

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

BEATRIZ CAMPOS DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO PARA CONTROLE DOS
NÍVEIS DE CIANETO DE SÓDIO NO PROCESSO DE GALVANOPLASTIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2022

BEATRIZ CAMPOS DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO PARA CONTROLE DOS
NÍVEIS DE CIANETO DE SÓDIO NO PROCESSO DE GALVANOPLASTIA**

**EVALUATION OF SODIUM HYDROXIDE ADDITION TO CONTROL SODIUM
CYANIDE LEVELS IN THE GALVANOPLASTY PROCESS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Pricila Marin

LONDRINA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

BEATRIZ CAMPOS DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO PARA CONTROLE DOS
NÍVEIS DE CIANETO DE SÓDIO NO PROCESSO DE GALVANOPLASTIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 05 de Dezembro de 2022.

Pricila Marin
Doutora em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina (UTFPR-LD)

Joel Fernando Nicoletti
Doutor em Engenharia de Alimentos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina (UTFPR-LD)

Danilo Afonso Rodrigues da Silva
Analista de Laboratório
Pado S. A.

LONDRINA

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, por sempre estar ao meu lado, me apoiando em cada passo. Ao meu namorado, por todo suporte e incentivo. Aos meus amigos, por compartilharem junto comigo de todos os desafios durante a graduação.

À UTFPR e a todos os professores, em especial à professora Pricila Marin, por me orientar e auxiliar no desenvolvimento desse trabalho. Agradeço também à Pado pela oportunidade, e a todos com quem trabalhei durante o período de estágio, que deixaram meus dias mais leves.

RESUMO

Tendo em vista que, no processo de galvanoplastia, para garantir a correta deposição de metal nas peças fabricadas pela empresa Pado S.A., os níveis de cianeto de sódio durante a etapa de eletrodeposição devem ser mantidos constantes, este trabalho propõe avaliar a adição de hidróxido de sódio em uma etapa anterior, visando contornar a oscilação da concentração de NaCN. Para tanto, inicialmente, foram coletadas amostras para acompanhamento do pH da água do tanque de lavagem e da concentração de cianeto de sódio na solução de eletrodeposição, no banho de cobre alcalino. Observou-se que o pH apresentava valores característicos de soluções ácidas e que a concentração de cianeto de sódio demonstrava grande oscilação ao longo dos dias, sendo necessário, inclusive, grandes reforços diários para que este parâmetro fosse mantido dentro do ideal para o processo. Por meio das análises, foi possível constatar que o ácido sulfúrico proveniente do tanque de ativação ácida estava sendo arrastado para o tanque de lavagem e, na sequência, para o banho de cobre alcalino, o que acabava provocando reações indesejadas do ácido com o cianeto e causando o consumo indesejado de NaCN. Para contornar este problema, considerando que o hidróxido de sódio já é um componente do banho de cobre alcalino, o que não geraria, portanto, uma nova reação indesejada, um volume de 150 mL de NaOH passou a ser adicionado diariamente no tanque da água de lavagem, com o intuito de que ocorra o consumo do ácido presente, evitando o seu arraste para a etapa de eletrodeposição. Como resultado da proposta, verificou-se que após a adição de NaOH, o pH da água de lavagem passou a apresentar um valor maior, característico de soluções básicas e, devido à isso, as peças não seguiam para a próxima etapa com uma superfície carregada com ácido. Tal fato pôde ser comprovado pelos valores das concentrações de cianeto de sódio, que passaram a se manter mais estáveis, indicando que todo ácido havia sido consumido na etapa anterior. Além disso, os reforços diários se tornaram menos frequentes, o que era desejável pela empresa. Dessa forma, pode-se constatar que a proposta foi eficiente tanto para qualidade das peças produzidas como pela viabilidade econômica, que pode ser constatada ao avaliar a diminuição do gasto com cianeto de sódio, tendo em vista a redução na quantidade utilizada deste produto. Além disso, com uma proposta de automação da adição de soda cáustica por meio de uma bomba dosadora, há, também, um aumento na segurança dos colaboradores, que passam a ter um menor contato com essas substâncias químicas, altamente tóxicas ao organismo humano.

Palavras-chave: Eletrodeposição. Eletrólise. Peças metálicas.

ABSTRACT

In the electroplating process, to ensure the correct metal deposition on the parts manufactured by the company Pado S.A., the levels of sodium cyanide during the electroplating stage must be kept constant, this work proposes to evaluate the addition of sodium hydroxide sodium in a previous step, aiming to circumvent the oscillation of the concentration of NaCN. Samples were collected to monitor the pH of the water in the washing tank and the concentration of sodium cyanide in the electrodeposition solution, in the alkaline copper bath. It was observed that the pH presented values characteristic of acidic solutions and that the concentration of sodium cyanide showed great fluctuation over the days, and it was necessary, even, large daily reinforcements for this parameter to be kept within the ideal for the process. Through the analyses, it was possible to verify that the sulfuric acid from the acid activation tank was being dragged to the washing tank and, subsequently, to the alkaline copper bath, which ended up causing unwanted reactions of the acid with the cyanide and causing unwanted consumption of NaCN. To work around this problem, considering that sodium hydroxide is already a component of the alkaline copper bath, which would, therefore not generate a new unwanted reaction, a volume of 150 mL of NaOH was added daily to the water tank. washing, with the aim of consuming the acid present, avoiding its drag to the electrodeposition step. As a result of the proposal, it was verified that after the addition of NaOH, the pH of the washing water started to present a higher value, characteristic of basic solutions and, due to this, the pieces did not go to the next step with a charged surface. with acid. This fact could be confirmed by the values of sodium cyanide concentrations, which started to remain more stable, indicating that all acid had been consumed in the previous step. In addition, daily reinforcements became less frequent, which was desirable for the company. Thus, it can be seen that the proposal was efficient both for the quality of the parts produced and for the economic viability, which can be verified when evaluating the decrease in spending on sodium cyanide, in view of the reduction in the amount used of this product. In addition, with a proposal to automate the addition of caustic soda using a dosing pump, there is also an increase in employee safety, who now have less contact with these chemical substances, which are highly toxic to the human body.

Keywords: Electrodeposition. Electrolysis. Metallic parts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxograma do processo de produção na indústria Pado S.A.	13
Figura 2: Esquematização do processo de eletrólise que acontece na galvanoplastia.	15
Figura 3: Representação do tanque de eletrodeposição	16
Figura 4: Fluxograma do setor de Galvanoplastia da Pado	17
Figura 5: Gráfico de comparação das concentrações de cianeto de sódio no Tanque 1 antes e após a adição de hidróxido de sódio.....	31
Figura 6: Gráfico de comparação das concentrações de cianeto de sódio no Tanque 2 antes e após a adição de hidróxido de sódio.....	31
Figura 7: Gráfico de comparação das concentrações de hidróxido de sódio no Tanque 1.....	33
Figura 8: Gráfico de comparação das concentrações de hidróxido de sódio no Tanque 2.....	33
Figura 9: Bomba Dosadora Programável.....	34
Figura 10: Representação da instalação da bomba dosadora para automação do processo de adição de soda cáustica	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados do monitoramento da concentração de cianeto de sódio no Tanque 1 multiplicados por um fator de correção	26
Tabela 2: Dados do monitoramento da concentração de cianeto de sódio no Tanque 2 multiplicados por um fator de correção	27
Tabela 3: Dados do monitoramento da concentração de cianeto de sódio no Tanque 1 após o início da adição de soda cáustica, multiplicados por um fator de correção	29
Tabela 4: Dados do monitoramento da concentração de cianeto de sódio no Tanque 2 após o início da adição de soda cáustica, multiplicados por um fator de correção	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivos gerais	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1. Empresa Pado S.A.	12
3.2. Galvanoplastia.....	14
3.3. Etapas do processo de galvanização	16
3.3.1 Limpeza com desengraxantes	18
3.3.2 Ativação ácida	19
3.3.3 Banho de cobre alcalino	19
3.3.4 Banho de cobre ácido	21
3.3.5 Banho de níquel	21
3.3.6 Banho de cromo e finalização das peças.....	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1. Análise do ph da água de enxágue.....	23
4.2. Acompanhamento da concentração dos componentes do banho alcalino	23
4.3. Adição de hidróxido de sódio no tanque de enxágue.....	24
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	25
5.1. Análise do ph da água de enxágue.....	25
5.2. Acompanhamento da concentração dos componentes do banho alcalino	25
5.3. Adição de hidróxido de sódio no tanque de enxágue.....	28
6. CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

Visando atribuir maior resistência às peças constituídas de metais, a galvanoplastia consiste no processo de revestimento desses objetos por uma fina camada de outro metal, mais nobre, por meio de eletrodeposição. Dessa forma, a camada externa impedirá que o material que constitui a peça oxide facilmente, conferindo maior durabilidade ao produto. Além disso, a estética das peças também é favorecida ao acrescentar camadas extras de metais, já que essas são capazes de promover brilho e ocultar pequenas imperfeições da peça base (FOGAÇA, 2022).

