informações contidas no título e no resumo. Este passo foi realizado, pois mesmo com o uso dos descritores, é comum obter estudos irrelevantes à pesquisa. Portanto é necessário avaliar a relevância de cada estudo para refinar a seleção inicial e determinar quais deles serão lidos na íntegra (PEREIRA, 2006).

As seguintes questões, demonstradas na Tabela 3, foram respondidas para verificação da adequação dos artigos na primeira triagem:

Tabela 3: Checklist de relevância dos estudos triados.

	Questões	Sim	Não
1	O estudo está de acordo com o tema investigado?		
2	O estudo foi publicado no idioma estipulado no projeto?		
3	O estudo foi publicado em revista com FI maior do que 1.0 (2016)?		
4	O estudo está incluído para a próxima etapa?		

Fonte: Adaptado de PEREIRA, 2006.

Nos casos em que a resposta foi positiva para todos os questionamentos, o estudo foi selecionado para que fosse lido integralmente.

Após esta etapa foram excluídos 10.715 artigos, o que representa 97,5% do total. Além das duplicatas, foram excluídos os artigos que não estavam de acordo com o tema investigado. Assim, 272 artigos foram selecionados para a avaliação do texto completo.

3.3 Resultados gerais da seleção de estudos incluídos na RS

Após a leitura completa das publicações selecionadas na triagem inicial, outras 203 foram excluídas (74,6%) por não apresentarem adequação ao tema desta revisão. Muitos artigos foram excluídos por conta de as análises realizadas basearem-se em tratamentos combinados. Ou seja, o tratamento eletrolítico foi aplicado, porém em conjunto, antes ou após um outro tipo de tratamento. Tais estudos foram excluídos pelo fato de que não permitiriam uma análise da eficiência do tratamento eletrolítico em si.

No final, ficaram 69 artigos para as análises da revisão sistemática. Segundo Bouza et al. (2005), em estudos de revisão sistemática é comum que ocorra um número grande de exclusões, fato que foi possível ser observado nesta revisão.

Segue Figura 3 contendo o fluxograma que indica a quantidade de artigos encontrados inicialmente e quantos foram restando durante as etapas do processo de triagem e seleção.

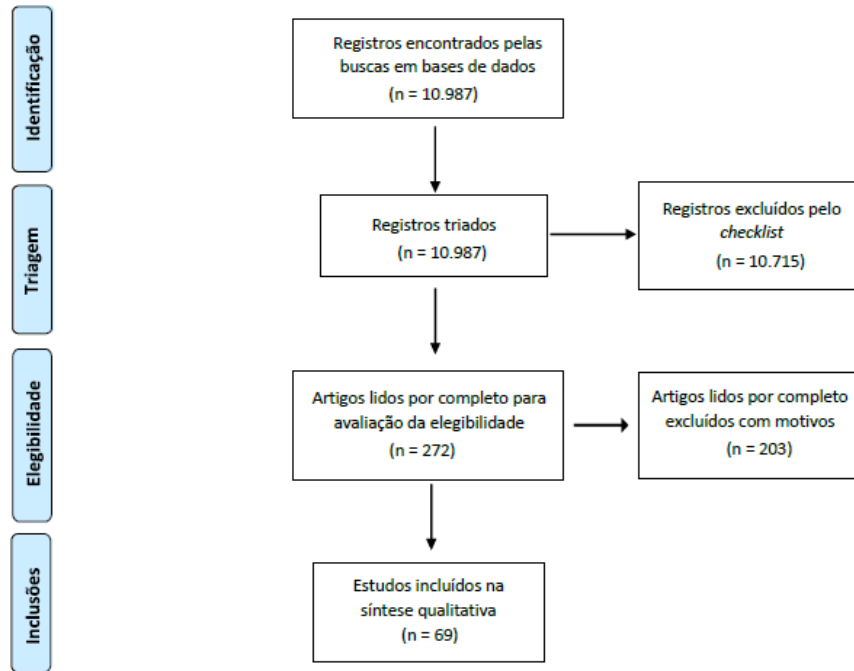


Figura 3: Fluxograma do processo de identificação, triagem e seleção dos artigos dos três tipos de efluentes. Fonte: Adaptado de MOHER, 2009.

Também foram elaborados os fluxogramas considerando os tipos de efluente individualmente. A Figura 4 mostra o fluxograma dos artigos sobre efluente têxtil.

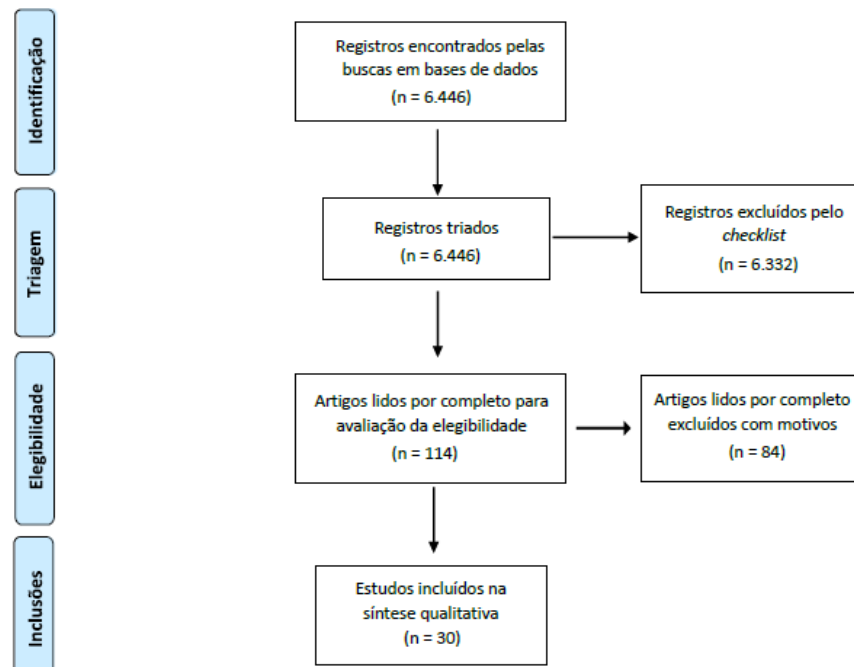


Figura 4: Fluxograma do processo de identificação, triagem e seleção dos artigos sobre efluente têxtil. Fonte: Adaptado de MOHER, 2009.

A Figura 5 mostra o fluxograma das publicações sobre tratamento eletrolítico de efluente oleoso.

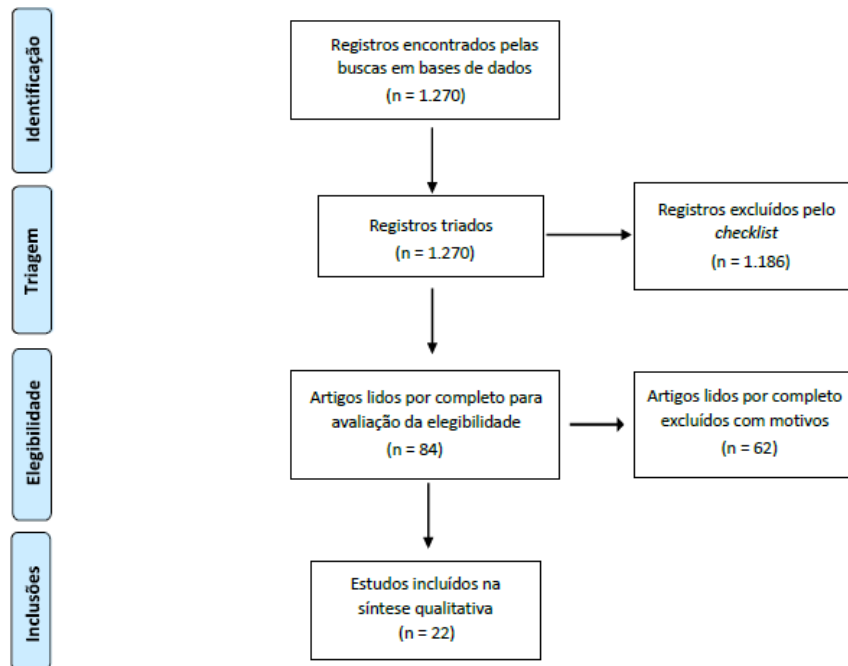


Figura 5: Fluxograma do processo de identificação, triagem e seleção dos artigos sobre efluente oleoso. Fonte: Adaptado de MOHER, 2009.

Por fim, a Figura 6 contém o fluxograma dos estudos sobre o tratamento de lixiviado.

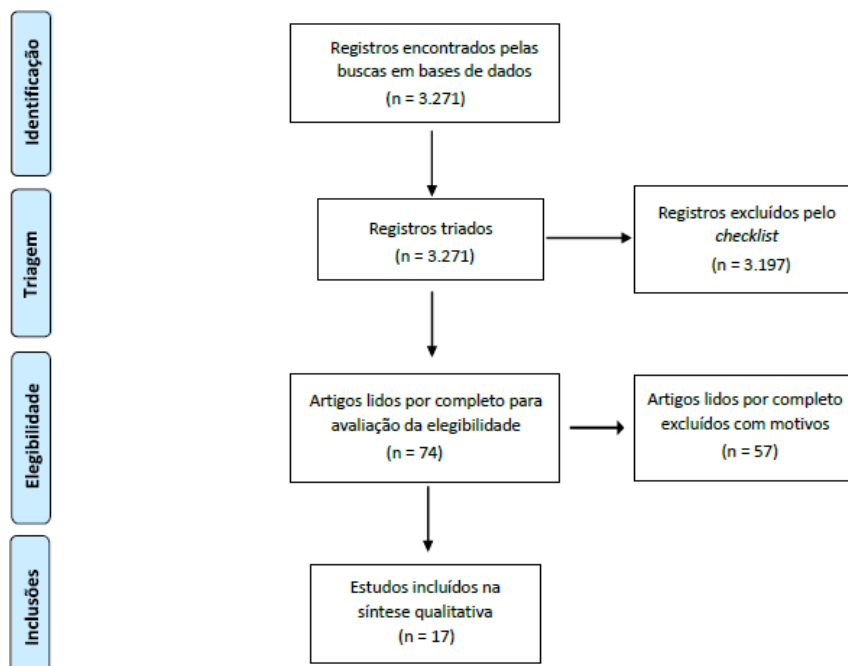


Figura 6: Fluxograma do processo de identificação, triagem e seleção dos artigos sobre lixiviado de aterro. Fonte: Adaptado de MOHER, 2009.

