

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

PAULA SOUZA

Etec Trajano Camargo

Curso Técnico em Química

Alessandro Ricardo Galdino Stahl

Daniele Cristina Leite Zonotel

Renato Castro de Almeida

Rosana Cristina de Almeida

TRATAMENTO DE EFLUENTE PROVENIENTE DO

PROCESSO GALVÂNICO

Limeira – SP

2022

Alessandro Ricardo Galdino Stahl

Daniele Cristina Leite Zonotel

Renato Castro de Almeida

Rosana Cristina de Almeida

**TRATAMENTO DE EFLUENTE PROVENIENTE DO
PROCESSO GALVÂNICO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da Etec Trajano Camargo, orientado pelo Prof. Reinaldo Blezer, e co-orientado pelo Prof. Dr. Ricardo Francischetti Jacob, como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Química.

Limeira – SP

2022

*"Não é a força do gotejar da água que fura a pedra, mas
sim a persistência incansável desta ação".*

Ivan Teorilang

AGRADECIMENTOS

Antes de qualquer coisa, à *Deus*, por tudo.

As nossas famílias, pelo apoio e compreensão.

Ao nosso Coordenador do Curso Técnico em Química, ***Edivaldo Luis de Souza***, pela sua dedicação durante toda a nossa jornada.

Aos nossos professores, pela amizade, paciência, ajuda, em todos os momentos desta nossa caminhada acadêmica.

Ao professor ***Paulo Barbosa***, pelas suas sugestões e orientações no início deste trabalho.

Em especial aos nossos professores orientadores, ***Reinaldo Blezer e Ricardo Francischetti Jacob***, por estarem sempre dispostos a nos guiar.

A todos os integrantes da ETEC Trajano Camargo, por nos oferecerem a oportunidade de crescimento intelectual.

RESUMO

A crise de abastecimento da água é preocupação mundial, e a sua escassez exige a busca de alternativas para delimitar a sua utilização. Empresas de galvanoplastia, em seu processo, tem por finalidade básica proteger peças contra corrosão, dando acabamento superficial as peças metálicas, de plástico ou porcelana, utilizam metais pesados que geram e lançam no meio ambiente altas cargas de poluentes perigosos, que devem ser tratados para atender as legislações ambientais. O presente trabalho tem por objetivo apresentar eficiência na remoção desses metais presente nas águas residuárias dos processos de galvanoplastia, após tratamento físico-químico de coagulação-floculação, utilizando metabissulfito de sódio, a 2%, hidróxido de sódio (NaOH – soda cáustica), hipoclorito de sódio (NaClO), policloreto de alumínio - PAC e o polímero aniônico a base de poliacrilamida, comparando a sua eficiência com o tratamento realizado com zeólitas. Removendo os metais da água resultante dos processos galvânicos, e alcalinizando o seu pH, a mesma pode ser devolvida a rede pública de esgoto, sem maiores prejuízos ao meio ambiente. Após a realização de ambos os métodos de tratamento e discutirmos os resultados encontrados, julgamos lícito concluir que os dois métodos foram capazes de remover metais pesados presentes no efluente do processo de galvanoplastia. Salientamos ainda que, devido as zeólitas poderem ser configuradas em laboratório para finalidades específicas, novos estudos sobre o assunto devem ser desenvolvidos.

PALAVRAS-CHAVE: Galvanoplastia, Reuso, Polímero aniônico, Coagulante.

ABSTRACT

The water supply crisis is a worldwide concern, and its scarcity requires the search for alternatives to limit its use. Electroplating companies, in their process, have the basic purpose of protecting parts against corrosion, giving surface finishing to metal, plastic or porcelain parts, using heavy metals, which generate and release high loads of dangerous pollutants into the environment, which must be treated to comply with environmental legislation. The present academic work to present efficiency in the removal of these metals present in wastewater from electroplating processes, after physical-chemical treatment of coagulation-flocculation, using 2% sodium metabisulphite, sodium hydroxide (NaOH - caustic soda), sodium hypochlorite, sodium (NaClO), aluminum polychloride - PAC and the anionic polymer based on polyacrylamide, comparing its efficiency with the treatment performed with zeolites. Removing the metals from the water resulting from the galvanic processes, and alkalizing its pH, it can be returned to the public sewage system, without major damage to the environment. After carrying out both treatment methods and discussing the results found, we believe it is legitimate to conclude that the two methods were capable of removing heavy metals present in the effluent from the electroplating process. We also point out that, because zeolites can be configured in the laboratory for specific purposes, new studies on the subject must be developed.

KEYWORDS: Electroplating, Reuse, Anionic Polymer, Coagulant.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivo geral	12
1.2	Objetivos Específicos	12
1.2.1	Justificativa	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1	A importância da água no processo galvânico	13
2.2	O processo galvânico	14
2.2.1	Etapas do processo galvânico	15
2.2.1.1	Redução da perda de água consumida no processo galvânico	15
2.2.1.2	Minimizar o consumo de água no processo galvânico	15
2.2.1.2.1	Água de lavagem no processo galvânico	16
2.2.1.3	Tipos de lavagem no processo galvânico	17
2.2.1.3.1	Lavagem econômica no processo galvânico	17
2.2.1.3.2	Lavagem com água corrente no processo galvânico	18
2.2.1.3.3	Lavagem em cascata no processo galvânico	18
2.2.1.3.4	Lavagem estanque no processo galvânico	19
2.3	Tratamento de efluentes no processo galvânico	21
2.3.1	Impacto ambiental do processo galvânico	22
2.3.2	Tipos de efluentes no processo galvânico	23
2.3.2.1	Efluentes líquidos no processo galvânico	24
2.3.2.2	Efluentes gasosos no processo galvânico	28
2.3.2.3	Resíduos sólidos no processo galvânico	30
2.3.3	Filosofia de tratamento de efluentes no processo galvânico	33
2.3.3.1	Tratamento por batelada no processo galvânico	34
2.3.3.2	Tratamento por regime misto no processo galvânico	35
2.3.3.3	Tratamento contínuo no processo galvânico	35

2.3.4	Segregação dos rejeitos no processo galvânico	36
2.3.4.1	Precipitação dos metais no processo galvânico	36
2.3.4.2	Coagulação e floculação no processo galvânico	36
2.3.2.3	Decantamento, adensamento e desaguamento no processo galvânico	36
2.3.2.4	Redução do Cromo no processo galvânico	37
2.3.2.5	Pré-tratamento para oxidação do cianeto no processo galvânico ..	38
2.4	Desenvolvimento/Metodologia	39
2.4.1	Execução dos testes	39
2.4.1.1	Material utilizado	39
2.4.1.2	Recolhimento das amostras tratadas para análise	39
2.4.1.3	Execução dos testes	43
2.4.1.4	Análises das amostras tratadas	44
2.5	Resultados	45
2.6	Discussão	46
3	CONCLUSÕES.....	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais essenciais para a existência e manutenção da vida no nosso planeta. Utilizada de diferentes maneiras pela população, pela indústria e pelo agronegócio, a disponibilidade do recurso hídrico mundial tem se aproximado do limite que a natureza oferece, necessitando assim o seu uso consciente por todos. As indústrias, que utilizam grande volume de água, são potenciais poluidoras, portanto, que apliquem métodos e ferramentas eficazes para acabar ou, pelo menos, reduzir este problema. As mesmas devem minimizar o impacto causado por elas e assegurar a disponibilidade de água para a atual e para as futuras gerações. A água deve obedecer aos padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, conforme o especificado na Lei nº9.433/97 (ABRHidro, 1977).

Em condições normais de temperatura e pressão, a água é um líquido sem cor, gosto ou odor, formada por dois átomos de hidrogênio e um oxigênio, tendo o seu ponto de fusão a 0 °C e de ebulição de 100 °C, nessas condições o seu pH é 7, variando em meio ácido de 0 a 6,9 e em meio alcalino de 7,1 a 14 (TELLES, 2012). Na constituição natural da água existem elementos e substâncias químicas vindas das rochas, que são dissolvidas pelo intemperismo natural e íons e substâncias advindas das atividades industriais, mineração, despejo de esgoto e outros resíduos (BRK AMBIENTAL, 2019).

Segundo PEREZ *et al.* (2014), a galvanoplastia pode ser descrita como o processo de depositar diversas camadas metálicas sobre um objeto, através da aplicação dos princípios fundamentais que reagem ao fenômeno da eletrólise, como reações de oxidação e redução. Processo esse de grande acuidade, pois, ao revestir um metal não nobre com metais mais nobres proporciona-se a ele maior proteção contra a corrosão e melhor acabamento estético decorativo.

A galvanoplastia é um processo químico, ou eletroquímico, em que uma fina camada de metal é aplicada sobre a superfície de um objeto, metálico ou não, visando conferir a estas peças proteção contra desgastes devido à sua manipulação, utilização rotineira e a corrosão, que, embora eficiente, tem a sua desvantagem, sendo ela o fato resultar resíduos extremamente danosos ao meio ambiente e à saúde de todo elemento vivo na terra. Isso ocorre devido a solução final desse processo apresentar

uma quantidade de cátions que pertenciam aos metais utilizados. Se a solução com os cátions dos metais não passar por um tratamento adequado e for lançada como rejeito em rios, lagos ou oceanos, irá acumular danos as espécies vivas, desencadeando diversos males, como alterações nos órgãos e perda ou diminuição da capacidade de locomoção (DIAS, 2017).

Toda operação, ou conjunto de operações coordenadas, que causam uma transformação física ou química em um material, ou misturas de materiais, é denominado processo químico, e o objetivo é obter produtos desejados a partir de matérias primas selecionadas ou disponíveis. O processo químico da galvanoplastia tem o objetivo de obter uma superfície metálica limpa após a remoção da camada de óxido, e posteriormente promover a formação de uma camada de óxido fina (camada passiva) sobre a superfície metálica com resistência à corrosão (DOMINGUES, 2015).

Processo eletrolítico é o método que utiliza corrente elétrica para provocar reações de oxirredução cujos potenciais são negativos (reações não espontâneas). De ampla importância industrial e pouco conhecida pelos estudantes, é aplicado em revestimento de materiais, seja por proteção contra corrosão, seja por estética (folhagem de “joias”), e a energia elétrica, nesse método é fornecida por um gerador (por exemplo, uma pilha) e, para que a reação aconteça, a energia produzida pelo gerador deve ter magnitude maior que o valor da energia da reação (MICHA, 2013).