A empresa Pado S.A., fundada em 1936, é uma das principais indústrias deste ramo, sendo referência na produção de cadeados, fechaduras e acessórios, contando com diversos setores que transformam a matéria-prima em produtos de qualidade e com alta tecnologia.

Neste processo de transformação, uma das etapas mais utilizadas é a imersão das peças em um banho de cobre alcalino, no qual a substância utilizada é composta por cianeto de sódio, cianeto de cobre e hidróxido de sódio. As concentrações de cada constituinte são de extrema importância para que a eletrodeposição ocorra da forma desejada e a camada adquirida pela peça seja eficiente. Além disso, antes da inserção dos objetos no banho, são necessárias algumas etapas para preparação da superfície que receberá a camada de metal. A primeira delas consiste na limpeza da peça, realizada por desengraxantes químicos que tem como objetivo remover graxas, óleos ou outras substâncias que possam estar presentes devido à processos anteriores. Então, as peças passam por um processo de ativação ácida, onde são colocadas em contato com uma solução à base de ácido sulfúrico, que é capaz de remover camadas de óxidos, hidróxidos ou outras impurezas sólidas da superfície do metal (VALANDRO et al., 2019).

Entre cada etapa, é necessário realizar o enxágue das peças para que a substância presente em cada tanque seja removida. Porém, algumas vezes, pode ocorrer o arraste de parte dos constituintes da etapa anterior, o que é indesejado para o bom andamento do processo.

Dentre as etapas de produção da Pado, no setor de galvanoplastia, constatou-se uma diminuição significativa do pH da água de enxague, que se encontra entre a etapa de ativação ácida e o banho de cobre alcalino. Dessa forma, é provável que haja o arraste de ácido para o tanque onde é realizado a eletrodeposição do metal, o que provoca reações indesejadas entre os componentes do banho e o ácido, consumindo os reagentes necessários para que o processo ocorra da forma adequada.

Para evitar o arraste de ácido, neste trabalho, sugere-se a adição de hidróxido de sódio no tanque que antecede a imersão no banho de cobre alcalino, com o propósito de consumir o ácido presente, evitando, assim, que esse seja levado para a etapa seguinte.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

Buscando manter a concentração de cianeto de sódio em níveis adequados para a eletrodeposição de cobre no processo de galvanoplastia da empresa Pado S.A., esse trabalho propõe a adição de soda cáustica no tanque de enxague das peças, que antecede o banho de cobre alcalino, com a finalidade de consumir o ácido presente evitando que este seja arrastado para a etapa posterior.

2.2. Objetivos específicos

Para atender aos objetivos gerais, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Realizar a medição diária do pH da água do tanque de enxágue, considerando, ou não, adição da soda cáustica;
- Analisar a concentração de cianeto de sódio no banho de cobre alcalino, a fim de monitorar a necessidade de reforçar o produto;
- Propor, com base na verificação da quantidade de NaOH necessário, um processo automatizado para controle da dosagem diária do produto, através de uma bomba dosadora.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Empresa Pado S.A.

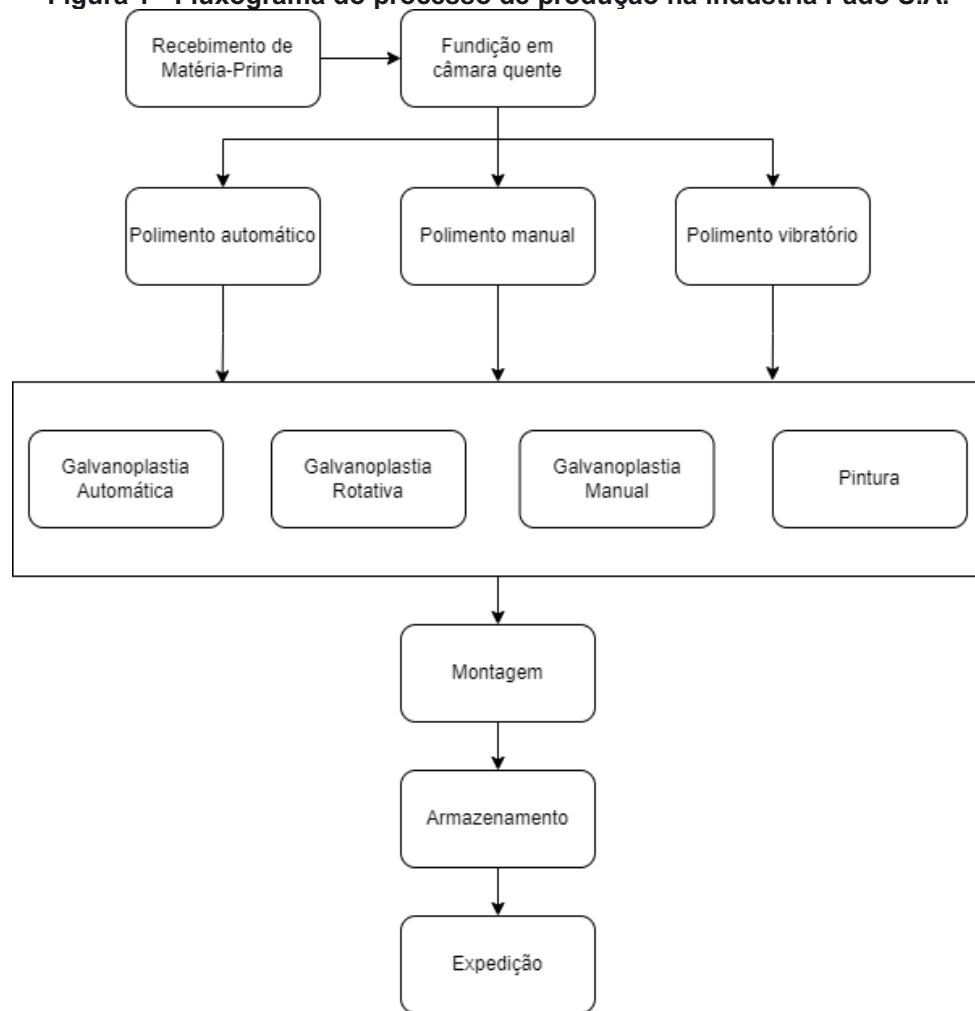
Fundada em 1936 na cidade de São Paulo, a empresa Pado S.A. passou a ter sede na cidade de Cambé, Paraná, em 1997 e se tornou uma das líderes nacionais na fabricação de cadeados, além de exportar seus produtos para diversos países. Atualmente, além de cadeados, a Pado também produz fechaduras, dobradiças, chaves, maçanetas e vem ganhando espaço no ramo de fechaduras eletrônicas, focando em novas tecnologias e em um design moderno e inovador (PADO, 2022).

A empresa se destaca pela preocupação com seus funcionários, promovendo eventos relacionados à saúde e ao acompanhamento periódico daqueles que têm contato diário com barulhos ou equipamentos que podem vir a causar algum tipo de dano à saúde dos colaboradores. Além disso, em 2008 foi criada em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), a Escola Profissionalizante Erich & Nina Gardemann, que promove cursos à jovens aprendizes nas áreas da empresa, visando inseri-los no mercado de trabalho (CHAVECO, 2018).

Um dos maiores compromissos da Pado é a garantia de satisfação de seus clientes por meio da qualidade de seus produtos e da conformidade em todo processo produtivo, tendo como missão “Oferecer ao mercado produtos de segurança com design inovador, produzindo de modo responsável com a sociedade e o meio ambiente”. A empresa possui certificados como Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat, que avalia a cada trimestre a conformidade dos produtos da Pado com a legislação em vigor, além de certificação ISSO 9001 e Green Building Council, que mede parâmetros de sustentabilidade (PADO, 2022).

A Figura 1 mostra o fluxograma de produção da empresa, no qual é possível observar, de forma simplificada, as etapas que ocorrem desde o recebimento da matéria-prima até a expedição do produto acabado.

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção na indústria Pado S.A.



Fonte: Autoria própria (2022)

No processo de produção, após o recebimento da matéria-prima, se inicia a fundição do metal em câmara quente, na qual cada produto tomará a forma de acordo com o objeto a ser fabricado, como cadeados, fechaduras e maçanetas. Após, as peças seguem para o polimento, que pode ser realizado de forma manual, automática ou por meio de equipamentos de vibração. As peças são destinadas, então, para a etapa de acabamento, que pode ser realizada por processos galvânicos ou pintura.