O total dos 69 artigos selecionados tiveram seus dados inseridos em uma matriz comparativa (Apêndice A), para que as variáveis do tratamento (material do eletrodo, densidade de corrente, distância entre os eletrodos e tempo de retenção do efluente no sistema eletrolítico) pudessem ser tabeladas (Apêndice B), analisadas e comparadas com o resultado de redução de DQO obtido.

3.3.1 Publicações por ano

Dentre os anos de 2005 e 2016 houve 69 publicações selecionadas, sendo a maioria delas entre os anos de 2007 a 2009, representando 38% das publicações. O ano de 2016 também mostrou um aumento nos estudos em relação aos anos imediatamente anteriores, o que pode demonstrar uma tendência de que o tratamento eletrolítico está em destaque ultimamente. A tabela abaixo (Tabela 4) mostra o número de artigos publicados em cada ano e a porcentagem do total que representam:

Tabela 4: Número de artigos encontrados por ano de publicação.

Ano de publicação	Nº de artigos	Porcentagem
2005	3	4%
2006	2	3%
2007	7	10%
2008	10	14%
2009	10	14%
2010	6	9%
2011	4	6%
2012	4	6%
2013	6	9%
2014	4	6%
2015	6	9%
2016	7	10%

3.3.2 Publicações por país

Foram levantados os países de publicação dos artigos selecionados e os resultados encontram-se na Tabela 5:

Tabela 5: Número de artigos encontrados por país de publicação

País de publicação	Nº de artigos	Porcentagem
Argélia	7	10%
Brasil	2	3%
Canadá	1	1%
China	2	3%
Colômbia	1	1%
Coréia do Sul	1	1%
Egito	1	1%
Emirados Árabes	1	1%
Espanha	3	4%
Finlândia	1	1%
França	6	9%
Índia	8	12%
Indonésia	1	1%
Irã	8	12%
Marrocos	3	4%
Tailândia	3	4%
Turquia	20	29%

Dos 17 países onde houve publicações selecionadas, a Turquia foi o país com mais estudos, representando 29% do total com 20 artigos, enquanto os países seguintes que tiveram mais estudos foram Índia e Irã com 12% das publicações cada. Em seguida, Argélia alcançou 10% das publicações. É possível notar uma hegemonia da Ásia na publicação de artigos sobre tratamento eletrolítico, contando com quase metade dos estudos selecionados para a análise. O Brasil aparece na lista com dois estudos.

3.3.3 Variáveis investigadas

Foram investigadas as seguintes variáveis: material do eletrodo, distância entre os eletrodos, densidade de corrente inserida no sistema e tempo de retenção do efluente no reator. Os resultados estão apresentados nos próximos tópicos.

- Material do eletrodo: as publicações selecionadas utilizaram eletrodos feitos de diferentes materiais, tais como aço carbono, aço inox, alumínio, diamante dopado com boro, ferro, grafite, platina e titânio óxido-revestido;
- Distância entre os eletrodos: a distância variou de 2 a 100 mm nos estudos selecionados;
- Densidade de corrente: esta variou, nos estudos selecionados, de 0,2 mA/cm² a 123,97 mA/cm²;
- Tempo de retenção hidráulica no reator: esta variou desde 20 segundos até 390 minutos (6 horas e meia).

3.3.4 Redução da DQO

A redução da DQO nos efluentes tratados, quando considerados os 69 estudos selecionados nesta revisão sistemática, variou entre 10% e 100%. Algumas publicações também mensuraram outros parâmetros, tais como cor, nitrogênio, carbono orgânico total (COT), entre outros; porém, os dados não foram incluídos na tabela e nem na revisão, pois a DQO foi selecionada como o parâmetro relevante comum aos três tipos de efluentes estudados.

3.4 Análise de correlação para o conjunto de efluentes

Com os dados obtidos nesta revisão sistemática, foi possível buscar uma correlação entre as variáveis do tratamento eletrolítico e os resultados de redução de DQO obtido por cada uma das análises dos estudos primários selecionados.

Ao analisar as variáveis separadamente, com base nos dados dos estudos incluídos nesta revisão, não foi possível estabelecer uma correlação entre estas e a redução da DQO. Para todas as análises foi encontrado um R² menor que 0,1 como por exemplo:

(a) densidade de corrente e redução da DQO (R² = 0,0087); (b) distância entre eletrodos e redução da DQO (R² = 0,0179); e (c) tempo de retenção do efluente e redução da DQO (R² = 0,0022). O fato de estes R² estarem tão baixos corrobora com a hipótese de que não é possível analisar as variáveis independentemente das demais. Conforme citado por Heidmann & Calmano (2008), o processo eletrolítico é

controlado por muitas variáveis, que vão apresentar influência na remoção de contaminantes.

De modo a comparar todas as variáveis tabeladas a partir dos estudos selecionados, os parâmetros densidade de corrente e distância entre os eletrodos foram separados em faixas para que fossem gerados os gráficos comparando o tempo de retenção do efluente com a redução da DQO. Para valores de tempo repetidos, fez-se uma média das reduções de DQO.

A Figura 7 abaixo elucida a separação e combinação destas faixas de densidade de corrente e distância entre eletrodos para realização das análises de correlação:

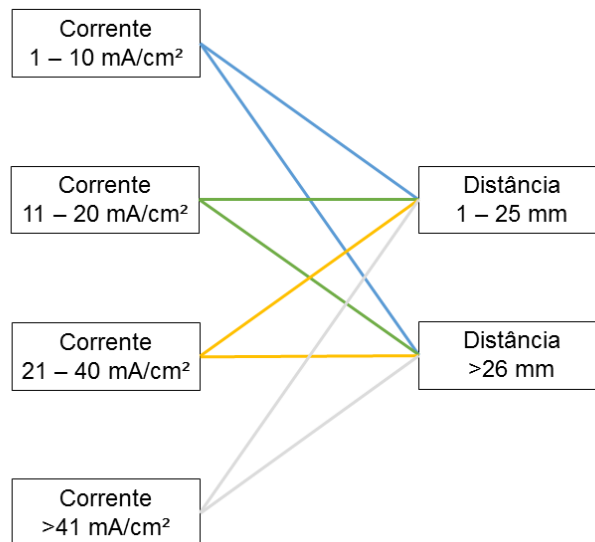


Figura 7: Esquema demonstrando combinação de variáveis fixadas para análise da influência do tempo de retenção do efluente na redução da DQO.

A análise macro não demonstrou nenhuma correlação significativa, porém a separação mostrou um cenário diferente, conforme pode ser visto nos gráficos a seguir. A Figura 8 mostra a correlação entre o tempo de retenção do efluente e a redução da DQO dentro das faixas de corrente entre 1 e 10 mA/cm² e distância entre os eletrodos entre 1 e 25 mm ($R^2 = 0,5891$).

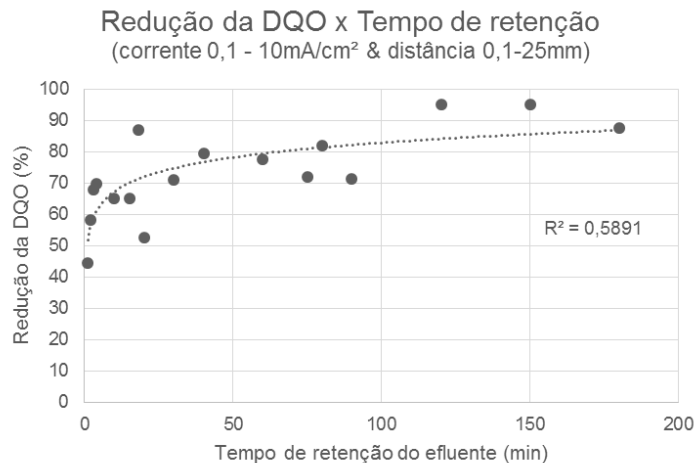


Figura 8: Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do efluente, considerando densidade de corrente entre 1 e 10 mA/cm² e distância entre eletrodos entre 1 e 25 mm.

Sendo assim, o gráfico demonstra que, dentro das faixas determinadas de densidade de corrente e distância entre os eletrodos, observa-se uma certa correlação com R^2 ainda que baixo, mas aceitável (60%) entre a redução da DQO e o tempo de retenção do efluente no reator eletrolítico. Quanto maior o tempo de retenção do efluente no reator (dentro das faixas já mencionadas), a tendência é que a redução da DQO seja maior também.

A Figura 9 mostra a correlação entre o tempo de retenção do efluente e a redução da DQO dentro das faixas de corrente entre 1 e 10 mA/cm² e distância entre os eletrodos acima de 26 mm ($R^2 = 0,6807$).

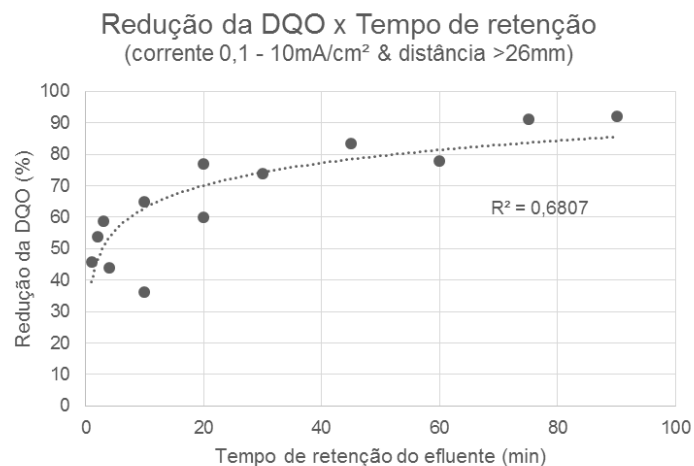


Figura 9: Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do efluente, considerando densidade de corrente entre 1 e 10 mA/cm² e distância entre eletrodos > 26 mm.