Por intermédio desse processo, produtos de relevância comercial são obtidos, a eletrólise do cloreto de sódio na forma ígnea produz gás cloro e sódio, enquanto a eletrólise do sal, em meio aquoso, produz gases cloro, hidrogênio, soda cáustica e diversos outros produtos de alumínio (Al) (MUNDO EDUCAÇÃO). O processo de galvanização, de extrema relevância e muito eficiente, é o tratamento de superfície que consiste em cobrir um metal ferroso com uma camada de zinco, para protegê-lo da oxidação, evitando prejuízos econômicos e até mesmo danos ambientais causados por peças enferrujadas ou oxidadas. Devido às altas concentrações de metais pesados e compostos orgânicos, os efluentes gerados em processos galvânicos devem receber tratamento prévio para reutilização. Mesmo existindo técnicas de tratamento indicadas para este fim, em virtude do aumento da preocupação com o acúmulo de metais pesados no meio ambiente, novas técnicas de tratamento têm sido desenvolvidas para a remoção e recuperação de diferentes metais. O método para remoção de metais de efluentes aquosos mais utilizados pelas

indústrias, que aplicam galvanoplastia, é o tratamento físico-químico de coagulação-floculação feita pela precipitação na forma de hidróxidos por meio de adição de óxido de cálcio (CaO). Embora esse método seja relativamente simples e barato, apresentando custo inferior ao das membranas filtrantes, gera um grande volume de rejeitos cuja disposição é perigosa e de alto custo, além de não produzir um efluente com conteúdo de metais pesados suficientemente baixo (NERBITT, DAVIS, 1994).

Na remoção de metais, estudada por BAKKALOGLU *et al.* (1998), através de um processo composto de biosorção, sedimentação e eletrólise, inicialmente, os íons metálicos são incorporados à biomassa celular; em seguida, separa-se a biomassa da solução por sedimentação e o metal é desorvido da biomassa, onde é possível recuperar o metal via eletrólise.

Os sistemas de troca iônica, segundo HEIDORN (1980), podem produzir efluentes com qualidade aceitável para o reuso nos enxágues, onde os regenerantes das unidades de troca iônica irão conter impurezas metálicas e não poderão ser despejados em mananciais ou redes de esgotos, necessitando tratamento complementar.

A osmose reversa permite a reciclagem das águas residuárias no processo de galvanoplastia, de acordo com PERRY (1984), possibilitando a recuperação de metais de custo relativamente alto, como níquel e cromo. SCHOEMAN *et al.* (1992), estimam que pode haver recuperação de 80 a 90% de cobre, 30 a 40% de zinco, 90 a 95% do níquel e 70 a 75% do cromo dos efluentes. O lodo gerado tem alto potencial de risco ambiental, sendo o principal agente poluidor característico de atividades de galvanoplastia que contêm metais tóxicos utilizados no revestimento das peças como cobre e o chumbo, denominados metais pesados, ou seja, os organismos não são capazes de eliminá-los, esses metais geram emissão de gases, efluentes líquidos e resíduos sólidos. O descarte das águas residuárias (águas das lavagens das peças), feito entre os banhos, necessita de tratamento desde a simples neutralização da acidez ou alcalinidade livre até a remoção dos metais presentes na forma solúvel.

Os resíduos sólidos, notadamente o lodo do tratamento, são um dos problemas que mais afetam a atividade de galvanoplastia. Atualmente, a alternativa mais usada é a disposição em aterros especiais, com altos custos de disposição. Em função dos metais presentes no lodo, este resíduo é classificado como Classe I – Perigoso, pela NBR 10.004:2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004).

1.1 OBJETIVO GERAL

Tratamento do efluente proveniente do processo galvânico para reutilização da água residuária.

1.1.1- Objetivos específicos

- ✓ Tratamento de água residuária;
- ✓ Tratamento de efluentes líquidos e sólidos;
- ✓ Reuso da água do processo galvânico.

1.1.2- Justificativa

A água residuária e os efluentes contém metais pesados que não podem ser descartados na rede de esgoto, porque levam a contaminação do solo e dos lençóis freáticos, gerando alto impacto ambiental. Esses metais (cobre e zinco), essenciais ao metabolismo humano, em alta concentração, causam efeitos tóxicos, induzindo graves problemas à saúde.

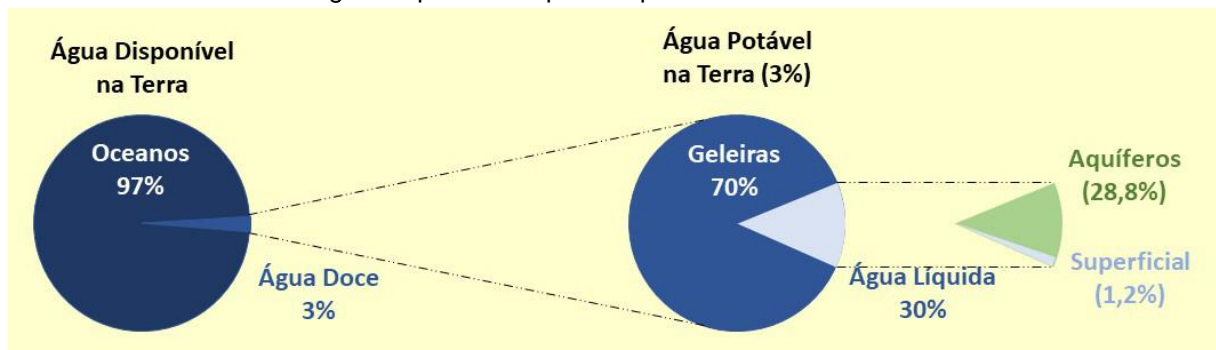
O presente trabalho teve por objetivo apresentar a eficiência de remoção dos metais presentes nas águas residuárias das lavagens de peças dos processos de galvanoplastia, após tratamento físico-químico de coagulação-floculação, utilizando o metabissulfito de sódio, a 2%, hidróxido de sódio (NaOH – soda cáustica), hipoclorito de sódio (NaClO), policloreto de alumínio - PAC e o polímero aniônico a base de poliácridamida, comparando a sua eficiência com o tratamento realizado com zeólitas. Removendo os metais da água resultante dos processos galvânicos, e alcalinizando o seu pH, a mesma pode ser devolvida a rede pública de esgoto, sem maiores prejuízos ao meio ambiente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A importância da água no processo galvânico

A água é essencial para a existência da vida e não menos importante no processo galvânico, portanto, a manutenção desse recurso é cada vez mais necessária para prevenção de diversas doenças, impactos ambientais e a sua continuidade. De acordo com WHATELY e CAMPANILI (2016), apesar de 70% da superfície do nosso planeta ser coberto por água, desse total entre 96,5% e 97% é água salgada. A água doce que necessitamos representa entre 2,5% e 3%, sendo que, deste montante, 70% está congelada em geleiras, calotas polares, e icebergs. O percentual disponível para consumo equivale a menos de 1%, distribuído em 0,12% em águas subterrâneas e 0,04% águas superficiais.

Gráfico 1: Quantidade de água do planeta disponível para o consumo.



Fonte: Próprios autores.

Como a água é fundamental para o funcionamento do organismo humano, a perda de 10% da água corporal ocasiona danos graves ao seu funcionamento, e com um déficit de 20% na quantidade de água no corpo humano pode causar a morte, por isso o Ministério da Saúde, na portaria nº5, seção II, define procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e sua potabilidade (WHATELY e CAMPANILI, 2016).

O papel da água para a vida humana e ambiental vai desde realização de funções fisiológicas fundamentais (VICTORINO, 2007) a presença nas atividades

agrícolas e criação de animais. Segundo PIOTTO e HESPANHOL (2013), na indústria seu papel também é de destaque, pois ela é imprescindível como matéria prima, agente de aquecimento e resfriamento, para a limpeza dos equipamentos ou veículos para a preparação de suspensões, soluções ou reagente químicos.

VICTORINO, em 2007, relatou “A água doce, um recurso finito, é altamente vulnerável e de múltiplos usos, portanto deve ser gerida de modo integrado com mecanismos eficazes de coordenação e de implementação”, portanto, é necessário que, ao planejar sua utilização deve-se priorizar a proteção e conservação, juntamente com um manejo racional e sustentável. Com o aumento das atividades industriais e a produção de variados produtos, para as mais diversificadas aplicações, a necessidade de melhoria na qualidade e desenvolvimento aplicado através de cada procedimento, se tornou essencial durante o processo.

2.2 O processo galvânico

A galvanoplastia, ou eletrodeposição, segundo PEREZ *et al.*, em 2014, é o processo químico, ou eletroquímico, em que ocorre o depósito de várias camadas metálicas finas, que reagem ao fenômeno de eletrólise, ou seja, passa por uma reação de oxirredução. Seu surgimento ocorreu com a observação da contração muscular de rãs mortas quando em contato com diferentes metais pelo médico anatomista italiano Luigi Galvani (1737-1798), sem que houvesse aplicação de corrente elétrica externa, levando-o a concluir que certos tecidos geravam eletricidade por si mesmos, daí a denominação galvanoplastia.

Em 1799, ao repetir o experimento de Galvani, o físico italiano Alessandro Volta observou que, umedecendo o tecido muscular da rã em solução salina, este conduzia corrente entre diferentes metais, o que sugeriu que a eletricidade era produzida pelo metal que prendia a rã e não pelo seu tecido. Assim, a partir dessa conclusão ele produziu a primeira pilha, a bateria de Volta, empilhando vários discos de papel ou papelão molhados em água salgada, sendo todo o conjunto amarrado por arame de cobre. Mesmo rudimentar ela proporcionou importantes descobertas no campo eletroquímico, inclusive a eletrodeposição (CASAGRANDE, 2009).

O processo de galvanização para a indústria é muito relevante, pois ele proporciona que as peças recebam maior proteção contra a corrosão e melhor acabamento estético-decorativo (PEREZ *et al.*, 2014), entretanto, essa atividade causa impactos ao meio ambiente, pois, além de utilizar grande volume de água no seu processo, gera efluentes e resíduos perigosos, que devem ser tratados, para minimizar o impacto ambiental.

2.2.1 Etapas do processo galvânico

2.2.1.1 Redução de perda de água consumida no processo galvânico

A lavagem é, no processo de eletrodeposição, a certeza de qualidade. Ela atua na diluição ou diminuição da quantidade de sais arrastados pelas peças de um banho a outro, os quais influenciam negativamente na eletrodeposição. A concentração aceitável de eletrólito arrastado para a etapa seguinte do processo fica entre $1\text{ mg}/\ell$ e $100\text{ mg}/\ell$, dependendo do tipo e da composição do banho. A lavagem final, isto é, a última etapa de lavagem do processo, é responsável pela remoção de eletrólitos que podem influenciar na qualidade do recobrimento superficial, alterando suas características mecânicas ou corrosivas. É errado pensar que uma boa lavagem só pode ser realizada com o emprego de um grande consumo de água, é possível uma boa lavagem com uma pequena quantidade de água. Com o emprego de técnicas combinadas de lavagem (estanque e cascata) ocorre uma redução drástica no consumo de água e, conseqüentemente, uma concentração dos efluentes. A concentração do efluente permite que as empresas trabalhem com os sistemas de tratamento em batelada, com sistemas de troca iônica, ou mesmo com sistemas centrais de tratamento de efluentes (PONTE, 2014).