Algumas peças recebem, como acabamento, o banho eletrostático por meio da galvanoplastia que, na indústria Pado, pode ocorrer de forma automática, na qual os objetos permanecem estáticos durante o processo, rotativa, em que as peças são inseridas em um equipamento com movimento rotativo durante a eletrodeposição, ou

manual, no qual peças são inseridas manualmente no tanque de eletrodeposição. Já as peças que demandam um acabamento diferenciado, com aspectos que não são alcançados por banho galvânico, seguem para a pintura, onde podem receber finalização em diversas cores.

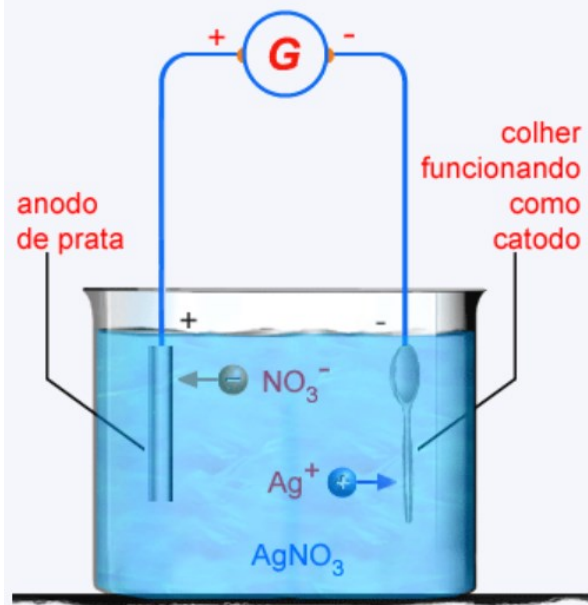
Após receberem o acabamento desejado, as peças seguem para o setor de montagem, onde as partes feitas separadamente são reunidas e seguem para a embalagem e o armazenamento, sendo expedidas posteriormente.

3.2. Galvanoplastia

A superfície de um material ou componente é considerada a área de maior vulnerabilidade do produto, visto que, em contato direto com o ambiente, pode vir a sofrer ataques químicos, eletroquímicos ou interações mecânicas que poderão afetar a vida útil do material (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010). Dessa forma, diversas maneiras podem ser empregadas a fim de proteger suas superfícies, seja utilizando revestimentos orgânicos, inorgânicos ou metálicos. A galvanoplastia é um dos processos utilizados com esta finalidade, uma vez que, é capaz de conferir maior durabilidade e resistência a objetos constituídos por metais não nobres, revestindo-os com camadas extras de metais mais nobres por meio de um processo chamado de eletrodeposição.

O processo consiste em submeter a peça a uma imersão (banho) em solução aquosa do sal do metal que irá revesti-la, no interior do qual, passa uma corrente elétrica. Os objetos que receberão o revestimento ficam no eletrodo negativo (cátodo) enquanto o metal que será utilizado para revestir fica no eletrodo positivo (ânodo). Ao receber a corrente elétrica, acontece a oxidação do ânodo e a dissolução desse metal, que se deposita nos objetos por meio de reações de redução (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010). A Figura 2 mostra um esquema representativo do processo de galvanização, por meio de eletrólise, onde é possível observar uma colher sendo galvanizada, recebendo uma camada de prata. O sal do metal que irá revestir a peça se dissocia no meio aquoso, formando íons positivos e negativos. Ao receber a corrente elétrica, os íons positivos do metal são atraídos pelo cátodo e se depositam na superfície do objeto. O íon negativo se dirige ao ânodo, reagindo com o metal e formando novamente o sal inicial.

Figura 2 – Esquemática do processo de eletrólise que acontece na galvanoplastia.



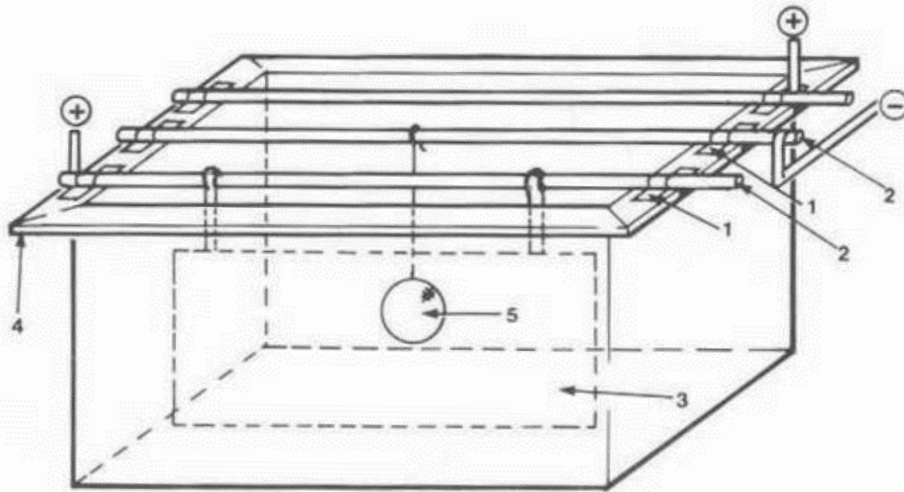
Fonte: Salmeron (2022)

A galvanoplastia foi uma forma encontrada para minimizar custos em empresas metalúrgicas, uma vez que, dessa forma, não é necessário que todo o produto seja fabricado utilizando um metal com grande resistência, mas sim, que apenas a camada externa, que estará em contato com o ambiente, seja revestida por ele. Dessa forma, ao adicionar ao produto um revestimento feito de um metal com um potencial de oxidação menor que o material do seu interior, a resistência à corrosão será intensificada (WIERCINSKI, 2015).

Na indústria Pado, os banhos galvânicos podem ser aplicados de forma manual ou utilizando equipamentos automáticos. Neste trabalho, será dado enfoque à eletrodeposição que ocorre de forma automática, na qual os dispositivos são programados para emergir as peças e retirá-las dos banhos, seguindo para as etapas necessárias. Os objetos que receberão as camadas de metal, chegam à etapa de galvanização após o polimento e são colocados em suportes manualmente. Na sequência, seguem para a estrutura que será encaminhada aos tanques onde ocorre a eletrodeposição.

A Figura 3 ilustra o tanque onde ocorrem os banhos, de forma semelhante ao que ocorre na empresa Pado.

Figura 3 – Representação do tanque de eletrodeposição



Fonte: POYNER (1987)