Essa Figura 9 demonstra que, dentro das faixas determinadas de densidade de corrente e distância entre os eletrodos, observa-se um $R^2 = 68\%$ para a correlação entre redução de DQO e o tempo de retenção do efluente no reator eletrolítico. Ou seja, também existe uma correlação positiva que demonstra que quanto maior o tempo de retenção do efluente no reator (dentro das faixas já mencionadas), a tendência é que a redução da DQO seja maior também.

Quando aplicadas as faixas de distância entre 1-25 mm com as densidades de 11-20 mA/cm², 21-40 mA/cm² não foi possível estabelecer uma correlação entre o tempo de retenção do efluente e a redução da DQO.

Quando aplicada a faixa de distância entre 1-25 mm com a densidade acima de 41 mA/cm², bem como nos casos em que se aplicou a faixa acima de 26 mm juntamente com as densidades de corrente de 11-20 mA/cm², 21-40 mA/cm² e acima de 41 mA/cm² não foi possível estabelecer nenhuma correlação, pois o número de pontos no gráfico era baixo ($n < 5$). Para que a análise fosse confiável, seria necessário que o n fosse maior.

3.5 Resultados por tipo de efluente

Além das análises globais, os tipos de efluente também foram analisados individualmente, para verificação da existência de correlação entre variáveis do sistema e redução de DQO. Assim, foi possível verificar a eficiência do tratamento eletrolítico, também considerando a variabilidade existente nos efluentes pré-tratamento.

Os dados foram separados em faixa de densidade de corrente ou de distância entre os eletrodos, de forma semelhante ao procedimento realizado para as análises agregadas apresentadas acima. Como a quantidade de dados aqui é menor, pois os efluentes estão sendo analisados separadamente, não foi possível fazer a separação por faixas de densidade de corrente e distância entre eletrodos ao mesmo tempo.

Para os **efluentes têxteis** e para o **efluente oleoso** não foi encontrada nenhuma correlação considerando-se os dados obtidos por esta revisão. Seguem os R^2 encontrados:

- Efluente têxtil:
 - Faixa de corrente 0,1-10 mA/cm² - R² = 0,0183;
 - Faixa de corrente 11-20 mA/cm² - R² = 0,1054;
 - Faixa de corrente >20 mA/cm² - R² = 0,0126;
 - Faixa de distância 1-25 mm - R² = 0,1976;
 - Faixa de distância >26 mm não tinha dados suficientes para construção de um gráfico.
- Efluente oleoso:
 - Faixa de corrente 0,1-10 mA/cm² - R² = 0,1495;
 - Faixa de corrente 11-20 mA/cm² - R² = 0,0273;
 - Faixa de corrente >20 mA/cm² não tinha dados suficientes para construção de um gráfico;
 - Faixa de distância 1-25 mm - R² = 0,1603;
 - Faixa de distância >26 mm não tinha dados suficientes para construção de um gráfico.

Apenas para o **lixiviado de aterro** foram encontradas algumas correlações possíveis e, por esse motivo, somente para essa água residuária são apresentados os gráficos em seguida. De acordo com a análise de regressão, a redução da DQO está correlacionada positivamente com o tempo de retenção do efluente no reator para as densidades baixas (0,1-2,0 mA/cm²; R²=0,888) e intermediárias (2,1-4,0 mA/cm²; R²=0,8828), conforme demonstrado nas Figuras 10 e 11.

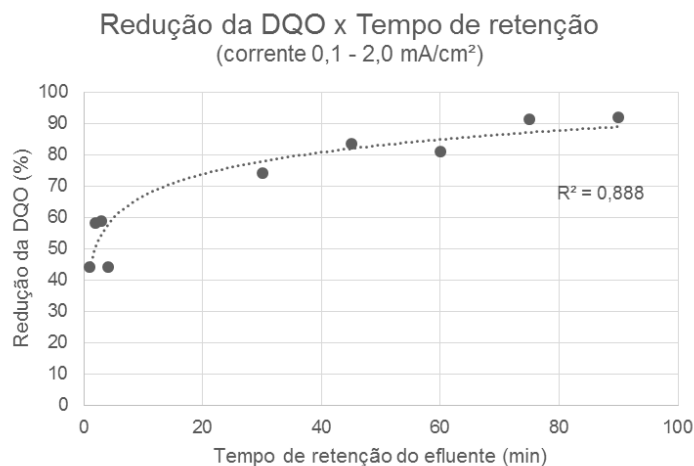


Figura 10: Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do lixiviado de aterro, considerando densidade de corrente entre 0,1 e 2,0 mA/cm².

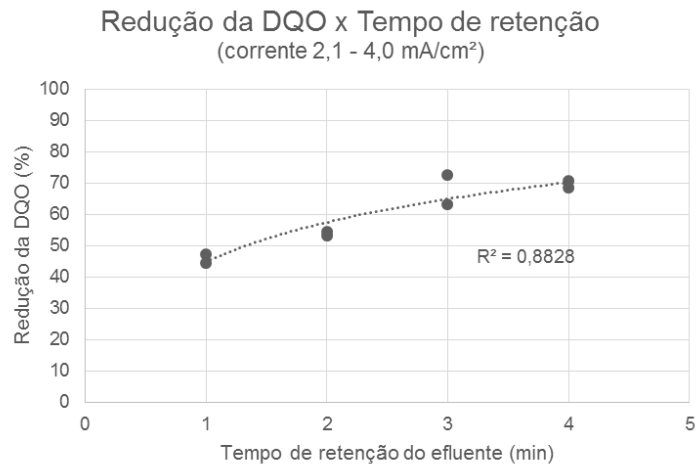


Figura 11: Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do lixiviado de aterro, considerando densidade de corrente entre 2,1 e 4,0 mA/cm².

Da mesma maneira, porém com os R^2 mais baixos, a redução da DQO mostrou correlação positiva com o tempo de retenção para as faixas de distâncias intermediárias (21-40 mm; $R^2=0,6011$) e elevadas (>40 mm; $R^2 = 0,5827$). Tal correlação está ilustrada nas Figuras 12 e 13.

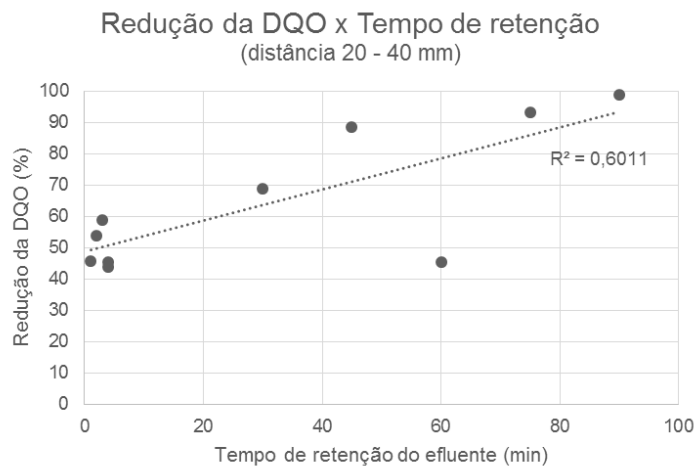


Figura 12: Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do lixiviado de aterro, considerando distância entre eletrodos entre 20 e 40 mm.

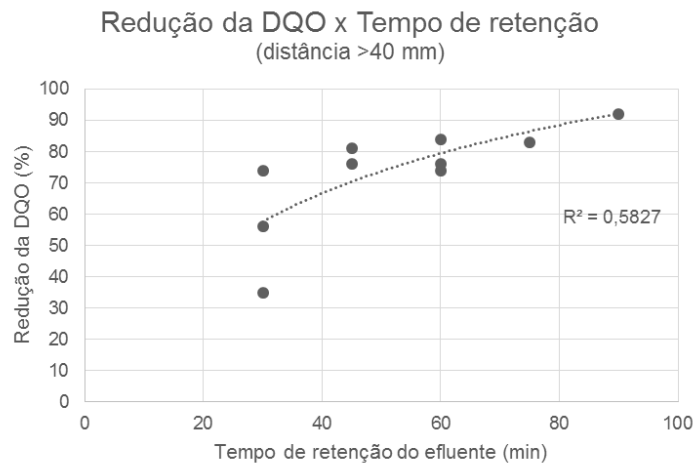


Figura 13: Correlação entre a redução da DQO e o tempo de retenção do lixiviado de aterro, considerando distância entre eletrodos > 40 mm.

Uma possível explicação para as correlações observadas entre a redução da DQO e o tempo de retenção hidráulica do efluente para faixas baixas e intermediárias de densidade de corrente está na primeira Lei de Faraday, que diz que a quantidade de poluentes que reagem ao serem submetidos a uma passagem de corrente é diretamente proporcional à corrente aplicada e ao tempo de eletrólise.

Por outro lado, as altas densidades de corrente não mostraram correlação para a análise individual do lixiviado no que tange ao tempo de retenção do efluente e a redução da DQO. Isso poderia ser explicado, pois as altas densidades de corrente promovem não só uma forte oxidação do anodo, como também uma possível passivação do catodo, fazendo com que a eficiência do processo geral decaia com o tempo.