2.2.1.2 Minimizar o consumo de água no processo galvânico

A natureza tóxica dos compostos químicos presentes no processo galvânico está diretamente relacionada aos impactos ambientais e a saúde humana. Podemos destacar os resíduos químicos, como cromo hexavalente e o cianeto, que são contaminantes presentes no efluente líquido que, sendo descartados sem o devido tratamento, causam efeitos nocivos ao meio ambiente e a saúde humana (CENTRO MEXICANO PARA LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 1997).

O processo de tratamento de superfícies dispõe de várias etapas de lavagem. No passado era tido como o melhor tratamento aquele que fazia uso de grandes volumes de água e ocorria em uma ou duas lavagens, entretanto, hoje sabe-se que esse processo não é econômico e gera grandes quantidades de efluentes líquidos. A lavagem é considerada de maior qualidade e mais eficiente conforme maior o grau de diluição da película líquida que recobre a peça, sendo aquela que combina um grau de diluição adequado ao menor consumo de água. A metodologia de lavagem considerada, atualmente, a mais eficiente é a lavagem tripla em contracorrente e em cascata (PACHECO *et al.*, 2002).

É possível atender a qualidade do processo e reduzir, de forma considerável, os volumes das águas de lavagem gerando, conseqüentemente, economia de tratamento de efluentes e matéria prima, traduzido em ganhos ambientais (PACHECO *et al.*, 2002).

2.2.1.2.1 Água de lavagem no processo galvânico

Primeiramente, toda empresa precisa manter um padrão de qualidade e, para isso, a lavagem periódica do chão da fábrica, de todos os equipamentos e maquinários da produção são práticas essenciais para evitar contaminação por bactérias e fungos. Por isso, diversos tipos de efluentes tem origem nessa limpeza, sendo que, todos eles precisam passar por um tratamento, para descarte ou mesmo para reutilização no processo. Analisando um esquema típico de processo de galvanoplastia, o substrato entra sucessivamente em banhos: primeiro no banho de processo em si, ou banho forte, desengraxe, decapagem, deposição etc. Em seguida, os produtos passam por um segundo ou mais banhos (SILVA *et al.*, 2010).

2.2.1.3 Tipos de lavagem no processo galvânico

De acordo com Manuais Ambientais, da CETESB (PACHECO *et al.*, 2002) o objetivo das lavagens, no processo de galvanoplastia, é de reduzir, para níveis aceitáveis, as substâncias vindas do banho anterior por arraste, de maneira que não contaminem os banhos seguintes. As técnicas de lavagens normalmente utilizadas estão relacionadas ao tipo de processo, equipamento e tipo de circulação da água de lavagem, podendo ser:

- Lavagem por imersão;
- Descontínua (com ou sem tanque de recuperação);
- Contínua ou em “cascata”;
- Contínua com condutímetro economizador;
- Contínua com chave de fim de curso;
- Lavagem por jato d’água;
- Chuveiro com acionamento manual;
- Chuveiro com acionamento por pedal economizador;
- Chuveiro com acionamento automático;
- Lavagem com “spray”;
- Lavagem com turbilhonamento;
- Lavagem à quente;
- Lavagem química e eletroquímica;
- Técnica do “Skip”.

O tipo mais adequado de lavagem vai depender de cada empresa, variando conforme suas necessidades. Além do tipo de lavagem, também é um fator de redução de consumo da água o orifício limitante no chuveiro (CONSEQ, 2007).

2.2.1.3.1 Lavagem econômica no processo galvânico

A lavagem econômica é uma lavagem por imersão, conhecida também como tanque de recuperação. Nesse processo simplesmente mergulha-se as peças com as ganchetas no tanque, para que os contaminantes vindos arrastados do banho anterior

se transfiram para a água de lavagem. As lavagens podem ser classificadas em contínuas, em cascata, ou descontínua, de modo estanque (PACHECO *et al.*, 2002).

2.2.1.3.2 Lavagens com água corrente no processo galvânico

Segundo PONTE, em 2014, o investimento necessário para tratamento e/ou recuperação de recursos das águas de lavagem é determinado por dois parâmetros:

- A vazão a ser tratada, que influi no tamanho físico dos tanques/equipamentos etc., nos quais serão efetuadas as operações unitárias, implícitas no processamento posterior das águas de lavagem; (PONTE, 2014).
- O fluxo de massa de contaminantes, por influir na capacidade de estocagem e dosagem dos produtos químicos utilizados no processamento posterior das águas de lavagem contínuas. (PONTE, 2014).

4.2.1.3.3 Lavagem em cascata no processo galvânico

Na lavagem em cascata, ou contracorrente, a água entra de forma contínua em direção contrária à das peças. Essa técnica permite redução considerável nas vazões de água, contudo, essa eficiência demanda um controle de vazão rigoroso (PACHECO *et al.*, 2002).

Pode-se calcular a vazão necessária através da fórmula:

$$Q = T \cdot DO$$

Onde:

T = taxa de lavagem

Q = vazão da água de lavagem (ℓ/h)

DO = arraste de banho (ℓ/h)

Onde:

$$T = (C_i / C_n)^{1/N}$$

C = Concentração inicial

C^i = Concentração no tanque "N" (último tanque)

N^n = número de tanques de lavagem

Através da aplicação dos cálculos de vazão, observa-se o aumento do número de tanques em cascata, o valor da vazão da água de lavagem tende a se aproximar do valor do arraste, porém, esse aumento do número de lavagens adicionais gera um custo de investimento em mão de obra e processo. Recomenda-se para banhos de desengraxe e decapagem (banhos menos nobres) a lavagem dupla. Lavagens triplas, ou mesmo quádruplas, são indicadas para os banhos nos quais se deseja recuperar metais, ou repor perdas por evaporação. Em banhos onde ocorre muita evaporação, a saída do último tanque de um sistema de lavagem quádrupla pode ser utilizada para lavar as peças na saída do banho, sob forma de "spray", evitando-se qualquer descarte de águas de lavagem contendo cromatos (PACHECO *et al.*, 2002).

2.2.1.3.4 Lavagem estanque no processo galvânico

Lavagem estanque, ou descontínua, consiste em uma lavagem com volume constante, sem entrada nem saída de água no sistema. Devido esse processo a concentração dos banhos de lavagem aumenta continuamente chegando após determinado tempo a concentração limite, de mesmo valor a da água do banho de decapagem. Ao atingir essa concentração é necessário a troca da água de lavagem. A qualidade da lavagem está diretamente relacionada com a concentração da água na lavagem estanque, por essas características de lavagem sem combinação com técnicas de lavagem corrente, atinge critérios muito baixos. (FERREIRA *et al.*, 2020).

Todo processo pelo qual um determinado tipo de matéria se transforma em outro é denominado processo químico. A decapagem química, é o processo químico que na indústria tem o objetivo de remover oxidações indesejadas e outras impurezas (DOMINGUES, 2015).

Na eletrólise entre sólidos a reação é muito difícil de ocorrer devido à falta de contato entre suas moléculas, é necessário dissolver os sólidos em água ou outro solvente apropriado. Assim, através da reatividade e da afinidade química a reação

de oxirredução ocorre, onde um apresenta a tendência de ceder elétrons (metais) e outro a tendência de receber elétrons (não metais) (FELTRE, 2004).

No processo eletrolítico, o eletrodo negativo é chamado de ânodo e o eletrodo positivo é chamado de cátodo. Esses eletrodos ficam imersos em uma solução eletrolítica que recebe uma corrente contínua que proporciona o “transporte” dos íons pela solução, gerando assim uma diferença de concentração ao longo da solução (DENARO,1974).

De acordo com o Manual de Segurança e Saúde no Trabalho do SESI (SESI, 2007), as etapas do processo de galvanoplastia consistem em:

- Pré-tratamento (mecânico e/ou químico) → Tratamento → Pós-tratamento;
- Pré-tratamento – preparação da superfície a ser tratada com a finalidade de se obter boa aderência, uniformidade e aparência;
- Pré-tratamento mecânico - com o objetivo de retirar camadas de óxidos, resíduos de solda ou tinta e rebarbas, este processo se utiliza de escovas de aço, lixadeiras;
- Materiais abrasivos para promover escovação, lixamento, polimento ou jateamento;
- Pré-tratamento químico - consiste no desengraxe e decapagem;
- Desengraxe, realizado com solventes clorados como tricloroetileno e percloroetileno;
- Desengraxe alcalino feito com carbonato de sódio, hidróxido de sódio, fosfato, silicato, detergentes sintéticos, cianeto e complexantes tipo EDTA, glutamato e citrato de sódio;
- Desengraxe eletroquímico, no qual a peça é polarizada, catodicamente, anodicamente ou alternadamente, num meio alcalino;
- Decapagem, realizada numa solução ácida, geralmente ácido sulfúrico, clorídrico ou fluorídrico, para a remoção de camada de óxidos, hidróxidos ou outras impurezas sólidas;
- Tratamento - a peça a ser tratada, é ligada ao polo negativo de uma fonte de corrente contínua, tornando-se cátodo, no qual ocorre a deposição. O tratamento pode se desenvolver numa sequência de banhos;

- Pós-tratamento – lavagem a frio ou quente, secagem através de centrífuga, estufa ou jatos de ar, banho de óleo para embalagem e proteção, pintura ou verniz, embalagem, estocagem e expedição.

2.3 Tratamento de efluentes no processo galvânico

Trata-se por efluente todo resíduo gerado através das atividades humanas e industriais, e se descartados sem tratamento podem causar sérios danos ao meio ambiente e à saúde humana, já que são causadores de doenças como cólera e hepatites A e B (TERA, 2021). Podem ser divididos em dois tipos:

- Efluente doméstico - são aqueles provenientes em residências e empresas onde as fontes de poluição são: água de descarga, de banho, água de lavagem de roupa e utensílios de cozinha, fossas sépticas, restos de alimentos, água contaminada com sabão e detergente, esgoto e caixas de gordura de casas;
- Efluente industrial - são os rejeitos produzidos durante os processos produtivos de bens e serviços e que não são mais aproveitados, dentre eles água de lavagem e desinfecção de equipamentos, compostos orgânicos e inorgânicos, água residuária, esgoto sanitário, água de resfriamento, lodo líquido, entre outros, e efluentes gasosos emitidos pelas chaminés industriais que produzem estes efluentes devido a reações químicas em processo de combustão, os mais preocupantes são os óxidos de nitrogênio (NO e NO₂ – NO_x) e os compostos de enxofre (SO_x).