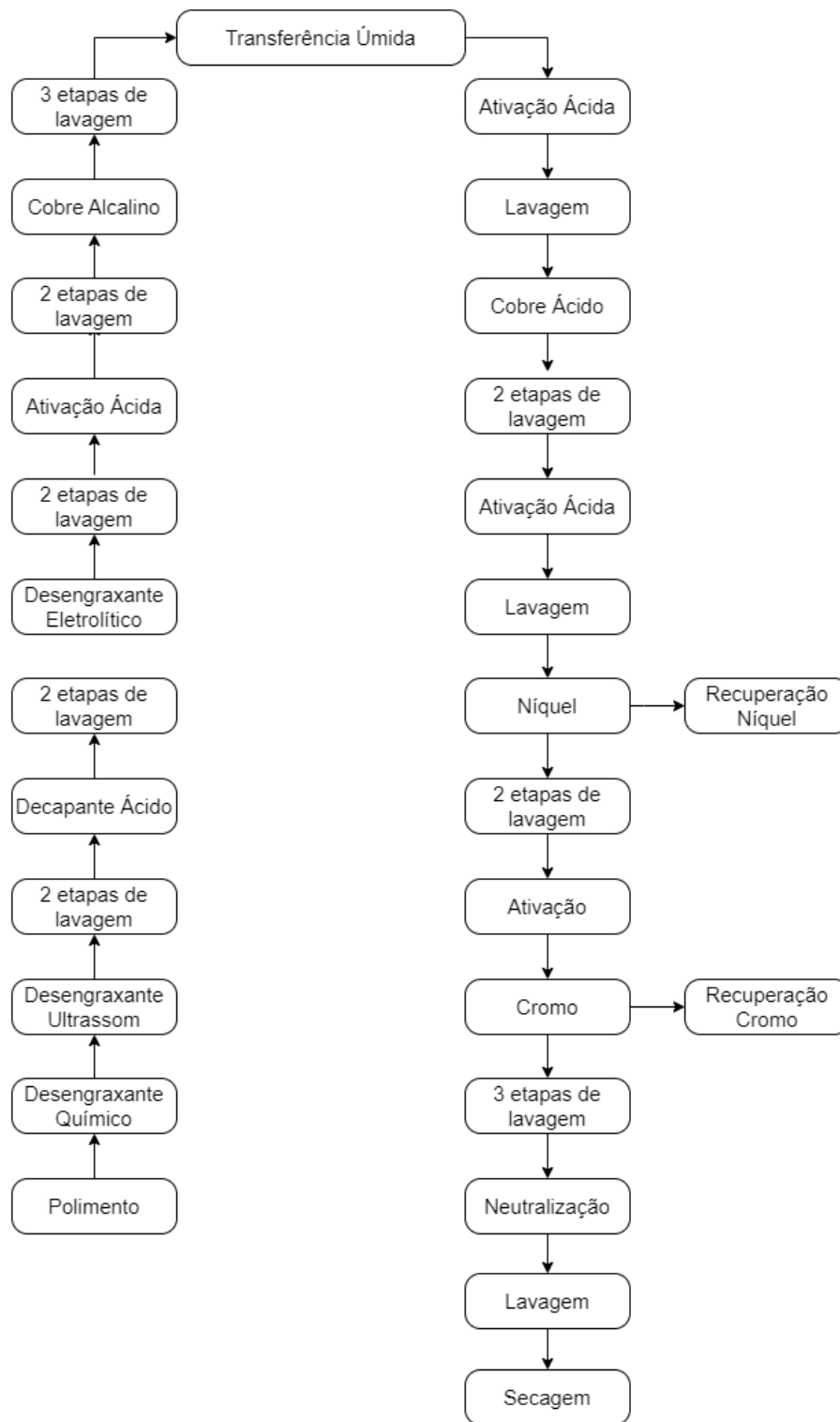
Na Figura 3, as estruturas representadas pelo número (1) são os suportes para as barras ânodos e cátodos. Já a estrutura indicada pelo número (2), são as barras onde os ânodos e cátodos são dispostos. No caso da indústria Pado, as barras de ânodos (3) são fixadas no tanque, enquanto os cátodos (5), que são os componentes a serem galvanizados, ficam alojados no suporte automático que se movimenta pela linha e é inserido e retirado dos banhos. O número (4) representa a estrutura ao redor do tanque, onde as barras são acomodadas (POYNER, 1987).

Para obter um resultado satisfatório no processo de revestimento das peças, é necessário que elas passem por uma série de procedimentos que são abordados, em detalhes, no item 3.3.

3.3. Etapas do processo de galvanização

O fluxograma representado pela Figura 4 ilustra o processo que ocorre no setor de galvanoplastia da indústria Pado, indicando, desde o recebimento das peças que saem do polimento, todos os banhos que são realizados e as etapas antes da eletrodeposição. Após a figura, é apresentado, nos subtópicos, um detalhamento das principais etapas deste processo.

Figura 4 – Fluxograma do setor de Galvanoplastia da Pado



Fonte: Autoria própria (2022)

3.3.1 Limpeza com desengraxantes

Após saírem do polimento, as peças são recebidas no processo de galvanização, no qual a primeira etapa consiste em uma limpeza que pode ser feita mecanicamente ou por meio de substâncias químicas, como desengraxantes.

Esta limpeza é de extrema importância para que o processo de galvanoplastia obtenha um resultado satisfatório, uma vez que, a superfície do material que receberá a eletrodeposição deve estar totalmente limpa e livre de contaminantes, evitando que a presença de partículas indesejadas atrapalhe a adesão da camada de metal ou, até mesmo, evitem que a deposição aconteça (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

O primeiro passo para uma limpeza efetiva é o uso de um desengraxante químico, capaz de remover óleos e gorduras. Normalmente são utilizados desengraxantes alcalinos, que conseguem emulsificar ou suspender as sujidades (NEVES, 2005). Então, as peças passam por uma limpeza utilizando ondas de ultrassom, que fazem com que a água se transforme em pequenas bolhas, que se dissipam e colidem com o metal, desalojando óleos e gorduras de sua superfície (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

Após o ultrassom, as peças são submetidas a duas lavagens sequenciais com água e seguem para a próxima etapa. Estas lavagens entre os principais processos são de extrema importância para que não ocorra a contaminação dos banhos seguintes.

A etapa seguinte consiste em uma decapagem ácida, também utilizada para remover resquícios de óleos, gorduras e outras sujidades que poderiam estar aderidas à superfície da peça. Geralmente utiliza-se ácido sulfúrico, clorídrico ou fluorídrico (VALANDRO et al., 2019).

Por fim, após a decapagem ácida e duas etapas sequenciais de lavagem com água, ocorre o desengraxe eletrolítico, que promove uma limpeza por meio de eletrólise, removendo sujidades não visíveis pela aplicação de corrente elétrica (ALVES *et al.*, 2018).

3.3.2 Ativação Ácida

Após receberem a limpeza adequada, as peças seguem para a etapa de ativação ácida. O processo consiste na imersão das peças em solução de água e ácido sulfúrico com a finalidade de preparar a superfície metálica para receber o revestimento, removendo óxidos ou hidróxidos que poderiam afetar a correta deposição do metal. Após serem retiradas do tanque de ativação ácida, as peças seguem para um tanque de enxágue e é iniciada a etapa de eletrodeposição (VALANDRO et al., 2019).

Vale ressaltar que, entre cada etapa, após saírem da imersão, as peças são mantidas por determinado tempo acima do tanque para que a substância possa escorrer e não ser arrastada em quantidade significativa para o tanque seguinte. Apesar disso, pode ocorrer eventual arraste de parte do ácido presente na decapagem para o tanque de enxágue que o sucede. Caso isso aconteça, uma diminuição do pH da água pode ser observada, o que é prejudicial ao processo, pois provocaria reações indesejadas do ácido com os componentes do eletrólito utilizado na etapa seguinte.

As etapas de ativação ácida, enxágue e banho de cobre alcalino são realizadas nesta ordem, em tanques dispostos um após o outro, onde um sistema automático é responsável por imergir as peças e retirá-las de cada tanque, seguindo para a próxima etapa.

Assim, após deixarem o tanque de enxágue que sucede a ativação ácida, as peças seguem para a etapa de eletrodeposição de cobre à base de cianeto (banho de cobre alcalino).

3.3.3 Banho de cobre alcalino

Dentre os metais mais empregados no revestimento de objetos em indústrias, o cobre é o mais utilizado. O banho de cobre alcalino propicia uma camada inicial de proteção para que a peça não sofra ataque das substâncias seguintes. Os componentes que formam esse banho são o cianeto de cobre, cianeto de sódio ou potássio e o hidróxido de sódio (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

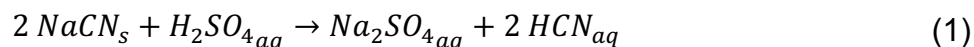
O cianeto de cobre fornecerá os íons necessários para que o metal se deposite na peça. Já o cianeto de sódio é utilizado para dissolver o cianeto de cobre, que não é

naturalmente solúvel em água, através da formação de complexos, sendo de extrema importância para o correto funcionamento da eletrodeposição. O hidróxido de sódio é utilizado para aumentar a condutividade da solução e manter o pH elevado, impedindo que haja a decomposição do cianeto e que esse seja liberado na forma de gás cianídrico (SILVA; AFONSO; SOBRAL, 2008).

Na indústria Pado, há dois tanques responsáveis pela eletrodeposição de cobre alcalino, que precisam ter suas condições monitoradas diariamente, sendo a concentração de cianeto um dos pontos mais importantes. Alterações neste parâmetro podem resultar na ineficiência do processo, uma vez que, em baixas concentrações, não seria possível garantir a camada de proteção ideal para que a peça não sofra ataque das demais substâncias às quais será submetida.

Para manter a concentração de cianeto de sódio na quantidade ideal, atualmente, é necessário realizar ao menos 2 reforços por dia em cada tanque. Para que a adição do produto seja possível, o processo precisa ser interrompido no tanque em que o reforço está sendo realizado. Além do tempo em que o tanque se torna inutilizado por estar parado, há, também, uma desestabilização na substância, já que grande quantidade de produto é adicionada, sendo necessário certo tempo para que o banho volte a trabalhar de forma satisfatória.

Como os tanques de cobre alcalino se encontram após os tanques de ativação ácida e enxague, respectivamente, caso parte do ácido seja arrastado para os banhos de cobre alcalino, o ácido sulfúrico reage com o cianeto de sódio, como mostrado na reação indicada pela Equação 1, formando ácido cianídrico, um gás altamente tóxico.