Quando considerada a distância entre os eletrodos, a correlação entre o tempo de retenção do efluente e a redução da DQO em distâncias intermediárias e elevadas pode ser explicada pelo fato de que em pequenas distâncias não há muita resistividade que a corrente precise atravessar. Logo, a eficiência do tratamento é maior sem necessidade de maior retenção do efluente no reator e grande dispêndio de energia elétrica. Isso poderia explicar a não correlação do tempo de retenção com a redução da DQO em baixas distâncias. Já quando ocorre um aumento da distância entre os eletrodos isso faz com que a corrente perca força ao atravessar o meio, por conta da resistividade deste, portanto um maior tempo poderia ser mais benéfico para a eficiência do tratamento nesta situação.

Isso significa que a variável distância pode ser calculada e otimizada no processo eletrolítico dependendo da condutividade elétrica do efluente, já que quanto maior a condutividade deste, menor é a necessidade de manter os eletrodos próximos uns dos outros, pois o meio apresenta menos resistividade. Logo, se os eletrodos não precisam permanecer muito próximos uns aos outros, é evidente que a quantidade de eletrodos a ser utilizada em um determinado reator será menor, por conta do maior espaçamento entre eles.

A falta de correlação quando comparadas as variáveis em separado poderia ser explicada pela ação de outras variáveis não estudadas, além da interação entre variáveis. A densidade de corrente, por exemplo, pode ser aumentada em busca de maior eficiência no tratamento, porém caso a distância entre os eletrodos também aumente, uma eficiência limitada será alcançada, pois a corrente encontrará um caminho maior a percorrer dentro de um meio que apresenta resistividade.

3.6 Resultados por tipo de eletrodo

A Figura 14 ilustra o total de estudos onde eletrodos de um determinado material foi utilizado. Estudos onde eletrodos de um material foram utilizados em conjunto com outro tipo de material foram excluídos, de modo a fazer uma comparação mais fiel entre os tipos de eletrodo utilizados nas publicações selecionadas e os resultados de desempenho alcançados por estes.

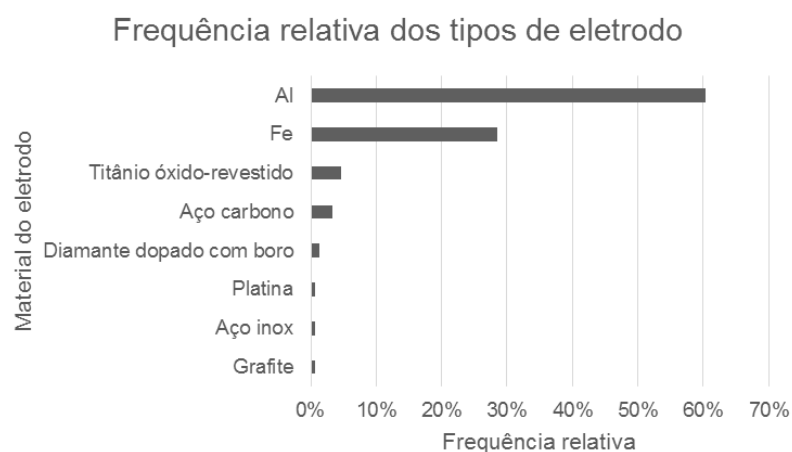


Figura 14: Frequência relativa dos tipos de eletrodos dos estudos selecionados.

É possível verificar que o alumínio possui a maior representatividade dentre os estudos selecionados nesta revisão, com 60% do total, seguido do ferro, com 28% do total. Os demais tipos de material de eletrodo (titânio óxido-revestido, aço carbono, diamante dopado com boro, platina, grafite e aço inox) somam 12% dos estudos realizados. Isso demonstra que o alumínio e o ferro possuem clara hegemonia quando se trata de processos eletrolíticos.

No que tange ao desempenho do tratamento conforme o tipo de material de eletrodos, a Figura 15 abaixo mostra a média de redução da DQO obtida em estudos com diferentes tipos de eletrodo.

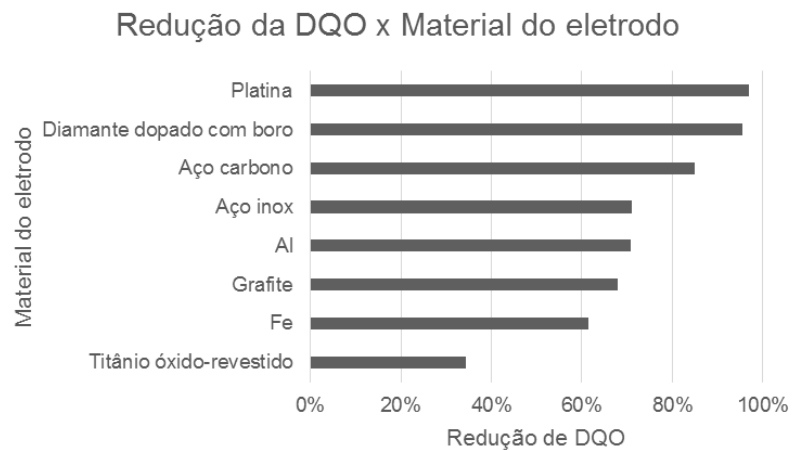


Figura 15: Média de redução de DQO dos tipos de eletrodos dos estudos selecionados.

Os melhores desempenhos médios foram dos eletrodos de platina, com 97% de redução de DQO, seguido do diamante dopado com boro, com 96%, e do aço carbono com 85%. Entretanto, o número de estudos com estes materiais foi muito baixo, tendo sido selecionado apenas um estudo com platina, dois estudos com diamante dopado com boro e cinco testes com aço carbono. Logo, não foi possível chegar a uma conclusão definitiva sobre o desempenho destes tipos de eletrodos, já que o número de estudos sobre eles é muito baixo.

Os tipos de eletrodos mais estudados, conforme demonstrado no gráfico anterior, que são os de alumínio e ferro, tiveram um desempenho médio na redução de DQO de 71% e 62%, respectivamente. Como os dados tabelados tratavam-se de dados de experimentos, nem sempre o valor de redução da DQO era o valor ótimo de

tratamento, já que várias réplicas do teste foram realizadas, variando-se os demais parâmetros de forma a tentar encontrar o ponto ótimo. Isso significa que este desempenho médio não retrata fielmente a eficiência do tratamento. Para analisar desta forma, seria necessário utilizar na avaliação apenas os dados da maior eficiência de tratamento, dentre todos os testes laboratoriais realizados.

Pelos gráficos construídos também não foi possível analisar isoladamente o desempenho de um tipo de eletrodo, pois este vai depender do tipo de efluente que está sendo tratado, bem como das demais variáveis existentes no processo eletrolítico. Em segundo lugar,

CONCLUSÕES

Na presente revisão, de acordo com os dados obtidos dos estudos selecionados, foram analisadas três variáveis quantitativas (densidade de corrente, distância entre os eletrodos e tempo de retenção hidráulica do efluente no reator eletrolítico) e uma variável qualitativa (material do eletrodo).

Foi encontrada uma correlação positiva para os dados dos três efluentes em conjunto, considerando-se o tempo de retenção hidráulica do efluente e a redução da DQO dentro das faixas de densidades de corrente mais baixas (entre 1 e 10 mA/cm²) aliadas a uma pequena distância entre os eletrodos (entre 1 e 25 mm), bem como a faixa de densidade de corrente mais baixas (entre 1 e 10 mA/cm²) e distância intermediária/alta entre os eletrodos (acima de 26 mm).

Quando analisados os três efluentes separadamente, não foi encontrada nenhuma correlação para os efluentes têxteis ou para o efluente oleoso, com base nos dados obtidos por esta revisão. Por outro lado, para lixiviado de aterro, foi encontrada uma correlação positiva entre o tempo de retenção hidráulica do efluente e a redução da DQO dentro das faixas mais baixas e intermediárias de densidade de corrente (0,1-2,0 mA/cm² e 2,1-4,0 mA/cm², respectivamente). Também foi encontrada, para o mesmo efluente, uma correlação positiva entre o tempo de retenção do efluente e a redução da DQO para faixas intermediárias e altas quanto à distância entre os eletrodos (21-40 mm e acima de 41 mm, respectivamente).

Estes resultados demonstram a importância das análises combinadas, o que confirma que as variáveis não devem ser avaliadas individualmente. As condições ótimas do tratamento eletrolítico serão uma combinação das diferentes variáveis operacionais do processo.

A partir dos resultados pode-se concluir que a distância entre os eletrodos pode ser otimizada de acordo com a condutividade elétrica do efluente a ser tratado e a densidade de corrente a ser aplicada. Quanto maior for a distância entre os eletrodos, maior será a necessidade de densidade de corrente elétrica, por conta da maior resistividade que a corrente precisará atravessar. Sendo assim, os custos associados ao consumo de eletricidade serão maiores, e o desgaste e/ou passivação dos eletrodos também, o que pode ser encarado como uma desvantagem do tratamento eletrolítico.

Por outro lado, se o meio for condutivo de eletricidade o suficiente, esta necessidade de aplicação de maior densidade de corrente não ocorrerá. Caso isso ocorra, o desgaste e a passivação poderão ocorrer em maior escala, trazendo custos com a troca das placas dos eletrodos desnecessariamente. Caso o meio apresente resistividade que atrapalhe a condução da corrente elétrica, uma opção utilizada é adicionar sais de modo a aumentar a condutividade elétrica do efluente, sem precisar elevar a corrente aplicada.

No que tange ao material dos eletrodos, não foi possível estabelecer uma conclusão final, já que o número de amostras das publicações selecionadas pela revisão sistemática foi pequeno para que uma conclusão confiável seja alcançada. O dado relevante retirado deste estudo quanto ao material do eletrodo foi de que o alumínio e o ferro são os materiais preponderantes quando se trata de eletrocoagulação.

Baseado nos dados extraídos das publicações selecionadas, as variáveis quantitativas quando analisadas separadamente não apresentam correlação com a redução da DQO. Assim, é possível afirmar que, no tratamento eletrolítico, as variáveis de processo podem afetar o resultado final, porém quando a contribuição destas é analisada separadamente das demais, não é possível estabelecer uma relação clara das variáveis com a eficiência do tratamento. Isso sugere que o desempenho final de um tratamento é provavelmente o resultado da interação de muitas variáveis distintas.