Segundo BRASÍLIA AMBIENTAL (2020), existe uma Legislação Específica de Atividades Industriais disposta nos decretos, resoluções, leis e NBRs abaixo:

- Decreto Distrital nº 18.328/1997 (Artigo 147 a 161) – Lançamentos de Efluentes Líquidos na Rede Coletora Pública de Esgoto Sanitário;
- Resolução CONAMA nº 1/1990 – Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política;

- Resolução CONAMA nº 267/2000 – Dispõe sobre a proibição da utilização de substâncias que destroem a Camada de Ozônio;
- Resolução CONAMA nº 316/2002 – Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos;
- Resolução CONAMA nº 357/2005 – Dispõe sobre a classificação dos corpos de água, diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências;
- Resolução CONAMA nº 430/2011 – Dispõe sobre 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 – CONAMA;
- NBR 7.500 – Símbolos de Risco e Manuseio para Transporte e Armazenagem de Materiais;
- NBR 9.800 – Critérios para Lançamento de Efluentes Líquidos Industriais no Sistema Coletor Público de Esgoto Sanitário;
- NBR 10.004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação;
- NBR 12.235:1992 – Armazenamento de resíduos sólidos perigosos – Procedimento;
- NBR 11.174:1990 – Armazenamento de resíduos classes II – não inertes e III – inertes;
- NBR 12.019: 1990 – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de material particulado – Método de ensaio;
- NBR 12.235 – Armazenamento de resíduos sólidos perigosos – Procedimento;
- NBR 13.221 – Transporte Terrestre de Resíduos;
- NBR 14.719:2001 – Procedimentos para o preparo e movimentação das embalagens;

2.3.1 Impacto ambiental no processo galvânico

Dia do meio ambiente, data criada pelas ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU), em 15 de dezembro de 1972, adquiriu grande importância neste momento crítico do planeta Terra. Essa efeméride é celebrada, mundialmente, em 5 de junho. Muito além de uma data comemorativa, esta data demanda uma séria

reflexão para toda a população mundial. Durante muitos anos, o desenvolvimento econômico foi baseado na exploração desenfreada de recursos naturais, porém, este modelo de “progresso” provocou uma série de impactos ambientais ao longo do tempo, em especial o aquecimento global.

A Resolução n. 357/2005 (BRASÍLIA AMBIENTAL, 2020) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, e estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes, adotando nesta resolução definições de água doce com salinidade igual ou inferior a 0,5 %, salobra com salinidade superior a 0,5% e salina com salinidade igual ou superior a 30% e define ainda a classe de qualidade como o conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros. Metais e reativos químicos são causadores desses impactos na natureza, apesar de serem a base dos processos de tratamento de superfície. A utilização destes componentes produz resíduos químicos e efluentes que irão afetar de forma drástica o meio ambiente bem como causar sérios problemas de saúde na população. Alguns efeitos podem ser observados rapidamente, outros levam alguns anos até se manifestarem em sua forma mais agressiva. É importante avultar que, independentemente de sua concentração ou nível de toxicidade, todo efluente deve ser tratado adequadamente.

Para efetuar o tratamento do efluente, é necessário avaliar o processo produtivo, as matérias primas utilizadas e os pontos de consumo de água, com o objetivo de reduzir a geração de efluentes, implantar sistema de reuso de água e verificar a necessidade de segregação de efluentes para o tratamento (PONTE, 2014).

2.3.2 Tipos de efluentes no processo galvânico

Segundo a CONSEQ (2007), embora os mais comuns sejam os efluentes líquidos, podem se encontrar resíduos no estado sólido como pilhas, embalagens de agrotóxicos, restos de alimentos, vidros, plásticos, entre outros, e efluentes gasosos do tipo monóxido de carbono, nitrogênio, óxidos de enxofre. Para esses efluentes existem padrões de descarte e muitos deles precisam de tratamento antes de saírem para a atmosfera. Os mais comuns são:

- Efluente com elevada carga orgânica- gerado nas etapas de cozimento e branqueamento da produção, no setor agroindustrial, é mais comum em abatedouros e frigoríficos, além das indústrias de laticínios;
- Efluente com metais pesados- esse tipo de efluente, mercúrio, chumbo, cádmio, manganês, cobalto e níquel, disponível na forma líquida ou gasosa, gera danos irreparáveis tanto para o meio ambiente quanto para o ser humano. Tem origem em indústrias de galvanoplastia, metalúrgicas e incineração do lixo urbano, onde os metais estão presentes em pilhas, aparelhos eletrodomésticos, computadores e celulares, ou indústrias de tinta, cloro e plástico que também podem gerar esse tipo de efluente;
- Efluente com contaminantes emergentes- são fármacos, hormônios, pesticidas, entre outros, gerado em indústrias, residências e hospitais.

2.3.2.1 Efluentes líquidos no processo galvânico

Os resíduos gerados a partir de atividades humanas diversas, são denominados efluentes líquidos, podendo ser de origem domésticas ou industriais, e afetar o meio ambiente. Portanto, devem ser estabelecidas metas para o melhoramento no controle da emissão dos efluentes, bem como seu tratamento, uma vez que cada setor gera resíduos a uma quantidade diversificada, de acordo com suas atividades, e, cada caso deve receber uma devida atenção, (FUNED-MG, 2020).

De características qualitativas ou quantitativas, os efluentes domésticos estão diretamente ligados à sua origem e como foram gerados, tendo a presença de matéria orgânica além de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, e os industriais terão suas características ligadas ao processo produtivo, sendo importante ressaltar a grande oscilação de características do efluente gerado, que pode ser de indústria para indústria, ou até mesmo dentro de uma mesma planta industrial ao longo dos dias e até mesmo de horas, sendo este um grande desafio quando se pensa no tratamento de efluentes industriais. A nível nacional, a Resolução CONAMA 430/11, de 13 de maio de 2011, rege as condições através de normas específicas para que o lançamento desses efluentes líquidos seja feito na rede das concessionárias de

abastecimento de água e esgoto, e o PRECEND COPASA, de 2020, rege os padrões de lançamento de efluentes industriais na rede da companhia (PINTO, 2021).

De maneira geral, os processos de tratamento podem ser separados conforme as operações utilizadas na remoção dos poluentes ou tipo de processo e tecnologias utilizadas para esse fim. Os principais tipos de tratamentos de efluentes resumem-se em três: tratamentos primários, que removem sólidos em suspensão, pela necessidade de tratar o efluente antes de lançar no meio ambiente e assim haver um maior controle da poluição das águas, e depois dessa etapa, o efluente ainda não está seguro para ser lançado no meio ambiente, precisando passar pelos tratamentos secundários e terciários (FOGAÇA, 2022). As ETEs convencionais aplicam cinco etapas aos efluentes coletados: pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário, tratamento do lodo e tratamento terciário, onde, geralmente, são tratamentos físico-químicos ou biológicos (EOS, 1997).

Pré-tratamento: Consiste em sujeitar os efluentes à forte separação de sólidos através dos processos de gradeamento e desarenação. O gradeamento é realizado por grades metálicas que funcionam como uma barreira para os sólidos que ficam detidos por elas e então, retiram-se os sólidos de maiores dimensões garantindo segurança aos equipamentos das estações e não danificam os dispositivos ao longo da unidade. A desarenação remove através da sedimentação os flocos de areia (grãos de areia), que vão para o fundo do tanque, por serem mais pesados, enquanto que, as matérias orgânicas vão para a superfície. Esse processo facilita o transporte e conserva os equipamentos (EOS, 1997).

Tratamento primário: Consistem em agregar processos químicos e físicos para a correta e completa absorção dos elementos poluentes, faz com que os sólidos em suspensão sedimentáveis sejam removidos através da suspensão, floculação, remoção das partículas sólidas como óleos e graxas, equalização da água e neutralização, onde o processo é encerrado, equilibrando o pH da água e conferindo a ela uma maior taxa de normalidade (CONSULTEC PA, 1991).

Tratamento Secundário: De acordo com SPERLING (1995) e SPERLING (2014), após o tratamento preliminar e primário, os esgotos sanitários são encaminhados para o tratamento secundário, para remover matéria orgânica medida como DBO em suspensão, DBO em suspensão finamente particulada e DBO solúvel, onde o principal objetivo é a remoção de matéria orgânica solúvel e a de baixa velocidade de

sedimentação, essa remoção é feita pela atividade biológica de bactérias, fungos, protozoários, entre outros organismos, onde os microrganismos convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular em condições aeróbias e gás metano e água em condições anaeróbias. O tratamento secundário pode ser realizado por diversos sistemas e unidades de tratamento, e os mais utilizados são:

- Lagoas de estabilização: facultativa, anaeróbia seguida de facultativa, aerada facultativa e aerada de mistura completa seguida de decantação, maturação, alta taxa e polimento (SPERLING, 1995);
- Disposição no solo: infiltração lenta, infiltração rápida, infiltração subsuperficial e infiltração superficial (SPERLING, 2014);
- Terras úmidas construídas: fluxo superficial e fluxo subsuperficial (SPERLING, 2014);
- Processos anaeróbios: reator anaeróbio de manta de lodo, fossa séptica seguida de filtro anaeróbio (SPERLING, 2014);
- Lodos ativados: convencional, com aeração prolongada, fluxo intermitente (SPERLING, 2014);
- reatores aeróbios com biofilmes: filtro biológico de baixa carga, filtro biológico de alta carga, biofiltro aerado submerso, biodisco (SPERLING, 2014).

Tratamento do lodo: Segundo a ideologia usada pela TERA AMBIENTAL (2021), o lodo é a mistura de substâncias que contém minerais, coloides e material orgânico decomposto classificado em duas categorias: orgânico e inorgânico. O tratamento do lodo depende de fatores como tecnologia, disposição final e espaço físico disponível, já que variáveis pode alterar as características físicas, químicas e biológicas do material que tem caráter complexo. O objetivo do tratamento do lodo é a redução de volume e a estabilização de matéria orgânica, e entre as alternativas que estão sendo implementadas para reaproveitamento do lodo galvânico, está a produção de pigmentos inorgânicos, atividade que têm sido avaliadas por diversos pesquisadores, em razão do lodo ser um resíduo que possui altos teores de alguns elementos químicos de transição importantes para as composições dos pigmentos (ABREU, 2006). Um desses metais é o cromo, segundo BRASIL (2017), é o metal que mais forma pigmentos inorgânicos dentre os metais pesados tóxicos cobre (Cu), níquel (Ni), zinco (Zn) e cromo (Cr) comumente encontrados no lodo galvânico, onde esses sistemas de tratamento geram resíduos como espuma, material gradeado, areia, lodo

primário e lodo secundário, e a disposição desses subprodutos depende do teor de sólidos presente nos resíduos, já o material gradeado, a espuma e a areia devem seguir para disposição final em aterro sanitário.

Tratamento Terciário: Tem por objetivo remover nutrientes, organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão que compõem esse nível de tratamento removendo os poluentes previamente citados. A eficácia do tratamento é dada pela porcentagem de remoção de determinado poluente por meio de uma equação, propondo como forma de tratamento as características qualitativas e quantitativas das águas residuárias a serem tratadas (EOS, 1997).

$$E(\%) = \frac{C_a - C_e \times 100}{C_a}$$

Em que:

E = eficiência de remoção (%);

C_a = concentração do poluente no afluente (mg/ℓ);

C_e = concentração do poluente no efluente (mg/ ℓ).

A NBR 10.004 (ABNT, 2004), que classifica como resíduo de classe I (perigoso) os efluentes galvânicos gerados no processo de eletrocoagulação, observa-se uma elevada concentração de metais pesados no lodo gerado, cuja composição varia conforme o tipo de banho galvânico realizado. Com o crescimento da exigência de implantação de políticas ambientais, as indústrias estão cada vez mais interessadas em maneiras de reduzir esses resíduos, bem como em desenvolver meios viáveis para o reaproveitamento e estabilização destes, para a disposição final de forma segura (ROCHA *et al.*, 2017).