Caso ocorra o arraste de ácido sulfúrico, conseqüentemente, o cianeto de sódio presente no banho será consumido em maior quantidade, tornando-se necessária a realização de maiores reforços de cianeto no banho de cobre alcalino. Isso traz prejuízos financeiros, além do perigo devido à formação do gás que é produto dessa reação.

Caso não haja íons cianeto provenientes do cianeto de sódio suficiente para solubilizar o cianeto de cobre, os ânodos poderão ficar com incrustados com o metal insolúvel, diminuindo a quantidade de íons de cobre no metal. Além disso, caso a

quantidade de cianeto seja pequena, o cobre irá se depositar através de partículas visíveis ao invés de formar uma camada aderente e uniforme (KANANI, 2004).

Após o banho de cobre alcalino, as peças são transferidas para o próximo local através de um tanque com água contendo um trilha. Por ocorrer em contato com água, este tipo de transporte é chamado de transferência úmida dos objetos.

3.3.4 Banho de cobre ácido

A etapa de eletrodeposição que ocorre após o banho de cobre alcalino é o banho de cobre ácido, onde também é necessário que haja uma ativação ácida anteriormente. A eletrodeposição ocorrida durante o banho de cobre ácido tem como objetivo aumentar o nivelamento da superfície das peças, além de promover brilho e proteção contra a corrosão (ALVES, 2016). A composição desse banho é feita, basicamente, de sulfato de cobre e ácido sulfúrico. O sal de cobre fornecerá os íons responsáveis pelo depósito e o ácido aumentará a condutividade do meio. Além disso, o ácido é necessário para melhorar o aspecto da deposição, já que uma solução apenas de sulfato de cobre daria origem a uma camada grosseira e quebradiça (KANANI, 2004).

3.3.5 Banho de níquel

A eletrodeposição de níquel é realizada após as camadas de cobre e de mais uma ativação ácida. Além de impedir o embaçamento do metal, o banho de níquel proporciona uma camada de metal uniforme e brilhante, dispensando o polimento antes de receber a cromação (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010). Na indústria Pado, devido à grande quantidade de peças fabricadas, há 3 tanques disponíveis para realização da eletrodeposição de níquel. Ao chegarem nesta etapa, as peças são divididas aleatoriamente em cada tanque.

Os produtos que passam pelo revestimento de níquel são altamente resistentes à corrosão, possuem boa aparência e podem ser comercializados sem receber uma camada final de cromo (KANANI, 2004). Os íons responsáveis pelo depósito da camada são provenientes do sulfato de níquel e do cloreto de níquel, que também é responsável pelo aumento da condutividade da solução. Na composição, há também o ácido bórico,

que será responsável por tamponar o pH do banho, restringindo o desenvolvimento de hidrogênio e melhorando o aspecto do depósito (VALANDRO et al., 2019).

Finalizado o banho de níquel, as peças são direcionadas a uma nova etapa de lavagem e, na sequência, novamente, é submetida a uma ativação ácida antes de entrar na próxima etapa.

3.3.6 Banho de cromo e finalização das peças

A última etapa do processo de galvanização é a eletrodeposição de cromo. Esse metal é responsável por aumentar consideravelmente a vida útil dos produtos devido a sua alta resistência e dureza, além de promover uma aparência agradável (KANANI, 2004). A substância utilizada nesse processo deve conter, além dos íons do metal, componentes atuando como catalisadores para provocar ou auxiliar a deposição do metal. Usualmente, são utilizados flúor e sulfato para este fim (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

Após a etapa de cromação e 3 lavagens sequenciais com água, as peças passam por um tanque com um componente utilizado para neutralizar os íons de cromo que poderiam, eventualmente, ter restado nas peças.

Por fim, após uma lavagem com água em alta temperatura, a etapa final consiste na secagem com ar quente, tornando as peças, que foram galvanizadas separadamente, aptas a seguirem para a etapa de montagem dos produtos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando alcançar os objetivos deste trabalho, foi realizada a análise do pH da água de enxague e o acompanhamento da concentração de cada um dos componentes dos banhos de cobre alcalino. Ao final, tais análises resultaram na proposta de adição de hidróxido de sódio no tanque de enxague. Os procedimentos referentes a estas etapas são descritos na sequência.

4.1. Análise do pH da água de enxágue

A análise do pH da água de enxague das peças após a ativação ácida foi realizada por 20 dias. Para realizar a medição, uma amostra do tanque de água era retirada diariamente em um béquer e levado ao laboratório, onde foram utilizadas tiras de papel indicador de pH que, ao ser mergulhado na substância desejada, adquire cores que são comparadas com o gabarito presente na embalagem da fita, indicando diretamente o valor do pH da amostra.

4.2. Acompanhamento da concentração dos componentes do banho alcalino

Para estimar a concentração de cada componente do banho de cobre alcalino considerando o processo antes e após as adições de soda cáustica, foram realizados, diariamente, procedimentos de titulometria. Para tanto, 200 mL da solução do banho foram coletados em um béquer e levados ao laboratório para análise.

Para o cálculo da quantidade de cianeto de sódio, 10 mL da amostra foram adicionados em um Erlenmeyer com o auxílio de uma pipeta. Adicionou-se mais 100 mL de água destilada e, após, 10 mL de solução de iodeto de potássio, realizando-se, na sequência, a titulação com solução de nitrato de prata até que fosse observada a primeira turbidez permanente. Para obter o resultado da concentração em g/L de cianeto de sódio, multiplicou-se a quantidade de nitrato de prata gasto na titulação pelo fator de correção encontrado no rótulo e por 0,98.

Para o cálculo da concentração de hidróxido de sódio, pipetou-se 10 mL da amostra em um erlenmeyer, onde foram adicionados, também, 10 mL de solução de

cianeto de sódio e 0,5 g de indicador índigo carmim. Realizou-se a titulação com solução de ácido sulfúrico até atingir a cor amarelo esverdeado. Então, para obter a concentração de hidróxido de sódio em g/L multiplicou-se a quantidade de solução de ácido sulfúrico gasto na titulação pelo fator de correção encontrado no rótulo e por 4.

4.3. Adição de hidróxido de sódio no tanque de enxágue

Para adição de hidróxido de sódio no tanque de enxague, foram realizadas, diariamente, dosagens de 150 mL de solução 50%. A solução, retirada de bombonas e medida utilizando um béquer, foi adicionada manualmente no tanque de água.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados na sequência são referentes à análise de pH da água de enxágue, ao monitoramento da concentração de cianeto de sódio no banho que vem após o enxágue, bem como, à adição de hidróxido de sódio no tanque de lavagem e o acompanhamento das consequências desta adição. Ao final, é apresentada uma proposta de melhoria neste processo

5.1. Análise do pH da água de enxágue

A fim de resguardar as informações de processo da empresa, neste trabalho, não serão apresentados os valores obtidos durante o monitoramento do pH do tanque de enxágue que antecede os banhos de cobre alcalino, no entanto, pode-se afirmar que, após o acompanhamento deste parâmetro por um período de 20 dias, foi possível observar que apresentava um valor médio característico de soluções ácidas.

Tendo em vista que o pH tem relação direta com a quantidade de ácido presente no meio e o seu valor para a água pura é de, aproximadamente, 7, concluiu-se que estava ocorrendo o arraste de ácido sulfúrico da etapa anterior, de ativação ácida, o que é indesejado para o processo.

5.2. Acompanhamento da concentração dos componentes do banho alcalino

O acompanhamento das concentrações de cianeto de sódio (NaCN), obtidas através de titulometria, foi realizado por 20 dias. Durante este período, também foi analisada a quantidade de cianeto de sódio que precisou ser adicionada aos tanques do banho de cobre alcalino, buscando manter as concentrações nos valores adequados. Na empresa Pado, há dois tanques com essa finalidade e parte das peças são direcionadas a cada um. A fim de preservar os dados da empresa, os resultados obtidos para os dois tanques de banho de cobre alcalino, aqui chamados de Tanque 1 e Tanque 2, foram multiplicados por um fator de correção e encontram-se nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Dados do monitoramento da concentração de cianeto de sódio no Tanque 1 multiplicados por um fator de correção

Data da análise	Concentração de NaCN (g/L)	Quantidade adicionada no Tanque 1 (kg)
29/03/2022	33,1	10,2
30/03/2022	33,6	6,1
31/03/2022	35,2	0,0
01/04/2022	28,9	14,2
02/04/2022	37,2	10,2
04/04/2022	30,7	20,3
05/04/2022	37,2	26,4
06/04/2022	43,1	4,1
07/04/2022	36,8	0,0
08/04/2022	34,4	34,5
11/04/2022	45,7	8,1
12/04/2022	45,3	0,0
13/04/2022	40,4	16,2
14/04/2022	43,3	34,5
18/04/2022	49,7	6,1
19/04/2022	46,7	0,0
20/04/2022	41,5	12,2
21/04/2022	42,4	6,1
22/04/2022	42,4	12,2
25/04/2022	48,9	17,3