Sendo assim, para analisar o efeito das variáveis de forma interligada com base na literatura, foi necessária a separação dos níveis em faixas, permitindo uma análise mais detalhada dentro de cada faixa.

Portanto, testes de bancada devem ser realizados aplicando-se desenho experimental (DoE) para otimização de processos de modo a encontrar condições ótimas para que o tratamento eletrolítico seja o mais eficiente possível, aumentando a sua viabilidade quando comparado a outras técnicas de tratamento de efluentes.

É possível concluir que o tratamento eletrolítico pode ter um desempenho satisfatório, reduzindo a DQO do efluente a valores próximos a 100%. Quando aplicadas as condições operacionais ótimas, o tratamento eletrolítico pode ser uma opção viável para o tratamento dos três tipos de efluentes estudados neste trabalho (efluente têxtil, efluente oleoso e lixiviado de aterro).

Para estudos experimentais futuros que compreendam o tratamento eletrolítico de efluentes, é altamente recomendada a otimização de processos em ensaios de tratabilidade, poupando assim, recursos tais como a energia elétrica que é aplicada no reator eletrolítico, bem como a substituição frequente de eletrodos devido à desgaste e/ou passivação, entre outros fatores.

Para revisões sistemáticas futuras referentes ao tratamento eletrolítico de efluentes industriais, é recomendado que todos os parâmetros sejam tabelados e comparados quanto à eficiência de tratamento. Tal eficiência pode ser analisada por diversos parâmetros que são reduzidos ou removidos pelo tratamento. Com todos estes dados é possível realizar múltiplas análises estatísticas, combinando as diferentes variáveis de processo com os tipos de efluentes e os resultados dos diferentes parâmetros que indicam a eficiência do tratamento. A partir destes estudos de revisão sistemática os estudos experimentais podem ser iniciados com um norte de quais são as variáveis e parâmetros relevantes.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015*. 11ª edição. [S.l.]. 2015.
- ALINSAFI, A. et al. Electro-coagulation of reactive textile dyes and textile wastewater. *Chemical Engineering and Processing*, v. 44, p. 461-470, Apr., 2005.
- AQUINO NETO, S. Tratamento de Resíduos de Corante por Eletrofloculação: um Experimento para Cursos de Graduação em Química. *Química Nova*. v. 34, n. 8, p. 1468-1471, Mai., 2011.
- ARAÚJO, M.; CASTRO, E.M.M. *Manual de Engenharia Têxtil*. 2ª edição. Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.
- ASSELIN, M. et al. Organics removal in oily bilgewater by electrocoagulation process. *Journal of Hazardous Materials*, v. 151, p. 446-455, Mar., 2008.
- AVSAR, Y.; KURT, U.; GONULLU, T., Comparison of classical chemical and electrochemical processes for treating rose processing wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, v. 148. n. 1/2, p. 340-345, Sep., 2007.
- BELTRAME, L.T.C. *Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento*. 2000. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.
- BENITO, J.M. et al. Formulation, characterization and treatment of metalworking oil-in-water emulsions. *Clean Techn. Environ. Policy*, v. 12, p. 31-41, Feb., 2010.
- BOUZA, C. et al. Efficacy of modern dressings in the treatment of leg ulcers: a systematic review. *Wound Repair and Regeneration*, v. 13, n. 3, p. 218-229, May-Jun., 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. *Diretrizes metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados*. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2012.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 18 mar. 2005. p. 58-63.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 393, de 8 de agosto de 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 9 ago. 2007. p. 72-73.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementam e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 16 mai. 2011. p. 89.
- BRASIL. Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias

nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 24 abr. 2000. Seção 1, p. 1.

CERQUEIRA, A.A. *Aplicação da Técnica de Eletrofloculação no Tratamento de Efluentes Têxteis*. 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Centro de Tecnologia e Ciências, Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CERQUEIRA, A.A.; MARQUES, M.R.C. Avaliação do Processo Eletrolítico em Corrente Alternada no Tratamento de Água de Produção. *Química Nova*, v. 34, n. 01, p. 59-63, 2011.

CERQUEIRA, A.A.; MARQUES, M.R.C. Electrolytic Treatment of Wastewater in the Oil Industry. In: GOMES, J.S. *New Technologies in the Oil and Gas Industry*. [S.l.]: InTech, 2012. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/new-technologies-in-the-oil-and-gas-industry/electrolytic-treatment-of-wastewater-in-the-oil-industry>>. Acesso em: 31/10/2016.

CERQUEIRA, A.A., RUSSO, C., MARQUES, M. R. C. Electroflocculation for Textile Wastewater Treatment. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. v. 26, n. 04, p. 659-668, Oct.-Dec., 2009.

CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*. v. 38, p. 11-41, Jul., 2004.

CHEN, X.; CHEN, G.; YUE, P.L. Investigation on the electrolysis voltage of electrocoagulation. *Chemical Engineering Science*. v. 57, p. 2449-2455, Jul., 2002.

CHIANG, L.C.; CHANG, J.E.; WEN, T.C. Indirect Oxidation Effect in Electrochemical Oxidation Treatment of Landfill Leachate. *Water Research*. v. 29, n. 02, p. 671-678, Feb., 1995.

COSSU, R. et al. Electrochemical Treatment of Landfill Leachate: Oxidation at Ti/PbO₂ and Ti/SnO₂ Anodes. *Environmental Science & Technology*, v. 32, n 22, p. 3570-3573, Sep., 1998.

CRESPILHO, F. N., REZENDE, M.O.O. *Eletroflotação: Princípios e Aplicações*. 1ª edição. São Carlos: Editora Rima, 2004.

DANESHVAR, N.; ASHASSI-SORKHABI, H.; TIZPAR, A. Decolorization of orange II by electrocoagulation method. *Separation and Purification Technology*. v. 31, p. 153-162, May, 2003.

DANESHVAR, N. et al. Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC). *Journal of Hazardous Materials*. v. 148, p. 566-572, Sep., 2007.

DA ROSA, J. J. *Desenvolvimento de um Novo Processo de Tratamento de Águas Oleosas – Processo FF*. XIX Prêmio Jovem Cientista, 2003.

DE LIMA, C.M.R. *Aplicabilidade da Eletrocoagulação, Eletrocoagulação Seguida de Reativo de Fenton e Eletrofenton no Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário*. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

- DEN, W., HUANG, C. Electrocoagulation for removal of silica nano-particles from chemical-mechanical-planarization wastewater. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 254, p. 81-89, Mar., 2005.
- DE PAULA, M.C. *Avaliação do Risco da Ocorrência de Resistência à Antibióticos e/ou Bacteremia Causadas por Bactérias Ácido Lácticas: uma revisão sistemática*. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- DJELAL, H.; LELIEVRE, Y.; RICORDEL, C. Combination of Electro-Coagulation and biological treatment by bioaugmentation for landfill leachate. *Desalination and Water Treatment*. v. 54, p. 1-8, Apr., 2014.
- DUBUGRAS, M.T.B.; PÉREZ-GUTIÉRREZ, E. *Revisão sistemática como ferramenta da avaliação de riscos microbiológicos*. Rio de Janeiro: Área de Vigilância Sanitária, Prevenção e Controle de Doenças - OPAS/OMS, 2009. Disponível em: <http://bvs.panalimentos.org/local/File/Bol_NOV2009_Apostila_Revisao_sistemática_ferramenta_avaliacao_riscos_microbiologicos.pdf> Acesso em 21/04/2017.
- EMAMJOMEH, M.M.; SIVAKUMAR, M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. *Journal of Environmental Management*. v. 90, p. 1663-1679. Apr., 2009.
- FORNARI, M.M.T. *Aplicação da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de curtume*. 2007. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2007.
- GALVÃO, T.F.; PEREIRA, M.G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiol. Serv. Saúde*, v. 23, p. 183-184, Jan.-Mar. 2014.
- GIORDANO, G.; BARBOSA FILHO, O.; CARVALHO, R.J. *Processos físico-químicos para tratamento do chorume de aterros de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: COAMB / FEN / UERJ (Série Temática: Tecnologias Ambientais). v. 4, 2011. E-book.
- GOBBI, L.C.A. *Tratamento de água oleosa por eletrofloculação*. Dissertação 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2013.
- GOODISMAN, J. *Electrochemistry: Theoretical Foundations*. New York: Wiley-Interscience Publication, 1987.
- HEIDMANN, I.; CALMANO, W. Removal of Cr (VI) from model wastewaters by electrocoagulation with Fe electrodes. *Separation and Purification Technology*. v. 61, p. 15-21, Jun., 2008.
- HEMINGWAY, P.; BRERETON, N. What is a Systematic Review?. *What is...? series*. Disponível em: <<http://www.bandolier.org.uk/painres/download/whatis/Syst-review.pdf>>. Acesso em 07/11/2016.
- IBRAHIM, M.Y. et al. Utilization of electroflotation in remediation of oily wastewater. *Separation Science and Technology*. v. 36, p. 3749-3762, Feb., 2001.
- KHANDEGAR, V.; SAROHA, A.K. Eletrocoagulation for the treatment of textile industry effluent – A review. *Journal of Environmental Management*, v. 128, p. 949-963, Oct., 2013.

KÖRBAHTI, B.K.; ARTUT, K. Bilge Water Treatment in an Upflow Electrochemical Reactor using Pt Anode. *Separation Science and Technology*. v. 48, p. 2204-2216, May, 2013.

LABANOWSKI, J.; PALLIER, V.; FEUILLADE-CATHALIFAUD, G. Study of organic matter during coagulation and electrocoagulation processes: Application to a stabilized landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*. v. 179, p. 166-172, Jul., 2010.

LEMA, J.M.; MENDEZ, R.; BLASQUEZ, R. Characteristics of landfill leachate and alternatives for their treatment: A review. *Water, Air, and Soil Pollution*. v. 40, p. 223-250, Aug., 1988.