A resolução 375, de 30 de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006), define que os lodos primários e secundários necessitam de tratamento antes da disposição final e os critérios a serem seguidos para a utilização do lodo. Os tipos de tratamento são baseados em consonância com o objetivo pretendido, e estão divididos em adensamento, estabilização, desaguamento, secagem térmica e incineração

2.3.2.2 Efluentes gasosos no processo galvânico

Segundo a PROPEQ (2021), são emitidos, pelas indústrias, efluentes gasosos que são formados por poluentes atmosféricos, materiais particulados, óxidos de enxofre e nitrogênio e monóxido de carbono. Existem leis que definem padrões de qualidade do ar a serem respeitados, sendo possível monitorar as concentrações de poluentes próximas a uma empresa, e formas de evitar ou diminuir a poluição atmosférica proveniente da sua indústria: alterando a formação dos contaminantes e impedindo seu lançamento na atmosfera. A primeira envolve modificações e melhorias dentro do processo produtivo, aumentando sua eficiência e diminuindo gastos e geração de resíduos a partir da otimização e a segunda pode ocorrer por meio do emprego de equipamentos que controlem as emissões gasosas para o ambiente depois de formadas. Alguns deles são:

- Absorvedores: utilizados para a absorção de gases, a partir da transferência de matéria de uma fase gasosa para uma fase líquida;
- Adsorvedores: superfícies adsorventes, as quais são materiais sólidos, porosos e de grande área superficial, que conseguem remover gases presentes em baixas concentrações. Isso ocorre por meio de interações físicas ou químicas entre o material e as moléculas do gás, causando a retenção destas;
- Ciclones e multiciclones: realizam a separação gás/sólidos pelo efeito da força centrífuga;
- Filtros de tecido: removem partículas poluentes de um fluxo gasoso, com alta eficiência de coleta e resistência à corrosão;
- Flares: equipamentos localizados no ponto de emissão dos poluentes, promovendo a queima destes em espaços abertos;
- Lavadores de gás: removem contaminantes gasosos pelo contato do gás com o líquido, de modo que sua eficiência depende da forma de interação entre essas duas substâncias;
- Incinerador de chama direta: câmaras de combustão, nas quais a alta temperatura promove a completa oxidação dos poluentes.

De acordo com Legislação Aplicável – Emissões Atmosféricas, abaixo as principais Resoluções, Leis, Decretos e Métodos de Coleta e Análise de Emissões Atmosféricas Federal e Estadual (PROPEQ, 2021).

Federal:

- Resolução CONAMA nº 5/89: Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR;
- Resolução CONAMA nº 3/90: Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR;
- Resolução CONAMA nº 382/06: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas após 02 de janeiro de 2007;
- Resolução CONAMA nº 436/11: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007;

Estadual:

- Lei Estadual nº 997/76: Dispõe sobre a prevenção e o controle da Poluição do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 8468/76 e suas alterações, em especial à redação dada pelo Decreto nº 54.487/09;
- Decreto Estadual nº 8.468/76: Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente;
- Decreto Estadual nº 50.753/06: Altera a redação e inclui dispositivos no Regulamento aprovado pelo Decreto n. 8.468, de 8 de setembro de 1976, disciplinando a execução da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre controle da poluição do meio ambiente e dá providências correlatas;
- Decreto Estadual nº 52.469/07: Altera a redação de dispositivos do Regulamento aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente, confere nova redação ao artigo 6º do Decreto nº 50.753, de 28 de abril de 2006, e dá providências correlatas;
- Decreto Estadual nº 54.487/09: Altera a redação e inclui dispositivos e anexos no Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto

nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente e dá outras providências;

- Decreto Estadual nº 59.113/13: Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas;
- Decisão de Diretoria Cetesb nº 10/10/P: Dispõe sobre o Monitoramento de Emissões de Fontes Fixas de Poluição do Ar no Estado de São Paulo – Termo de Referência para a Elaboração do Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas (PMEA).
- Métodos de Coleta e Análise de Emissões Atmosféricas - Normas CETESB:
- L9.224 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação da Umidade dos Efluentes - Método de Ensaio (agosto/93);
- L9.226 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Dióxido de Enxofre – Método de Ensaio (março/92);
- L9.227 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Enxofre Reduzido Total (ERT) – Método de Ensaio (março/93);
- L9.228 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação de Dióxido de Enxofre e de Névoas de Ácido Sulfúrico e Trióxido de Enxofre - Método de Ensaio (junho/92);
- L9.229 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação de Óxidos de Nitrogênio - Método de Ensaio (outubro/92);
- L9.230 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Amônia e seus compostos – Método de Ensaio (set/93);
- L9.231 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Cloro Livre e Ácido Clorídrico – Método de Ensaio (maio/94);
- L9.233 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Sulfeto de Hidrogênio – Método de Ensaio (dez/90);
- L9.240 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Acompanhamento de amostragem (setembro/95);

2.3.2.3 Resíduos sólidos no processo galvanico

As classificações dos resíduos sólidos possuem diferentes tipos, para os quais são empregados métodos diversos de armazenamento, tratamento e destinação final, devido as características diferentes, separando os resíduos industriais em perigosos e não perigosos. O objetivo é evitar a contaminação de um pelo outro e garantir o tratamento adequado de ambos, de modo a neutralizar aspectos negativos do resíduo, podendo inclusive transformá-lo em um produto que possa ser aproveitado para a geração de renda (como matéria-prima, por exemplo). Alguns dos métodos de tratar rejeitos incluem: tratamento mecânico, tratamento bioquímico e tratamento térmico (PROPEQ, 2021).

- Tratamento mecânico: é a realização de procedimentos com ocorrência física dos rejeitos inertes ou não inertes, por meio das etapas de diminuição do tamanho das partículas: trituração, quebra, mistura de substâncias: compactação, separação de fases físicas: sedimentação, filtração, decantação e mudanças dos estados físicos: condensação, evaporação. A reciclagem é o processo de reaproveitamento do resíduo que não serve mais para o processo, e consiste na reintrodução dos resíduos no processo de produtos, com mudanças em seus estados físico, físico-químico ou biológico, de modo a atribuir características para que se torne novamente matéria-prima ou produto (VGR, 2022);
- Tratamento bioquímico: se dá através da ação de microrganismos (seres vivos) que se alimentam dos restos, quebram as moléculas e as transforma em uma mistura de substâncias. Quando esse processo é realizado por meio de processo biológico de decomposição da matéria orgânica (compostagem), o resultado final é um composto orgânico, que pode ser utilizado no solo sem ocasionar riscos ao meio ambiente, ou pode acontecer ainda pela decomposição da matéria orgânica sem a presença de oxigênio (biodigestão), lembrando que somente os resíduos não inertes podem ter este tipo de tratamento (VGR, 2022);
- Tratamento Térmico: de acordo com a tecnologia, o processo é aplicado aos resíduos perigosos e os inertes, que recebem calor por determinado tempo e resultam na mudança das suas características durante o procedimento, com o objetivo de reduzir o volume devido aos processos físico-químicos (EOS,1997). Os tratamentos térmicos conhecidos são:

1. Incineração: oxidação total da matéria com temperaturas variando entre 850 e 1300 °C;
2. Pirólise: decomposição da matéria a altas temperatura na ausência de oxigênio. Temperaturas variam entre 200 e 900 °C;
3. Plasma: desintegração da matéria para a formação de gases.

No Brasil, a lei de número 12.305, de 2 de agosto de 2010, regula e institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, não se aplicando aos rejeitos radioativos, que são regulados por legislação específica, considerando as tendências de mercado, forma que outros países e entes federados tratam seus resíduos, que nortearão os próximos Planos Nacionais de Resíduos Sólidos (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2010).

De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 10.004/2004, é classificado como resíduos sólidos ou semissólidos, todos os resíduos resultantes das atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar comercial, agrícola, serviços e varrição, sendo incluído o lodo vindo de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, assim como efluentes cujas particularidades não seja possível seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água. Esta norma classifica os resíduos industriais em 3 categorias:

- Resíduos classe I – perigosos:

São os resíduos classificados como inflamável, corrosivo, reativo, tóxico, patogênico, apresentando risco à saúde pública e aumentando o risco de mortalidade ou incidência de doenças, efeitos adversos ao meio ambiente quando dispostos ou manuseados de maneira inadequada. Exemplo: lama de cromo, borras oleosas, lodo de estação de tratamento;

- Resíduos II a - não inertes:

Resíduos que podem apresentar propriedades como solubilidade, biodegradabilidade, combustibilidade. Estes resíduos não se enquadram nos perigosos e nem nos inertes. Exemplo: papel, papelão, madeira, tecido e restos de alimentos;

- Resíduos II b – inertes:

Resíduos que através de testes de solubilidade, (conforme a norma NBR 10.006 - solubilização de resíduos) não obteve nenhum constituinte solubilizado a concentrações superiores de potabilidade (conforme NBR 10.004).

O lodo proveniente do tratamento de efluentes pode apresentar coloração azul, verde, cor de tijolo, branco leitoso, ou marrom acinzentado, e seu pH pode chegar a valores extremos, necessitando dessa maneira acondicionamento e destinação adequados, ele deve ser manejado, a fim de que seja removida a maior parte de umidade, visto que esta redução impacta diretamente em custo de disposição, pois geralmente paga-se por quilo do lodo depositado. Para sua destinação final, o lodo deve ser armazenado em saco plástico e lacrado em tambor (PEREZ *et al.*, 2014).

O destino adequado é dado de acordo com a composição do resíduo, podendo ser aterro químico (resíduo não pode conter matéria orgânica, ser líquido ou plasmático), incineração em fornos de cimento (resíduo não pode conter cloro em sua composição pois pode causar a formação de dioxinas e furanos, compostos altamente tóxicos) ou landfarming (degradação do material por microrganismos em um terreno por escarificação contínua do resíduo com a terra). Os principais metais tóxicos relacionados a galvanoplastia são: prata (Ag), arsênio (As), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), chumbo (Pb), antimônio (Sb), selênio (Se), ferro (Fe) e zinco (Zn), metais pesados que a depender da concentração e tempo de exposição, oferece risco à saúde e ao meio ambiente (PEREZ *et al.*, 2014).

2.3.3 Filosofia de tratamento no processo galvânico

A água é utilizada na indústria de diversas formas, limpeza de equipamentos, sistemas de resfriamento e geração de vapor ou etapas diretas da produção. Os volumes de água que não são perdidos por evaporação ou não incorporados ao produto tornam-se contaminados por resíduos do processo industrial ou por perdas de energia térmica, formando os efluentes líquidos, que despejados em corpos hídricos, alteram sua qualidade, poluindo-os. A composição química e os poluentes incorporados no líquido variam muito com os processos de tratamento que podem ser

empregados, classificando-os em físicos, químicos e biológicos, e geralmente atuam em conjunto para que os resíduos sejam completamente tratados (PROPEC, 2021).