Fonte: Autoria Própria (2022)

Tabela 2 – Dados do monitoramento da concentração de cianeto de sódio no Tanque 2 multiplicados por um fator de correção

Data da análise	Concentração de NaCN (g/L)	Quantidade adicionada no Tanque 2 (kg)
29/03/2022	33,8	10,2
30/03/2022	34,4	4,1
31/03/2022	33,8	0,0
01/04/2022	27,3	14,2
02/04/2022	36,2	10,2
04/04/2022	29,3	0,0
05/04/2022	32,5	10,2
06/04/2022	27,1	0,0
07/04/2022	40,0	26,4
08/04/2022	34,8	22,3
11/04/2022	37,4	14,2
12/04/2022	36,8	0,0
13/04/2022	29,5	18,3
14/04/2022	50,5	16,2
18/04/2022	44,7	20,3
19/04/2022	45,5	0,0
20/04/2022	40,0	12,2
21/04/2022	42,4	12,2
22/04/2022	42,4	12,2
25/04/2022	40,8	25,4

Fonte: Autoria Própria (2022)

Analisando os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2, é possível observar grande irregularidade nos valores das concentrações, mesmo que tenham sido realizados reforços de cianeto de sódio em grandes quantidades, mostrando a dificuldade de se manter as concentrações constantes deste componente. Isso é prejudicial para o resultado da eletrodeposição, tendo em vista que, além da importância do cianeto de sódio para solubilizar o cianeto de cobre, é de suma importância que haja um excesso desse componente na forma de cianeto livre para que os depósitos de metal obtidos no final do processo possuam alta qualidade (HORNER,2022). Além da necessidade de manter as concentrações do nível de cianeto de sódio nos valores adequados, a relação entre a quantidade desse componente e a quantidade de cianeto de cobre também

precisa ser mantida em um valor pré-determinado. Dessa forma, mesmo que a concentração de cianeto de sódio se mantenha constante, pode ser necessário realizar a adição desse composto caso a concentração de cianeto de cobre mude, para que a relação entre os dois componentes permaneça no nível adequado. Devido a isso, pode ocorrer a adição de quantidades distintas de cianeto de sódio ainda que os mesmos valores de concentração sejam observados em diferentes dias.

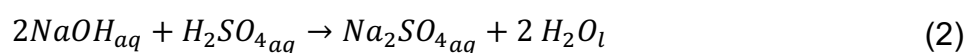
Esta instabilidade na concentração de cianeto nos tanques corrobora com o resultado observado na análise do pH e reforça a ideia de que o ácido do tanque de enxague das peças, posterior à ativação ácida, esteja sendo arrastado para as próximas etapas e, dessa forma, consumindo o cianeto de sódio presente no banho de cobre alcalino.

Uma possível alternativa a esse problema é a adição de hidróxido de sódio no tanque de lavagem, antes que as peças sigam para os banhos de cobre alcalino. Esta estratégia foi pensada com a finalidade de que o NaOH possa reagir com o ácido presente na água, consumindo-o e impedindo que este siga para o tanque onde ocorre a eletrodeposição de cobre.

5.3. Adição de hidróxido de sódio no tanque de enxágue

A fim de consumir o ácido sulfúrico e evitar o seu arraste para etapas posteriores, passou-se a adicionar 150 mL de solução de soda cáustica 50% no tanque de água que promove o enxague das peças oriundas da ativação ácida e que antecede os banhos de cobre alcalino.

A justificativa para este comportamento é fundamentada no fato de que, ao ser adicionada a soda cáustica, esta irá reagir instantaneamente com o ácido através da reação de neutralização apresentada na reação indicada pela Equação 2 (VICHÍ; CHAGAS, 2008).



As concentrações de cianeto de sódio, assim como as quantidades a serem adicionadas em cada tanque continuaram também a ser acompanhadas depois da adição

diária de hidróxido de sódio. Os resultados obtidos durante um período de 13 dias estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, multiplicados pelo mesmo fator de correção utilizado anteriormente.

Tabela 3 – Dados do monitoramento da concentração de cianeto de sódio no Tanque 1 após o início da adição de soda cáustica, multiplicados por um fator de correção

Data da análise	Concentração de NaCN (g/L)	Quantidade adicionada no Tanque 1 (kg)
26/04/2022	50,5	13,2
27/04/2022	52,4	0,0
28/04/2022	49,1	13,2
29/04/2022	50,5	17,3
02/05/2022	53,0	0,0
03/05/2022	48,5	6,1
04/05/2022	50,5	20,3
05/05/2022	59,6	4,1
06/05/2022	60,7	8,1
09/05/2022	61,7	0,0
10/05/2022	61,1	4,1
11/05/2022	61,4	4,1
12/05/2022	61,9	0,0

Fonte: Autoria Própria (2022)

Tabela 4 – Dados do monitoramento da concentração de cianeto de sódio no Tanque 2 após o início da adição de soda cáustica, multiplicados por um fator de correção

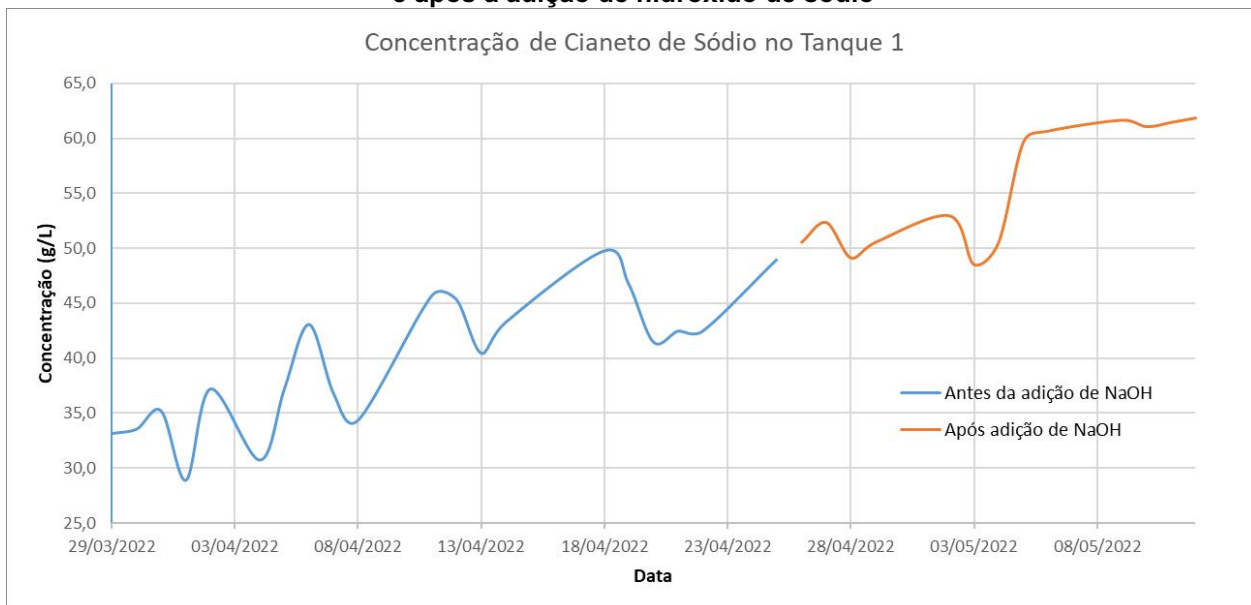
Data da análise	Concentração de NaCN (g/L)	Quantidade adicionada no Tanque 2 (kg)
26/04/2022	46,1	13,2
27/04/2022	47,7	0,0
28/04/2022	44,1	17,3
29/04/2022	48,9	17,3
02/05/2022	49,7	0,0
03/05/2022	46,1	10,2
04/05/2022	50,5	20,3
05/05/2022	60,3	4,1
06/05/2022	60,9	8,1
09/05/2022	63,1	2,0
10/05/2022	61,3	6,1
11/05/2022	63,1	0,0
12/05/2022	62,3	0,0

Fonte: Autoria Própria (2022)

Por meio dos valores obtidos, observa-se um aumento da quantidade de dias em que não houve a necessidade de adicionar soda cáustica, assim como a diminuição da quantidade utilizada em cada reforço. Antes do início da adição de soda cáustica foi necessário realizar reforços em, aproximadamente, 77% dos dias de operação, enquanto após o início da adição foram necessários reforços em 69% dos dias. Além disso, foi possível aumentar o valor das concentrações, seguindo orientações de consultores da empresa, e manter uma estabilidade maior deste parâmetro durante o período analisado.