MANENTI, D.R. et al. Assessment of a multistage system based on electrocoagulation, solar photo-Fenton and biological oxidation processes for real textile wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*. v. 252, p. 120-130, Sep., 2014.

MARTTINEN, S.K. et al. Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates. *Chemosphere*. v. 46, p. 851-858, Feb., 2002.

MILLER JR, G.T. *Ciência Ambiental*. 11ª edição. Cengage Learning, 2007.

MOHER, D. et al. *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement*. 2009. PLoS Med. 6(7) [online]. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1000097>>. Acesso em 09/05/2017.

MOLLAH, M.Y.A. et al. Electrocoagulation (EC) - Science and applications. *Journal of Hazardous Materials*. v. 84, p. 29-41, Jun., 2001.

MOLLAH, M.Y.A. et al. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. v. 114, p. 199-210, Oct., 2004.

OLIVEIRA, R.C.G. *Estudos de Variáveis Operacionais e Interficiais na Flotação de Óleo por Gás Dissolvido*. 1995. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

OLLER, I.; MALATO, S.; SANCHEZ-PEREZ, J.A. Combination of advanced oxidation processes and biological treatment for wastewater decontamination. *Science of The Total Environment*. v. 409, p. 4141-4166, Sep., 2011.

OLSEN, G.H. et al. Toxicity data for modeling impacts of oil components in an Arctic ecosystem. *Marine Environmental Research*. v. 90, p. 9-17, Sep., 2013.

PASCHOAL, F.M.M., TREMILIOSI-FILHO, G. 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, Jun., 2005.

PEREIRA, A.L. *Revisão sistemática da literatura sobre produtos usados no tratamento de feridas*. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem) - Escola de Enfermagem, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

- PETTICREW, M. Systematic Reviews From Astronomy To Zoology: Myths And Misconceptions. *British Medical Journal*. v. 322, n. 7278, p. 98-101, Jan., 2001.
- POULOPOULOS, S.G. et al. Stripping as a pretreatment process of industrial oily wastewater. *Journal of Hazardous Materials*. v. 117, p. 135-139, Jan., 2005.
- RENOU, S. et al. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*. v. 150, p. 468-493, Feb., 2008.
- RICORDEL, C.; DJELAL, H. Treatment of landfill leachate with high proportion of refractory materials by electrocoagulation: System performances and sludge settling characteristics. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. v. 2, p. 1551-1557, Sep., 2014.
- RODRIGUES, K. et al. Viabilidade do tratamento de água residuária sintética têxtil em reator aeróbio de leito fixo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 15, n. 1, p. 99-106, 2010.
- RODRIGUES, M.C. *Tratamento eletrolítico de lixiviado de aterro sanitário*. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- SAMPAIO, R.F.; MANCINI, M.C. Estudos de Revisão Sistemática: Um Guia para Síntese Criteriosa da Evidência Científica. *Rev. Bras. Fisioter.* v. 11, n. 1, p. 83-89, Jan.-Fev., 2007.
- SATO, T. et al. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*. v. 130, p. 1-13, 2013.
- SCHULZ, C.K. *Tratamento de Efluentes Oleosos utilizando Processos de Separação por Membranas*. 2005. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- SHAW, D. J. *Introdução à química dos colóides e de superfícies*. 2ª edição. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1975. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/326535791/SHAW-Introducao-a-Quimica-dos-Coloides-e-Superficies-1975-pdf>>. Acesso em: 22/04/2017.
- SILVA, A.L.C. *Processo eletrolítico: Uma alternativa para o tratamento de águas residuárias*. 2002. 60 f. Monografia (Especialização em Química Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- SINOTI, A.L.L. *Processo eletrolítico no tratamento de esgotos sanitários: estudo da sua aplicabilidade e mecanismos associados*. 2004. 180 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2004.
- SOUSA, M.R.; RIBEIRO, A.L.P. Revisão sistemática e meta-análise de estudos de diagnóstico e prognóstico: um tutorial. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. v. 92, p. 241-251, Mar., 2009.
- SOUZA, K.R. *Estudo da remoção de Ba²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺, Cr³⁺, Sr²⁺, Zn²⁺ por eletrocoagulação em água associada à produção de petróleo*. 2012. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

TOMASONI, M. A.; PINTO, J.E.S.; SILVA, H.P. A questão dos recursos hídricos e as perspectivas para o Brasil. *GeoTextos*. v. 5, n. 2, p. 107-127, Dez., 2009.

TONES, A.R.M. *Estudo da aplicação da técnica de eletrofloculação na remoção da cor em misturas de corantes têxteis*. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

TSAI, C. T. et al. Electrolysis of Soluble Organic Matter in Leachate from Landfills. *Water Research*. v. 31, n. 12, p. 3073-3081, Dec., 1997.

ULUCAN, K.; KURT, U. Comparative study of electrochemical wastewater treatment processes for bilge water as oily wastewater: A kinetic approach. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. v. 747 p. 104-111, Jun., 2015.

VLYSSIDES, A. et al. Treatment of Leachate from a Domestic Solid Waste Sanitary Landfill by an Electrolysis System. *Environmental Technology*. v. 22, p. 1467-1476, May, 2001.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2a edição. Belo Horizonte, MG: Editora SEGRAC, 1996.

WANG, F.; SMITH, D.W.; GAMAL EL-DIN, M. Application of advanced oxidation methods for landfill leachate treatment - A review. *Journal of Environmental Engineering and Science*. v. 2, p. 413-427, Nov., 2003.

APÊNDICE A – Tabela 6: Matriz dos artigos selecionados para a revisão sistemática

Editora	Revista	FI 2016	Autor	Ano	País do estudo	Tipo de efluente
Elsevier	<i>Chemical Engineering and Processing</i>	2.234	ALINSAFI ET AL	2005	Marrocos	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	GOLDER ET AL	2005	Índia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Chemosphere</i>	4.208	MORAES, BERTAZZOLI	2005	Brasil	Lixiviado de aterro
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	DANESHVAR, OLADEGARAGOZE, DJAFARZADEH	2006	Irã	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	ZAROUAL ET AL	2006	Marrocos	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Chemical Engineering Journal</i>	6.216	BAYRAMOGLU, EVYAZ, KOBYA	2007	Turquia	Efluente têxtil
ACS Publications	<i>Industrial and Engineering Chemical Research</i>	2.843	CABEZA, URTIAGA, ORTIZ	2007	Espanha	Lixiviado de aterro
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	CAÑIZARES ET AL	2007	Espanha	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	DANESHVAR ET AL	2007	Irã	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	KOBYA, BAYRAMOGLU, EVYAZ	2007	Turquia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	KÖRBAHTI	2007	Turquia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	SAVAS KOPARAL ET AL	2007	Turquia	Efluente têxtil

Editora	Revista	FI 2016	Autor	Ano	País do estudo	Tipo de efluente
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	ARSLAN-ALATON ET AL	2008	Turquia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	ASSELIN ET AL	2008	Canadá	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Desalination</i>	5.527	BELKACEM, KHODIR, ABDELKRIM	2008	Argélia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	BENSADOK ET AL	2008	Argélia	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	CAÑIZARES ET AL	2008	Espanha	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	ILHAN ET AL	2008	Turquia	Lixiviado de aterro
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	KÖRBAHTI, TANYOLAÇ	2008	Turquia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Chemical Engineering Journal</i>	6.216	RAJU ET AL	2008	Índia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	TIR, MOULAI-MOSTEFA	2008	Argélia	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Separation and Purification Technology</i>	3.359	VELI ET AL	2008	Turquia	Lixiviado de aterro
Elsevier	<i>Waste Management</i>	4.030	BASHIR ET AL	2009	Indonésia	Lixiviado de aterro
SBQ	<i>Brazilian Journal of Chemical Engineering</i>	1.490	CERQUEIRA, RUSSO, MARQUES	2009	Brasil	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Environmental Sciences</i>	2.937	CHAVALPARI; ONGWANDEE	2009	Tailândia	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Journal of Environmental Management</i>	4.010	EL-NAAS ET AL	2009	Emirados Árabes	Efluente oleoso

Editora	Revista	FI 2016	Autor	Ano	País do estudo	Tipo de efluente
IWA Publishing	<i>Water Science and Technology</i>	1.197	GILPAVAS; MOLINA- TIRADO; GÓMEZ- GARCIA	2009	Colômbia	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	KÖRBAHTI, TANYOLAÇ	2009	Turquia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	MERZOUK ET AL	2009	Argélia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Chemical Engineering Journal</i>	6.216	MERZOUK ET AL	2009a	França	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Desalination</i>	5.527	RAJU ET AL	2009	Índia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Separation and Purification Technology</i>	3.359	ZODI ET AL	2009	França	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	BALLA ET AL	2010	Marrocos	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Desalination</i>	5.527	KÖRBAHTI, ARTUT	2010	Turquia	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6.065	LABANOWSKI ET AL	2010	França	Lixiviado de aterro
Elsevier	<i>Desalination</i>	5.527	MERZOUK, MADANI, SEKKI	2010	França	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Journal of Environmental Management</i>	4.010	PHALAKORNKULE ET AL	2010	Tailândia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>	3.582	PHALAKORNKULE, SUKKASEM, MUTCHIMSATTHA	2010	Tailândia	Efluente têxtil
Elsevier	<i>Desalination</i>	5.527	BOUHEZILA ET AL	2011	Argélia	Lixiviado de aterro