De acordo com FOGAÇA, em 2022, o tratamento ideal para cada tipo de efluente é indicado de acordo com a carga poluidora e a presença de contaminantes.

2.3.3.1 Tratamento por batelada no processo galvânico

Segundo a EUROPEAN - PROTEÇÃO AMBIENTAL, uma Estação de Tratamento de Efluentes por batelada tem por característica principal tratar efluentes por meio de reatores cujas composições tem tendência a variar de uma batelada para outra, garantindo a qualidade para a água tratada, dentro dos parâmetros pré-estabelecidos. É o regime de tratamento mais encontrado nas galvanoplastias de São Paulo por ser permitido pela legislação vigente para efluentes de galvanoplastia, visto que qualquer mal funcionamento de instrumentos analíticos poderá resultar no lançamento de efluentes bem fora dos padrões legais.

1) Tipos de tratamentos possíveis na estação:

- Acerto de pH;
- Quebra de Emulsões;
- Precipitação de Metais;
- Coagulação de Tintas;
- Redução de DQO;
- Redução da DBO;
- Oxidação de Sulfetos, Nitritos e Cianetos;
- Redução de Cromo Hexavalente;
- Coagulação de Plastificantes;
- Floculação de sólidos em suspensão (Clarificação e descontaminação da água com possibilidade de reaproveitamento industrial).

2) Características da estação:

- Tratamento em bateladas de 1.000 ℓ a 10.000 ℓ;
- Dosagem por Venturi dos produtos químicos;
- Controle eletrônico de pH;
- Agitação mecânica;
- Decantação dentro do reator (dotado de fundo cônico);
- Construção em polipropileno, incluindo reator e tubulações;
- Leito de secagem em Plástico ou Filtro Prensa;
- Tanques de Preparo de Polímero com agitação mecânica;
- Tanques de Preparo de Cal/Barrilha com agitação mecânica;
- Possibilidade de Automatização;
- Extremamente compacta.

2.3.3.2 Tratamento por regime misto no processo galvânico

Meio termo para proceder as operações de oxidação de cianeto e de redução de cromo hexavalente em batelada e, em seguida, as duas correntes pré-tratadas são bombeadas ao longo de várias horas para uma etapa contínua composta de neutralização, floculação e decantação, onde os pré-tratamentos estão em andamento, o operador tem tempo para verificar o funcionamento/calibração do controlador de pH e preparar soluções. Terminados os pré-tratamentos, pode-se até verificar as condições de floculação, dosagem de polieletrólito etc., antes de iniciar a etapa contínua (PONTE, 2014).

2.3.3.3 Tratamento contínuo no processo galvânico

As instalações para tratamento contínuo são utilizadas nos tempos atuais unicamente em lugares onde são necessárias grandes quantidades de águas de lavagem e onde, por motivos técnicos, não podem ser instalados sistemas mais

econômicos, nos casos de decapagem e da anodização. As águas de lavagem não contêm substâncias perigosas em ambos os casos e a neutralização final das águas de lavagem é livre de metais, mas com alto teor alcalino e pode ser realizada com uma instalação de tratamento contínuo que trabalha automaticamente (GOEMA, 1978).

2.3.4 Segregação dos rejeitos no processo galvânico

2.3.4.1 Precipitação dos metais no processo galvânico

Consiste em um tipo de tratamento térmico que busca precipitar uma segunda fase no material, na forma de precipitados finos e bem distribuídos, e partir de uma solução sólida supersaturada, que tem por objetivo aumentar a resistência mecânica (UFSCAR).

2.3.4.2 Coagulação e floculação no processo galvânico

O processo de coagulação química é realizado normalmente através da adição de sais de alumínio ou ferro, precedidos ou não de decantadores ou flotores, onde a operação é resultado da reação do coagulante com a água, formando espécies hidrolisadas com carga positiva, e do contato destas espécies com as impurezas que altera o meio da força iônica permitindo que partículas se aproximem e se juntem, formando flocos. Floculação é um processo de partículas que unem os coágulos, formando os flocos (VOLTRAN. 2014).

2.3.4.3 Decantamento, adensamento e desaguamento no processo galvânico

Amplamente utilizados no Tratamento de Efluentes Industriais e de Água, e em Estações de Tratamento de Esgotos, os adensadores tem por finalidade reduzir o

volume do lodo. De acordo com WANG (2007), é definido como adensamento a remoção da água do lodo para conseguir uma redução da massa lodosa, que resulta numa solução ainda muito líquida. Como medida econômica, o adensamento é utilizado no tratamento de lodo na fase sólida convencional e o princípio de funcionamento é simples, o lodo proveniente do tanque decantador é recebido no centro do tanque onde um defletor circular central dirige o fluxo do lodo para baixo forçando a sua deposição no fundo, o clarificado é recolhido na canaleta periférica do tanque e retorna para o tratamento primário onde o raspador direciona o lodo decantado para o poço central e o mesmo é acumulado e concentrado sendo posteriormente removido por carga hidráulica ao processo de desidratação num nível secundário que reduz o volume de lodo e tem melhor eficiência nos processos subsequentes. Na medida em que diminui o volume de lodo, através do adensamento, necessitam-se de menos espaços físicos e equipamentos necessários nas etapas de desaguamento e disposição final diminuindo os custos da operação e implantação.

Avaliando e estudando diferentes tipos e dosagens de polímeros aplicados no lodo proveniente do processo de decantação que utiliza sais de ferro como coagulante, TEIXEIRA e FERREIRA FILHO (1999) observaram nos resultados obtidos após ensaios em colunas de sedimentação, que a influência do condicionamento do lodo gera diferentes comportamentos de acordo com o polímero adicionado. Os polímeros catiônicos e não-iônicos promoveram um aumento sensível da velocidade de sedimentação, enquanto o polímero aniônico atuou de forma contrária. Esse comportamento é decorrente das partículas, presentes na água de lavagem, serem negativas, e a adição de polímero aniônico pode ter incrementado ainda mais as forças de repulsão entre os flocos, piorando as condições de sedimentação.

2.3.4.4 Redução do cromo no processo galvânico

A redução biológica do cromo hexavalente (Cr^{6+}) pode ocorrer diretamente, como resultado do metabolismo microbiano e atividade da enzima “cromato redutase”, ou indiretamente, em condições anaeróbias por meio de metabólito bacteriano como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), (LOVLEY, 1993). A reação de redução de cromo hexavalente para cromo trivalente é suficientemente rápida para que a conversão não

seja afetada pela diferença de temperatura que resulta no uso de hidrogenosulfito de sódio (NaHSO₃) mais concentrado ou menos concentrado. A redução do cromo pode ser realizada fazendo uso do sulfato de ferro II, uma vez que esse reage com cromo hexavalente formando cromo trivalente (ABREU, 2006).

2.3.4.5 Pré-tratamento para oxidação do cianeto no processo galvânico

As regras de lavagem de processos galvânicos que contêm em suas formulações os íons cianeto, devido à sua toxicidade e risco ambiental, necessitam de segregação e processos de tratamento para a sua destruição e conformação de lodos galvânicos específicos, ou passar por tratamento de remoção dos cianetos e complexos cianídricos. Realizados estes processos corretamente, é permitido o reuso da água em circuito fechado, o que resultaria em preservação do nosso manancial de água, impactando em melhora do meio ambiente. O cianeto é “destruído” em 2 etapas de reações físico-químicas de oxidação, pelo método da cloração alcalina. O processo utiliza cloro gasoso ou proveniente de hipocloritos de sódio ou hipoclorito de cálcio. Na primeira fase de oxidação alcalina, em pH 12, o cianeto é convertido a cianato e posteriormente, em pH 8, cianato é convertido a gás carbônico, nitrogênio e amônia (ASCENÇÃO *et al.*, 2007).



2.4 DESENVOLVIMENTO/METODOLOGIA

- ✓ Oxidação;
- ✓ Coagulação-floculação;
- ✓ Decantação;
- ✓ Filtração.

2.4.1 Execução dos testes

2.4.1.1 Material utilizado

- Metabissulfito de sódio;
- Água residual, proveniente do processo galvânico;
- Soda cáustica;
- Hipoclorito de Sódio, à 12%;
- Policloreto de alumínio (PAC), a 18%;
- Polímero aniônico a base de poliacrilamida;
- Zeólitas;
- Espátula de silicone adaptada, para ser usada como pá de agitação;
- Béquer de 1000ml;
- Béquer de 100ml;
- Bastão de vidro;
- Pipeta volumétrica de 10,00ml;
- Parafusadeira a bateria;
- pHmetro digital;
- Equipamento para Banho Maria.

2.4.1.2 Recolhimento das amostras tratadas para análise

Para a execução do trabalho, contamos com a colaboração da empresa “Gata Folhados”, de Limeira-SP, que forneceu o efluente galvânico, e do Laboratório da ETA - Estação de tratamento de água da Arcelormittal, unidade de Piracicaba-SP (com o acompanhamento e orientação de Ronaldo Berreta e do Químico Responsável pelo laboratório Lucas Silva Martinez), que nos forneceu os equipamentos para que fizéssemos as análises de todo o material. A metodologia aplicada ao trabalho consistiu em:

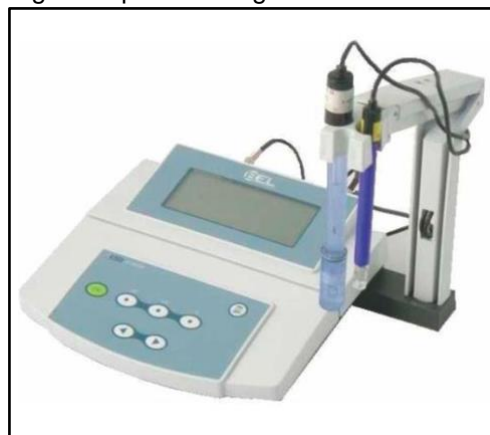
Para amostra “A”, colocamos 500ml de efluente, oriundo do processo galvânico, em um béquer de vidro de 1000ml (Fig. 1). Realizamos a medida do pH inicial da amostra, com um pHmetro digital (Fig. 2), quando aferimos um pH 2,11. Adicionamos 0,2g de metabissulfito de sódio a amostra do efluente. Esta adição resultou num composto inorgânico para tratamento da água, o qual foi agitado por 10 minutos, utilizando uma parafusadeira à bateria com uma espátula de silicone adaptada (Fig. 3, pag. 41).

Figura 1: A – Béquer de 1000ml; B – 500ml de efluente.



Fonte: Próprios autores.

Figura 2: pHmetro digital.



Fonte: Próprios autores.

Figura 3: Parafusadeira, à bateria, com uma espátula de silicone adaptada.



Fonte: Próprios autores.