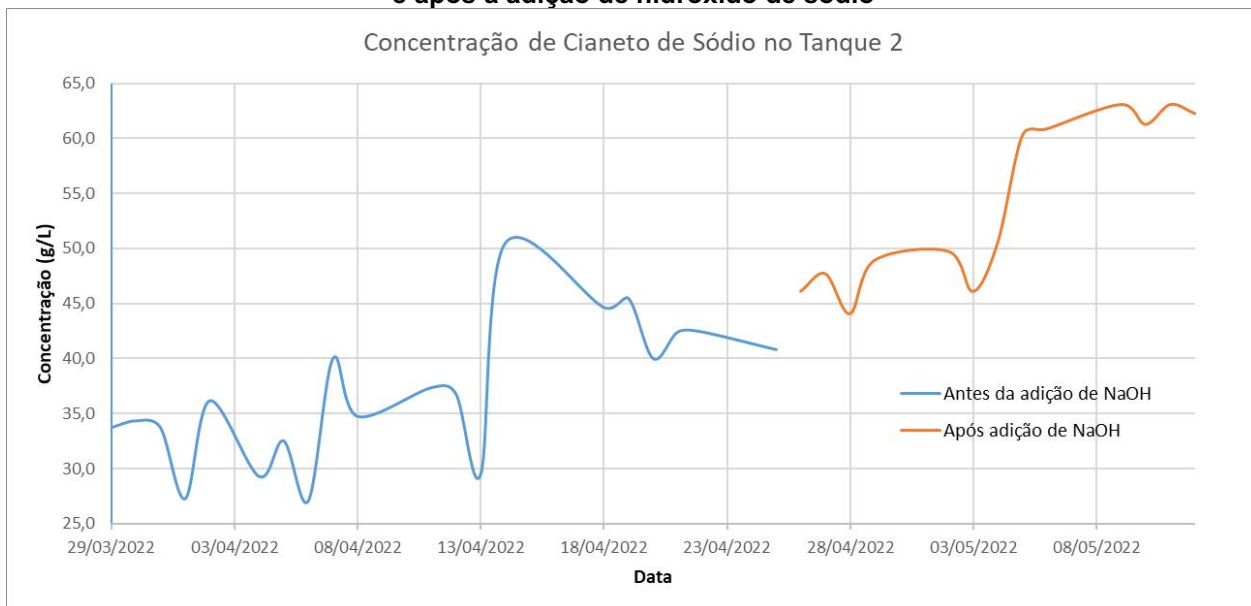
Para comparação, foram plotados gráficos que mostram a variação das concentrações de cianeto de sódio em ambos os tanques, antes e após iniciar a adição diária de soda cáustica. Os gráficos estão apresentados nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Gráfico de comparação das concentrações de cianeto de sódio no Tanque 1 antes e após a adição de hidróxido de sódio



Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 6 – Gráfico de comparação das concentrações de cianeto de sódio no Tanque 2 antes e após a adição de hidróxido de sódio



Fonte: Autoria Própria (2022)

Os gráficos tornam visível a grande variação que acontecia nas concentrações de cianeto de sódio em ambos os tanques antes de iniciar a adição do hidróxido de sódio. Após a adição da soda cáustica esta variação diminuiu, embora ainda seja possível

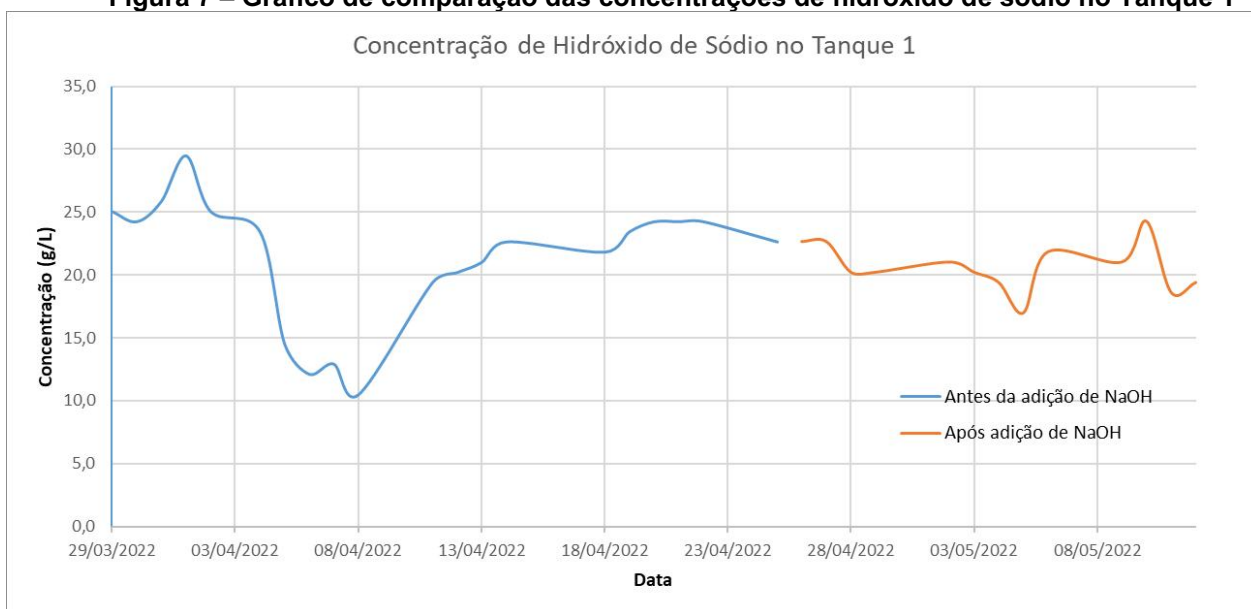
verificar que ela não se mantém totalmente constante. Estas pequenas variações são naturais ao processo, tendo em vista que esse componente é consumido durante a eletrodeposição e, diante disso, as adições realizadas a fim de atingir determinados valores da concentração do cianeto de sódio acabam provocando pequenas instabilidades.

Após iniciar a adição diária de hidróxido de sódio no tanque, observou-se que o pH da água de enxague passou a apresentar um valor médio, aproximadamente, 60% maior do que o anterior. Devido às políticas de privacidade da empresa, estes valores não serão apresentados neste trabalho. No entanto, ainda assim, é possível confirmar que a quantidade de íons hidrogênio (H^+), elemento responsável por trazer o caráter ácido para a solução, diminuiu consideravelmente (RIBEIRO *et al.*, 2016). Dessa forma, pode-se concluir que o ácido sulfúrico foi totalmente consumido.

Além disso, em relação aos reforços de cianeto de sódio que eram constantemente necessários antes da adição de NaOH, foi possível observar uma diminuição do valor médio da quantidade de NaCN adicionado durante os períodos, sendo, aproximadamente, 40% menor no tanque 1 e 30% menor no tanque 2. Cabe ressaltar que, por indicação de consultores da empresa, eram necessários maiores valores de concentração desse sal, o que foi alcançado com sucesso nesta proposta.

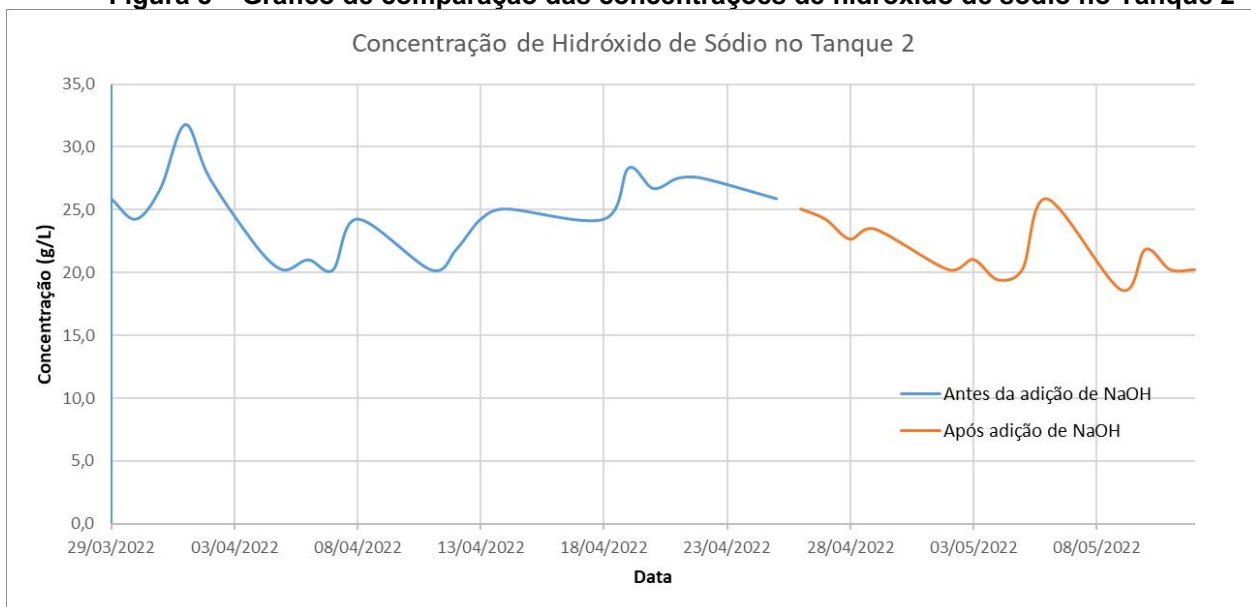
Outro fator importante a ser acompanhado é a concentração de soda cáustica no banho de cobre alcalino. Apesar de ser uma substância presente inicialmente no banho, sua concentração não pode ultrapassar valores pré-definidos para que não haja interferências nas reações. Assim, essas concentrações também foram acompanhadas durante o período de estudo. Os resultados estão apresentados nos gráficos das Figuras 7 e 8, também multiplicados pelo fator de correção.