Editora	Revista	FI 2016	Autor	Ano	País do estudo	Tipo de efluente
Elsevier	<i>Desalination</i>	5.527	PARSA ET AL	2011	Irã	Efluente têxtil
University of Tehran	<i>International Journal of Environmental Research</i>	1.626	SEKMAN ET AL	2011	Turquia	Efluente oleoso
Wiley	<i>Environmental Progress & Sustainable Energy</i>	1.672	YUKSEL ET AL	2011	Turquia	Efluente têxtil
IWA Publishing	<i>Water Science and Technology</i>	1.197	IBRAHIM; SAKTHIPRIYA; BALASUBRAMANIAN	2012	Índia	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Separation and Purification Technology</i>	3.359	KARHU ET AL	2012	Finlândia	Efluente oleoso
Wiley	<i>Environmental Progress & Sustainable Energy</i>	1.672	ORKUN, KULEYIN	2012	Turquia	Lixiviado de aterro
T&F	<i>Desalination and Water Treatment</i>	1.272	YADAV ET AL	2012	Índia	Efluente oleoso
Springer	<i>Petroleum Science</i>	1.323	IBRAHIM ET AL	2013	Índia	Efluente oleoso
T&F	<i>Separation Science and Technology</i>	1.302	KÖRBAHTI, ARTUT	2013	Turquia	Efluente oleoso
eSat	<i>International Journal of Research in Engineering and Technology</i>	3.896	SHIVAYOGIMATH, WATAWATI	2013	Índia	Lixiviado de aterro
Elsevier	<i>Journal of Environmental Management</i>	4.010	UN, AYTAC	2013	Turquia	Efluente têxtil
Wiley	<i>Clean – Soil, Air, Water</i>	1.473	ZHANG ET AL	2013	China	Lixiviado de aterro
Elsevier	<i>Separation and Purification Technology</i>	3.359	ZODI ET AL	2013	França	Efluente têxtil

Editora	Revista	FI 2016	Autor	Ano	País do estudo	Tipo de efluente
IWA Publishing	<i>Water Science and Technology</i>	1.197	AMANI ET AL	2014	Irã	Lixiviado de aterro
T&F	<i>Desalination and Water Treatment</i>	1.272	IGHILAHIRIZ ET AL	2014	Argélia	Efluente oleoso
Wiley	<i>Clean – Soil, Air, Water</i>	1.473	KABUK ET AL	2014	Turquia	Lixiviado de aterro
Elsevier	<i>Journal of Environmental Chemical Engineering</i>	1.054	RICORDEL, DJELAL	2014	França	Lixiviado de aterro
Springer	<i>International Journal of Environmental Science and Technology</i>	1.915	AMANI ET AL	2015	Irã	Lixiviado de aterro
T&F	<i>Desalination and Water Treatment</i>	1.272	OZYONAR	2015	Turquia	Efluente têxtil
T&F	<i>Desalination and Water Treatment</i>	1.272	PIRSAHEB ET AL	2015	Irã	Lixiviado de aterro
Springer	<i>International Journal of Environmental Science and Technology</i>	1.915	SAFARI; AGBDAM; KARIMINIA	2015	Irã	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Journal of Electroanalytical Chemistry</i>	2.822	ULUCAN, KURT	2015	Turquia	Efluente oleoso
T&F	<i>Desalination and Water Treatment</i>	1.272	ZHU ET AL	2015	China	Efluente oleoso
Elsevier	<i>Journal of Electroanalytical Chemistry</i>	2.822	BILGILLI ET AL	2016	Turquia	Efluente oleoso
ESG	<i>International Journal of Electrochemical Science</i>	1.692	EL-ASHTOUKHY; MOBARAK; FOUAD	2016	Egito	Efluente têxtil
T&F	<i>Environmental Technology</i>	1.751	GOUSMI ET AL	2016	Argélia	Efluente oleoso

Editora	Revista	FI 2016	Autor	Ano	País do estudo	Tipo de efluente
T&F	<i>Journal of Environmental Science and Health, Part A</i>	1.425	HAN-LAE ET AL	2016	Coréia do Sul	Efluente têxtil
ESG	<i>International Journal of Electrochemical Science</i>	1.692	HASSANI ET AL	2016	Irã	Lixiviado de aterro
ESG	<i>International Journal of Electrochemical Science</i>	1.692	OZYONAR	2016	Turquia	Efluente oleoso
JCHPS	<i>Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences</i>	1.421	SIVAKUMAR ET AL	2016	Índia	Lixiviado de aterro

APÊNDICE B – Tabela 7: Matriz comparativa com dados extraídos dos estudos selecionados para a revisão sistemática

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
ALINSAFI ET AL	2005	Efluente têxtil	Alumínio	12	20	105	36
GOLDER ET AL	2005	Efluente têxtil	Aço carbono	16,1	12	5	87
GOLDER ET AL	2005	Efluente têxtil	Aço carbono	25	12	5	99
MORAES, BERTAZZOLI	2005	Lixiviado de aterro	Titânio óxido-revestido	90	3	180	60
MORAES, BERTAZZOLI	2005	Lixiviado de aterro	Titânio óxido-revestido	39	3	180	20
MORAES, BERTAZZOLI	2005	Lixiviado de aterro	Titânio óxido-revestido	48	3	180	32
MORAES, BERTAZZOLI	2005	Lixiviado de aterro	Titânio óxido-revestido	25	3	150	11
MORAES, BERTAZZOLI	2005	Lixiviado de aterro	Titânio óxido-revestido	78	3	180	34
MORAES, BERTAZZOLI	2005	Lixiviado de aterro	Titânio óxido-revestido	116	3	180	74
MORAES, BERTAZZOLI	2005	Lixiviado de aterro	Titânio óxido-revestido	13	3	150	10
DANESHVAR, OLADEGARAGOZE, DJAFARZADEH	2006	Efluente têxtil	Ferro e Aço	8	15	5	90
DANESHVAR, OLADEGARAGOZE, DJAFARZADEH	2006	Efluente têxtil	Ferro e Aço	6	15	5	98

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
ZAROUAL ET AL	2006	Efluente têxtil	Ferro	N.I.	N.I.	3	84
BAYRAMOGLU, EVYAZ, KOBYA	2007	Efluente têxtil	Alumínio	30	20	15	63
BAYRAMOGLU, EVYAZ, KOBYA	2007	Efluente têxtil	Ferro	30	20	15	65
CABEZA, URTIAGA, ORTIZ	2007	Lixiviado de aterro	Diamante dopado com boro	N.I.	5	360	100
CAÑIZARES ET AL	2007	Efluente oleoso	Alumínio	16	9	17	90
DANESHVAR ET AL	2007	Efluente têxtil	Alumínio e aço	11,2	15	5	69
KOBYA, BAYRAMOGLU, EVYAZ	2007	Efluente têxtil	Alumínio	3	20	15	63
KOBYA, BAYRAMOGLU, EVYAZ	2007	Efluente têxtil	Ferro	5	20	15	67
KÖRBAHTI	2007	Efluente têxtil	Ferro	6,7	15	N.I.	32
KÖRBAHTI	2007	Efluente têxtil	Ferro	5,9	15	N.I.	37
KÖRBAHTI	2007	Efluente têxtil	Ferro	5,4	15	N.I.	33
SAVAS KOPARAL ET AL	2007	Efluente têxtil	Diamante dopado com boro	1	22,5	N.I.	91
ARSLAN-ALATON ET AL	2008	Efluente têxtil	Alumínio	87	2	25	72

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
ARSLAN-ALATON ET AL	2008	Efluente têxtil	Aço inox	33	2	60	71
ASSELIN ET AL	2008	Efluente oleoso	Ferro	2,7	15	90	66,4
ASSELIN ET AL	2008	Efluente oleoso	Ferro	4,5	15	90	74,8
ASSELIN ET AL	2008	Efluente oleoso	Ferro	9,1	15	90	76,3
ASSELIN ET AL	2008	Efluente oleoso	Alumínio	2,7	15	90	69,9
ASSELIN ET AL	2008	Efluente oleoso	Alumínio	4,5	15	90	66,5
ASSELIN ET AL	2008	Efluente oleoso	Alumínio	9,1	15	90	73,6
ASSELIN ET AL	2008	Efluente oleoso	Ferro	13,6	15	90	76,6
ASSELIN ET AL	2008	Efluente oleoso	Alumínio	13,6	15	90	71,1
BELKACEM, KHODIR, ABDELKRIM	2008	Efluente têxtil	Alumínio	N.I.	10	20	90,3
BENSADOK ET AL	2008	Efluente oleoso	Alumínio	10	20	75	72
BENSADOK ET AL	2008	Efluente oleoso	Alumínio	15	20	75	81
BENSADOK ET AL	2008	Efluente oleoso	Alumínio	20	20	75	98
CAÑIZARES ET AL	2008	Efluente oleoso	Alumínio	10,1	9	23	75

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
ILHAN ET AL	2008	Lixiviado de aterro	Alumínio	34,8	65	30	56
ILHAN ET AL	2008	Lixiviado de aterro	Ferro	34,8	65	30	35
KÖRBAHTI, TANYOLAÇ	2008	Efluente têxtil	Ferro	35,5	80	183	66,7
KÖRBAHTI, TANYOLAÇ	2008	Efluente têxtil	Ferro	15,5	15	240	61,6
KÖRBAHTI, TANYOLAÇ	2008	Efluente têxtil	Ferro	15,5	80	240	29,3
RAJU ET AL	2008	Efluente têxtil	Alumínio	30	2	5	67
TIR, MOULAI-MOSTEFA	2008	Efluente oleoso	Alumínio e aço inox	25	10	20	89
VELI ET AL	2008	Lixiviado de aterro	Alumínio e Ferro	N.I.	3	15	90
BASHIR ET AL	2009	Lixiviado de aterro	Grafite	79,9	15	240	68
CERQUEIRA, RUSSO, MARQUES	2009	Efluente têxtil	Alumínio	1,5	5	30	87
CHAVALPARI; ONGWANDEE	2009	Efluente oleoso	Alumínio e Grafite	N.I.	15	40	57,81
EL-NAAS ET AL	2009	Efluente oleoso	Alumínio	13	N.I.	60	41
GILPAVAS; MOLINA-TIRADO; GÓMEZ-GARCIA	2009	Efluente oleoso	Ferro	4,3	15	180	87,4
KÖRBAHTI, TANYOLAÇ	2009	Efluente têxtil	Ferro e aço inox	123,97	N.I.	180	53,5