Passado este período de agitação, usando novamente o pHmetro, fizemos a medição do pH da solução, quando aferimos um pH de 6,27. Na sequência, adicionamos uma solução de soda cáustica (NaOH), com a finalidade de elevar o seu pH até 12. Em seguida, acrescentamos 2ml de hipoclorito de sódio (NaClO), a 12%, para neutralizar o pH, e voltamos a homogeneizar a mistura por 10 minutos.

Após este procedimento, efetuou-se, a adição de policloreto de alumínio (PAC), a 18%, alterando o pH até chegar a pH 8. Então, passamos a agitar a solução por 10 minutos, e conferimos o valor de pH da solução (pH 7,98). Na sequência, preparamos 6,0g de polímero aniônico à base de poliácridamida, em banho Maria (Fig. 4), de modo a reduzir este polímero em pequenas porções, para facilitar a sua homogeneização, e adicionamos à solução.

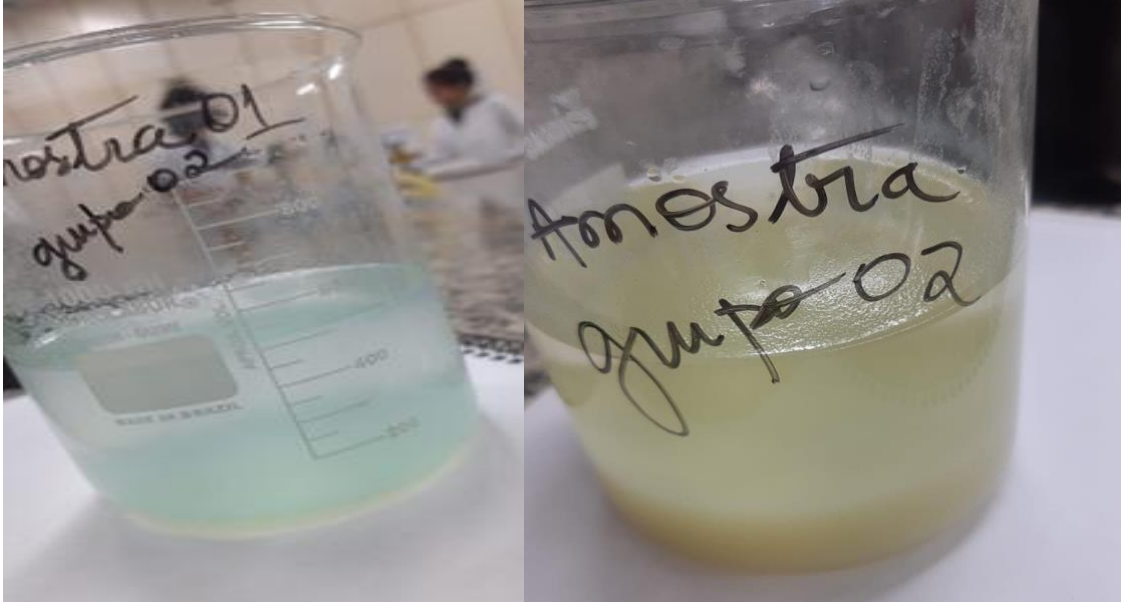
Figura 4: Equipamento para “Banho Maria”.



Fonte: Próprios autores.

Deixamos a solução descansar por 8 horas, de modo que todo o “lodo” se decante ao fundo do recipiente (Fig. 5).

Figura 5: A- 1ª Amostra “A”; B- 2ª Amostra “A” (após o período de descanso para decantação).



Fonte: Próprios autores.

Feito isso, estando com a água tratada em mãos, recolhemos 10ml da água superficial, com uma pipeta volumétrica (Fig. 6), e encaminhamos o material coletado para a realização da análise da mesma, a fim de confirmar a eficiência do método de tratamento da água residual.

Figura 6: Pipeta volumétrica de 10ml.



Fonte: Próprios autores.

Para amostra “B”, colocamos 500ml de efluente, oriundo do processo galvânico, em um Béquer de vidro de 1000ml. Realizamos a medida do pH inicial da amostra, com um pHmetro digital, quando aferimos um pH 2,11. A amostra “B” passou por uma filtragem simples, em 5,0g de zeólitas, correspondente aproximadamente a 1% do volume da amostra (Fig. 7). Finalizado o processo de filtração, usando um pHmetro, fizemos a medição do pH da solução, que mensurado em pH 2,03. Feito isso, estando com a água tratada em mãos, recolhemos 10ml da água superficial, com uma pipeta volumétrica, e encaminhamos o material coletado para a realização da análise da mesma, a fim de confirmar a eficiência do método de tratamento da água residual, no que tange a remoção de metais.

Figura 7: Zeólitas.



Fonte: Próprios autores.

Salientamos que o pH desta amostra, após o uso das zeólitas, continuou baixo (pH ácido), portanto, ainda impróprio para retornar a rede pública de esgoto. Logo, precisa ser alcalinizada, ou seja, ter o seu pH elevado até 8.

2.4.1.3 Execução dos testes

De posse das amostras (Fig. 8, pag. 44), resultantes dos processos de tratamento de efluentes, as mesmas foram encaminhadas para Arcelormittal (Piracicaba), para que fosse realizado os testes que avaliaram a eficiência dos métodos de tratamento de efluente realizados.

Figura 8: Amostras de efluentes tratados, enviados para análise.

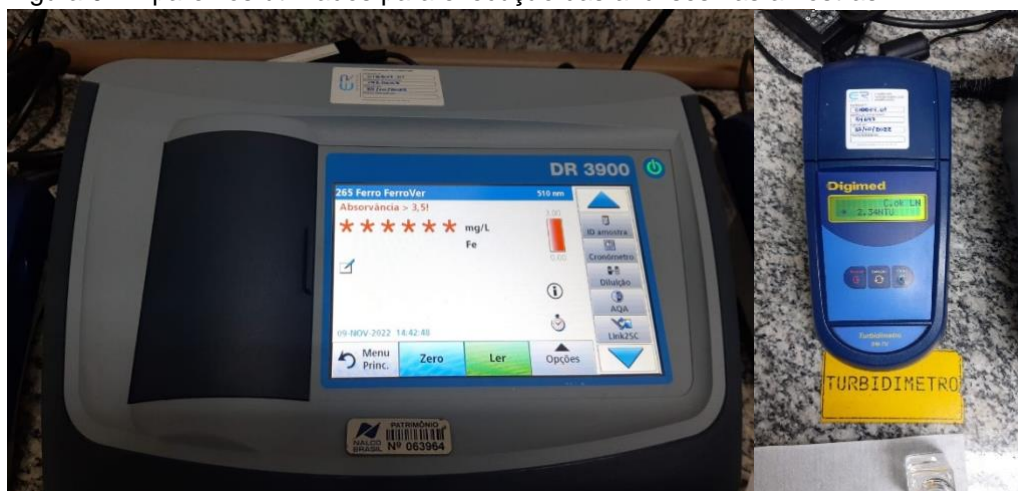


Fonte: Próprios autores.

2.4.1.4 Análise das amostras tratadas

Todas as amostras foram analisadas pelos equipamentos Phmetro DM- 2P Digimed, Condutivímetro DM-32 Digimed, Turbidímetro DM-TU Digimed, Espectrofotômetro Hach DR 3900 e Micropipeta Monocanal (volume ajustável) Olen-1000 a 10000 μ l (Fig. 9).

Figura 9 – Aparelhos utilizados para execução das análises nas amostras.



Fonte: Próprios autores.

2.5 Resultados

Após realizarmos os testes de qualidade das amostras, quando dados obtidos e nos revelaram informações pertinentes ao comportamento do efluente após passar por dois distintos métodos de tratamento, com o objetivo de remover o ferro (Fe) e o cobre (Cu) presentes nos efluentes resultante de processos galvânicos. A tabela 1, esclarece os comportamentos dos valores de pH, temperatura, turbidez, condutividade, para as amostras. Enquanto, a tabela 2 demonstra, para as amostras, a quantidade de ferro (Fe) presente, quantidade de cobre (Cu) presente e quantidade de sólidos suspensos à 810 nm, para o efluente do processo galvânico. Salientamos que, a Amostra "A" (efluente tratado por uma variação do modo tradicional usado pelas galvânicas) e a Amostra "B" (efluente filtrado com zeólitas) apresentaram comportamentos deferentes, decorrente de diferentes métodos de manuseio das amostras.

Tabela 1 - Valores de pH, temperatura, turbidez e condutividade.

	pH	Temp.	Turbidez	Condutividade
Efluente	2,11	25°C	93,3 NTU	4.093 $\mu\text{s/cm}$ a 25°C
Amostra "A"	7,98	25°C	6,66 NTU	13.831 $\mu\text{s/cm}$ a 25°C
Amostra "B"	2,03	25°C	6,86 NTU	4.784 $\mu\text{s/cm}$ a 25°C

Fonte: Próprios autores.

Tabela 2 - Valores de quantidade de Fe presente, quantidade de Cu presente e quantidade de sólidos suspensos.

	Fe	Cu	Sólidos Suspensos 810nm
Efluente	3,5 mg/ℓ	6,19 mg/ℓ	140 mg/ℓ
Amostra "A"	0,20mg/ℓ	1,65 mg/ℓ	20 mg/ℓ
Amostra "B"	2,5 mg/ℓ	4,69 mg/ℓ	35 mg/ℓ

Fonte: Próprios autores.

2.6 Discussão

De posse dos dados fornecidos pelas análises das amostras deste estudo pudemos discutir nossos resultados com a bibliografia do assunto, disponível ao nosso alcance.

A realização do método convencional de tratamento de efluentes oriundos de processos galvânicos, preconiza a agitação, do material a ser tratado, por 60 minutos, após adição de metabissulfito de sódio e de hipoclorito de sódio, no entanto, neste estudo, fizemos as agitações por 10 minutos, atingindo a mesma eficiência de resultados. Portanto, este processo pode ser feito de modo mais célere, sem perder a sua qualidade. Entretanto, devemos testar essa metodologia em tanques de capacidade maior para termos certeza do comportamento das reações frente a outros volumes de efluentes.

Na amostra “B”, que realizamos a filtragem com zeólitas, obtivemos um resultado satisfatório, no diz respeito a remoção de metais pesados da água. Com relação a acidez da solução, como podemos observar nos resultados, a mesma continua com um pH baixo. Portanto, deve ser feito a correção pH (por exemplo, com adição de NaOH- soda cáustica) antes de despejar a solução na rede pública de esgoto.

Ao nosso entender, como as zeólitas utilizadas neste estudo foi a natural, e este produto pode ter a sua arquitetura modificada em laboratório, com a finalidade de se comportar com melhor eficiência na remoção de metais pesados, ou mesmo de outros elementos químico, julgamos que novos estudos devam ser realizados.

3 CONCLUSÕES

Após a análise e discussão dos resultados, julgamos lícito concluir que, ambos os métodos de tratamento de efluentes em água residual, oriunda de processo galvânico, se mostraram eficiente, a saber:

Ressaltando que, o método utilizado na amostra “A”, foi extremamente mais célere que o método normalmente utilizado pelas indústrias galvânicas do ramo de semi-joias, inclusive na cidade de Limeira-SP, porém, com eficácia semelhante.

Para a amostra “B”, salientamos que, novos estudos devam ser realizados, com a finalidade de se atingir uma metodologia mais rápida, e até mais eficiente, para o tratamento de efluentes, oriundos de processo galvânico do ramo de semi-joias, levando a melhoria do meio ambiente da nossa cidade, e, por que não, melhorar as condições do ecossistema nacional, no que tange aos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. A. **Reciclagem do resíduo de cromo da indústria do curtume como pigmentos cerâmicos**. 2006. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-16092010-111529/publico/Tese_Miriam_Abreu.pdf. Acesso em: 4 out. 2022.

ABRHidro, 1977. Disponível em: <https://site.abrhidro.org.br/>. Acessado em: 10 ago. 2022.

ASCENÇÃO, J.G.; NEVES, A.I.P.; REMIÃO, F. **Cianeto: Toxicologia e Fisiopatologia**, Laboratório de Toxicologia da Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto, Portugal. 2007. Disponível em: <http://www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0304/Cianetos/index.htm>. Acessado em 21 abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://analiticagmcredudos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 4 out. 2022,

BAKKALOGLU I.; BUTTER, T. J.; EVISON, L. M.; HOLLAND, F. S.; HANCOCK, I.C. **Screening of various types biomass for removal and recovery of heavy metals (Zn, Cu, Ni) by biosorption, sedimentation and desorption**. Water Science and Technology, v. 38, n. 6, p.269-277, 1998.

BRASIL, F. M. **Transformação de lodo galvânico em pigmentos inorgânicos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas. 51 pag. Manaus, Amazonas. 2017. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/5994/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Franklim%20Brasil.pdf>. Acessado em 17 jul. 2022, às 19h.

BRASILIA AMBIENTAL - Legislação específica de atividades industriais. 2020. Disponível em: <<https://www.ibram.df.gov.br/legislacao-especifica-de-atividades-industriais/>>. Acessado em 19 jun 2022, às 12hs 55m.

BRK AMBIENTAL. 2019. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/poluentes-da-agua/>. Acessado em 13 jun. 2022, às 14h 32m.

CASAGRANDE, D. F. M. Mestrado em Qualidade Ambiental. **Minimização de impactos ambientais da indústria galvânica através do uso de soluções livres de cianeto**. 75p. Feevale, Novo Hamburgo, RS, 2009.

CENTRO MEXICANO PARA LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA. **Producción más limpia en el sector de galvanoplastia**. México D.F. 1997.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2006. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/legislacao-federal/resolucoes-federal/>. Acessado em: 18 jun. 2022, às 20h 14m.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2011. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/legislacao/resolucao-no-430-de-13-de-maio-de-2011/>. Acessado em 18 jun. 2022, às 21h.

CONSEQ – Consultoria e Soluções em Engenharia Química Júnior. 2007. Disponível em: <https://conseqconsultoria.com.br/efluentes-quais-sao-os-principais-tipos/>. Acessado em 17 jun. 2022, às 20h 01m.

CONSULTEC PA - TECNOLOGIA EM PROTEÇÃO AMBIENTAL. 1991. Disponível em: <https://consultecpa.com.br/>. Acessado em: 19 jun. 2022, às 14hs 15m.

DENARO, A. R. **Fundamentos de eletroquímica**. São Paulo: 2ª ed. Edgard Blücher, 1974, 161p.

DIAS, D.L. **MANUAL DA QUÍMICA**. 2017. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/galvanoplastia.htm>. Acessado em 23 mar. 2022, às 10hs 58min.

DOMINGUES, D.F. **Otimização do processo de decapagem química numa empresa de produção de perfis de aço**. Universidade Coimbra, p. 34-35. Coimbra, Portugal. 2015

EOS - Organização e Sistema. 1997. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/tratamento-de-residuos-solidos-no-brasil/#:~:text=No%20tratamento%20t%C3%A9mico%2C%20de%20acordo,com%20os%20processos%20f%C3%ADsico%2Dqu%C3%ADmicos>. Acessado em: 19 jun. 2022, às 06h 03m.

EUROPEAN PROTEÇÃO AMBIENTAL. Disponível em: <https://www.eurocomercio.com.br/estacoes-tratamento-efluentes-por-batelada>. Acessado em: 21 março 2022, às 23hs 01m.

FELTRE, R. **Química**. São Paulo: 6ª ed., v. 1, 400 p. Moderna, 2004

FERREIRA, M. E. C.; IMAI, H. E.; REZENDE, L. H.; EMANUELLI, I. YAMAGUCHI, U. N. **Redução do consumo de água através de proposições de práticas de produção mais limpa para indústria de galvanização**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 566-581. 2020. DOI: [10.19177/rgsa.v9e22020566-581](https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e22020566-581) Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8015/5221.

FOGAÇA, J. R. V. **"Tipos de tratamento de efluentes"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-tratamento-efluentes.htm>. Acesso em 18 jun. 2022, as 16hs 59m.

FUNED-MG - Fundação Ezequiel Dias. 2020. Disponível em: <http://www.funed.mg.gov.br>. Acessado em: 10 jun 2022, às 17hs 33m.

GOEMA - CONSULTORIA INDUSTRIAL E COMERCIO LTDA. 1978. Disponível em: <https://goema.com.br> Acessado em: 19 jun. 2022, às 19h 24 m.

HEIDORN, R. F. Ion Exchange systems. In: ROSS, R. D. Industrial waste disposal. Pensilvânia: Reinhold Book, 1980. cap. 3.

LOVLEY, D. R. **Dissimilatory Metal Reduction**. Annu. Rev. Microbio, v. 47, n. 1, p. 263-290, 1993. Disponível em: https://www.sciencetheearth.com/uploads/2/4/6/5/24658156/1993_lovley_dissimilary_metal_reduction.pdf.

MICHA, R. **Educação química – Eletrolise**. 2013; <http://educacao.globo.com/quimica/assunto/eletroquimica/eletrolise.html>. Acessado em 22 mar. 2022, às 14hs 55min.

NERBITT, C. C., DAVIS, T. E. **Removal of Heavy Metals from Metallurgical Effluents by the Simultaneous Precipitation and Flotation of Metal Sulfides Using Column Cells**. In: **Extraction and processing for the treatment and minimization of waste**. The Mineral, Metals and Materials Society, Pennsylvania, 1994, p. 331.

PACHECO, C. E. M.; *et al.* – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Manuais Ambientais - Compilação de técnicas de prevenção à poluição para a indústria de galvanoplastia: projeto piloto de prevenção à poluição em indústrias de bijuterias no município de Limeira**. 4ª ed. CETESB. Limeira, São Paulo. 2002. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/galvanoplastia.pdf>. Acessado em 18 jun. 2022, às 19 h 12 m.

PEREZ, I.C.; CORRÊA, R.G.; PIRES, J.L. **Galvanoplastia: orientações para o controle ambiental**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Inea, 2014.

PERRY, R. H. Perry's chemical engineers handbook. 6 ed. New York: MacGraw-Hill, 1984. Cap. 17, p. 22-39.

PINTO, M. **PROJETA SUSTENTÁVEL**. 2022. Disponível em: <https://www.projetasustentavel.com/como-funciona-o-tratamento-de-efluentes-liquidos>. Acessado em: 14 jun. 2022, às 14h 07m.

PIOTTO, Z.; HESPANHOL, I. **O Uso Racional da água no setor industrial**. Brasília: CNI, 2013.

PONTE, H. A. **Tratamento de efluentes líquidos de galvanoplastia**. 2014. 85f. Departamento de engenharia química da Universidade Federal do Paraná. 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/DOC-20220226-WA0001..pdf>. Acessado em: 4 out. 2022.

PRECEND COPASA. 2020. Disponível em: <https://www2.copasa.com.br/precend/precend/>.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acessado em: 19 jun. 2022, às 08hs 22m.

PROPEC. 2021. Disponível em: <https://propeq.com/residuos-industriais/>. Acessado em: 15 jun. 2022, às 14h 03m.

ROCHA, R. D. C.; ZOREL, H. E.; LANDO, T. **Utilização de planejamento experimental no estudo para imobilização de lodo galvânico em cerâmica vermelha para minimização de impactos ambientais**. Cerâmica, v. 63, n. 1, p. 1-10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132017633651964>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/h74JvmjGt7YKV5X4cH5yjqb/?lang=pt>.

SCHOEMAN, J. F. et al Evaluation of reverse osmosis for electroplating effluent treatment. Water Science and Technology, v. 25, n. 10, p.79-93, 1992.

SESI - **Manual de Segurança e Saúde no Trabalho**. São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.sesisp.org.br/para-industria/sst>.

SILVA, G.; DUTRA, P. R.S.; CADIMA, I. M. **Higiene na indústria de alimentos**. Recife: EDUFRPE, 2010. 134p. Disponível em: https://pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Higiene_na_Industria_de_Alimentos.pdf.

SPERLING, M. V. **Lagoas de estabilização**. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1995.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgoto, princípio do tratamento biológico de águas residuárias**. 4ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

TEIXEIRA, L. C. G. M.; E FERREIRA FILHO, S.S. **Influência do tipo e da dosagem de polímero na capacidade de pré-adensamento de lodos gerados em estações de tratamento de água**. Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1031-1039, Rio de Janeiro, Brasil. 1999.

TELLES, D. D. **Ciclo ambiental da água - da chuva à gestão**. 1ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.

TERA - Tera Ambiental. 2021. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/338190/como-funciona-o-tratamento-de-efluentes-industriais>. Acessado em: 18 jun. 2022, às 14 hs 15m.

UFSCAR A Matéria - **Jornal da Universidade Federal de São Carlos**. Disponível em: <https://www.jornalamateria.ufscar.br/>. Acessado em: 20 jun. 2022, 14h.

VGR **Gestão de resíduos**. 2022. Belo Horizonte. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/veja-quais-sao-os-tipos-de-tratamento-mais-indicados-para-diferentes-residuos/#:~:text=As%20tecnologias%20para%20tratamento%20de,s%C3%A3o%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20em%20potencial>. Acessado em: 12 maio 2022, às 13:01m.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta Água Morrendo de Sede - Uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

VOLTRAN, P. E. N. **Remoção de diuron e hexazinona por meio de adsorção em carvão ativado, oxidação e tratamento em ciclo completo**. 2014. 286f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2014. Disponível em: [file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/Voltan2014_Volume01_VersaoFinalCorrigida%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/Voltan2014_Volume01_VersaoFinalCorrigida%20(2).pdf). Acessado em: 4 out. 2022.

WANG, L.K.; SHAMMAS, N. K.; HUNG, Y. T. **Biosolids treatment processes**. Totowa, New Jersey: Humana Press, 2007. v. 6, p. 45-69.

WHATELY, M.; CAPELLI, M. **O século da escassez - Uma nova cultura de cuidado com a água: impasses e desafios**. 1ª ed. – São Paulo. Claro Enigma, 2016.