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
MERZOUK ET AL	2009	Efluente têxtil	Alumínio	11,55	10	10	68
MERZOUK ET AL	2009a	Efluente têxtil	Alumínio	31,25	10	14	80
RAJU ET AL	2009	Efluente têxtil	Alumínio	25	N.I.	10	51
RAJU ET AL	2009	Efluente têxtil	Aço carbono	25	N.I.	10	54
ZODI ET AL	2009	Efluente têxtil	Alumínio	5	20	60	92
ZODI ET AL	2009	Efluente têxtil	Ferro	5	20	60	94
BALLA ET AL	2010	Efluente têxtil	Alumínio e Ferro	40	20	20	78
KÖRBAHTI, ARTUT	2010	Efluente oleoso	Platina	10	5	N.I.	97
LABANOWSKI ET AL	2010	Lixiviado de aterro	Alumínio	N.I.	10	0,33	45
MERZOUK, MADANI, SEKKI	2010	Efluente têxtil	Alumínio	11,55	10	10	79,7
PHALAKORNKULE ET AL	2010	Efluente têxtil	Ferro	3	8	5	92
PHALAKORNKULE, SUKKASEM, MUTCHIMSATTHA	2010	Efluente têxtil	Ferro	3	8	5	93
PHALAKORNKULE, SUKKASEM, MUTCHIMSATTHA	2010	Efluente têxtil	Ferro	4	8	5	93
PHALAKORNKULE, SUKKASEM, MUTCHIMSATTHA	2010	Efluente têxtil	Ferro	3	8	10	93

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
PHALAKORNKULE, SUKKASEM, MUTCHIMSATTHA	2010	Efluente têxtil	Ferro	4	8	10	93
BOUHEZILA ET AL	2011	Lixiviado de aterro	Ferro	50	28	30	68
BOUHEZILA ET AL	2011	Lixiviado de aterro	Alumínio	50	28	30	70
PARSA ET AL	2011	Efluente têxtil	Alumínio e aço	0,26	30	198	64
PARSA ET AL	2011	Efluente têxtil	Alumínio e aço	0,6	10	18	87
SEKMAN ET AL	2011	Efluente oleoso	Alumínio	12	16	20	93
YUKSEL ET AL	2011	Efluente têxtil	Alumínio	4	20	10	81
IBRAHIM; SAKTHIPRIYA; BALASUBRAMANIAN	2012	Efluente oleoso	Aço carbono	6	25	40	94
KARHU ET AL	2012	Efluente oleoso	Alumínio	3,5	25	60	55
KARHU ET AL	2012	Efluente oleoso	Alumínio	4	25	80	80
KARHU ET AL	2012	Efluente oleoso	Alumínio	4	25	60	95
KARHU ET AL	2012	Efluente oleoso	Alumínio	4	25	40	65
KARHU ET AL	2012	Efluente oleoso	Alumínio	5	25	60	25
KARHU ET AL	2012	Efluente oleoso	Alumínio	7	25	20	90

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
KARHU ET AL	2012	Efluente oleoso	Alumínio	7	25	16	25
KARHU ET AL	2012	Efluente oleoso	Alumínio	7	25	120	95
KARHU ET AL	2012	Efluente oleoso	Alumínio	7	25	150	95
ORKUN, KULEYIN	2012	Lixiviado de aterro	Ferro	30	9	180	65,85
YADAV ET AL	2012	Efluente oleoso	Alumínio	9,68	5	80	83,94
IBRAHIM ET AL	2013	Efluente oleoso	Aço carbono	9	20	60	91
KÖRBAHTI, ARTUT	2013	Efluente oleoso	Ferro e Platina	12,8	15	390	90
SHIVAYOGIMATH, WATAWATI	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	N.I.	15	35	95,8
UN, AYTAC	2013	Efluente têxtil	Ferro	20	N.I.	90	90,84
UN, AYTAC	2013	Efluente têxtil	Ferro	30	N.I.	90	93,66
UN, AYTAC	2013	Efluente têxtil	Ferro	50	N.I.	90	96,88
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	1	10	1	38,73
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	1	20	2	62,18
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	1	30	3	64,25

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	1	40	4	42,48
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	2	20	1	49,84
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	2	10	2	54,33
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	2	40	3	53,5
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	2	30	4	45,53
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	3	30	1	44,52
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	3	40	2	54,59
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	3	10	3	63,26
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	3	20	4	68,54
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	4	40	1	47,24
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	4	30	2	53,21
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	4	20	3	72,58
ZHANG ET AL	2013	Lixiviado de aterro	Alumínio	4	10	4	70,62
ZODI ET AL	2013	Efluente têxtil	Alumínio	20	10	10	90,2

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
ZODI ET AL	2013	Efluente têxtil	Alumínio	10	10	10	71,5
AMANI ET AL	2014	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,4	30	75	97
AMANI ET AL	2014	Lixiviado de aterro	Ferro	0,5	30	75	91
IGHILAHORIZ ET AL	2014	Efluente oleoso	Alumínio	49,6	20	60	95
KABUK ET AL	2014	Lixiviado de aterro	Alumínio	20	N.I.	60	60,6
RICORDEL, DJELAL	2014	Lixiviado de aterro	Alumínio	9,5	20	135	56
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,2	60	60	74
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,3	30	45	84
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,3	80	45	76
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,3	80	75	83
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,3	30	75	89
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,4	100	60	76
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,4	60	30	74
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,4	10	60	90

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,4	60	90	92
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,5	30	45	93
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,5	80	45	81
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,5	30	75	96
AMANI ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	0,6	60	60	84
OZYONAR	2015	Efluente têxtil	Ferro	7,5	20	10	35,3
OZYONAR	2015	Efluente têxtil	Ferro	10	20	20	39,2
OZYONAR	2015	Efluente têxtil	Ferro	15	20	30	40,2
OZYONAR	2015	Efluente têxtil	Ferro	7,5	20	20	28,8
OZYONAR	2015	Efluente têxtil	Ferro	10	20	30	27,1
OZYONAR	2015	Efluente têxtil	Ferro	15	20	10	23,6
OZYONAR	2015	Efluente têxtil	Ferro	7,5	20	30	23,1
OZYONAR	2015	Efluente têxtil	Ferro	10	20	10	17,2
OZYONAR	2015	Efluente têxtil	Ferro	15	20	20	25,4

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
PIRSAHEB ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	18,75	30	60	28,86
PIRSAHEB ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	37,5	30	60	50,03
PIRSAHEB ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Alumínio	56,25	30	60	65,57
PIRSAHEB ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Ferro	18,75	30	60	23,28
PIRSAHEB ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Ferro	37,5	30	60	46,45
PIRSAHEB ET AL	2015	Lixiviado de aterro	Ferro	56,25	30	60	58,17
SAFARI; AGBDAM; KARIMINIA	2015	Efluente oleoso	Alumínio e Ferro	N.I.	20	10	42,4
SAFARI; AGBDAM; KARIMINIA	2015	Efluente oleoso	Alumínio e Ferro	N.I.	20	20	57,9
SAFARI; AGBDAM; KARIMINIA	2015	Efluente oleoso	Alumínio e Ferro	N.I.	20	30	76,7
SAFARI; AGBDAM; KARIMINIA	2015	Efluente oleoso	Alumínio e Ferro	N.I.	20	40	83,3
SAFARI; AGBDAM; KARIMINIA	2015	Efluente oleoso	Alumínio e Ferro	N.I.	20	50	84,8
SAFARI; AGBDAM; KARIMINIA	2015	Efluente oleoso	Alumínio e Ferro	N.I.	20	60	85,7
ULUCAN, KURT	2015	Efluente oleoso	Alumínio	7,5	60	10	64,8
ULUCAN, KURT	2015	Efluente oleoso	Ferro	7,5	60	10	36,2

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
ZHU ET AL	2015	Efluente oleoso	Alumínio	45,6	32	22,8	74,9
BILGILLI ET AL	2016	Efluente oleoso	Alumínio	5	47	20	60
BILGILLI ET AL	2016	Efluente oleoso	Alumínio	5	47	20	77
EL-ASHTOUKHY; MOBARAK; FOUAD	2016	Efluente têxtil	Alumínio	9,75	5	N.I.	50
EL-ASHTOUKHY; MOBARAK; FOUAD	2016	Efluente têxtil	Alumínio	12,34	5	N.I.	62
EL-ASHTOUKHY; MOBARAK; FOUAD	2016	Efluente têxtil	Alumínio	17,1	5	N.I.	85
EL-ASHTOUKHY; MOBARAK; FOUAD	2016	Efluente têxtil	Alumínio	19,12	5	N.I.	90
GOUSMI ET AL	2016	Efluente oleoso	Alumínio	6	10	30	83,52
GOUSMI ET AL	2016	Efluente oleoso	Ferro	6	10	30	78,57
GOUSMI ET AL	2016	Efluente oleoso	Alumínio	2	10	30	69,33
GOUSMI ET AL	2016	Efluente oleoso	Alumínio	4	10	30	79,91
GOUSMI ET AL	2016	Efluente oleoso	Alumínio	6	10	30	83,52
GOUSMI ET AL	2016	Efluente oleoso	Alumínio	8	10	30	88,64
GOUSMI ET AL	2016	Efluente oleoso	Alumínio	10	10	30	89,13

Autores	Ano	Tipo de efluente	Variáveis de processo				% Redução DQO
			Material eletrodo	Dens. corrente (mA / cm ²)	Distância eletrodos (mm)	Tempo (min)	
HAN-LAE ET AL	2016	Efluente têxtil	Alumínio	30	6	30	51
HASSANI ET AL	2016	Lixiviado de aterro	Ferro	N.I.	20	60	86,9
OZYONAR	2016	Efluente oleoso	Alumínio e Ferro	7,5	20	5	94,5
SIVAKUMAR ET AL	2016	Lixiviado de aterro	Ferro	40	25	90	98,7