Figura 7 – Gráfico de comparação das concentrações de hidróxido de sódio no Tanque 1



Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 8 – Gráfico de comparação das concentrações de hidróxido de sódio no Tanque 2



Fonte: Autoria Própria (2022)

Percebe-se que não houve alterações significativas e que os valores se mantiveram na mesma faixa antes e após a adição da soda cáustica no tanque anterior. Dessa forma, a adição não trouxe consequências negativas para o banho até o momento analisado.

Diante dos resultados, verifica-se que a adição de soda cáustica precisará ser feita diariamente, tendo em vista que a água do tanque é substituída todos os dias. Esta adição pode ser realizada de forma manual, porém, para isso, seria necessário o manuseio diário de bombonas de soda cáustica.

Tendo em vista o alto potencial que essa substância possui de causar queimaduras (JUNIOR et al., 2008) e pensando que o contato dos colaboradores com este reagente pode ser perigoso, propôs-se, como alternativa, a automação desse procedimento.

Para tornar a dosagem automática, pode-se utilizar bombas dosadoras programáveis, que operam por sistemas de pistão ou diafragmas, adicionando produtos químicos através da sucção do compartimento de armazenamento e da injeção no local desejado, permitindo que a dosagem seja feita sem qualquer contato com o fluido de interesse (SOUZA, 2007). Um exemplo deste tipo de bomba é apresentado na Figura 9.

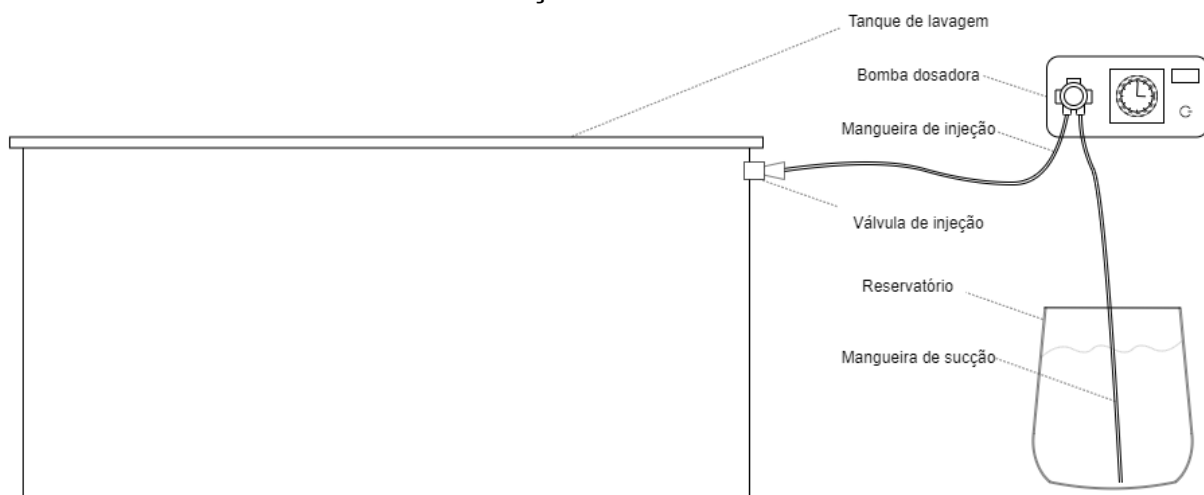
Figura 9 - Bomba Dosadora Programável



Fonte: Organização de Fomento Ambiental (2022)

Por meio desse equipamento, é possível ajustar o intervalo em que será realizado a injeção de produto no tanque. Dessa forma, 150 mL da solução de soda cáustica serão adicionados a cada 24 horas. A Figura 10 ilustra a instalação da bomba dosadora, ligada ao reservatório contendo a solução de hidróxido de sódio e ao sistema injetor que será conectado ao tanque de água.

Figura 10 – Representação da instalação da bomba dosadora para automação do processo de adição de soda cáustica



Fonte: Autoria Própria (2022)

Tendo em vista todos os resultados obtidos neste trabalho, verifica-se que a proposta apresentada neste trabalho trouxe benefícios interessantes e que já eram desejados pela empresa Pado S.A.

O primeiro foi um maior controle dos níveis de NaCN que, além de ser indispensável para que ocorra a solubilização do cianeto de cobre, é também de alta importância para o correto funcionamento da operação. O excesso de cianeto livre, gerado por esse composto, é responsável por gerar uma boa corrosão nos ânodos de cobre, evitando que uma película isolante seja formada ao redor deles. Além disso, este componente é responsável também por aumentar a aderência da camada de metal depositada sobre os produtos, originando um revestimento denso e uniforme (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010). Sendo assim, fica evidente a necessidade da estabilidade da concentração de NaCN tanto para a qualidade dos produtos como para evitar altas demandas de reforços deste composto.

Com a diminuição da necessidade de reforços diários de cianeto de sódio e a conseqüente redução da quantidade gasta deste produto, o processo tornou-se mais viável financeiramente. Além disso, a quantidade de soda cáustica adicionada diariamente é pequena, não trazendo prejuízos financeiros.

Outro ganho é em relação ao manuseio do cianeto pelos colaboradores, que se torna menos constante, diminuindo as possibilidades de acidentes de trabalho, tendo em vista a alta toxicidade do cianeto para o organismo humano (FIGUEROA-VILLAR, 2011).

6. CONCLUSÃO

Avaliando os resultados obtidos, pode-se concluir que os objetivos do presente trabalho foram alcançados.

Após a implementação da proposta de adição de hidróxido de sódio, as concentrações de cianeto de sódio no banho de cobre alcalino, nos dois tanques que se encontram na indústria Pado S.A., apresentaram menores variações e com valores mais adequados para o objetivo do processo. Com isso, diminuiu-se tanto o número de adições de reforço de cianeto de sódio nos tanques, como a quantidade de produto necessária em cada adição, diminuindo o gasto com produtos e, conseqüentemente, tornando o processo mais viável financeiramente para a empresa.

Pôde-se constatar, também, que não houve danos relacionados à adição de hidróxido de sódio ao banho durante o período analisado, já que a concentração de soda cáustica se manteve em valores próximos aos que eram apresentados anteriormente.

O contato dos funcionários com os produtos químicos, altamente tóxicos, também será menor, uma vez que, além da quantidade necessária de cianeto de sódio ter sido reduzida, uma bomba dosadora automática poderá ser utilizada para a injeção diária da quantidade correta de soda cáustica. Diante do exposto, conclui-se, portanto, que a proposta de adição de hidróxido de sódio no tanque de enxague das peças mostrou-se eficiente na manutenção da concentração de cianeto de sódio em níveis adequados para a eletrodeposição de cobre no processo de galvanoplastia da empresa Pado S.A.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. V. O. *et al.* GALVANOPLASTIA AUTOMATIZADA. In: ANAIS DA MOSTRA NACIONAL DE ROBÓTICA - MNR, 2018, Jequié. **Artigo básico**. Jequié, 2018. p. 1-3. Disponível em: <http://sistemaolimpo.org/midias/uploads/7a55f468bf855063a4cfb83f89fc646a.pdf>. Acesso em: 25 out. 2022.

CHAVECO. **Cadeado Pado**. 2018. Disponível em: <https://www.chaveco.com.br/cadeado-pado/>. Acesso em: 25 out. 2022.

FIGUEROA-VILLAR, J. D. Defesa contra armas químicas. **Ciência e cultura**, v. 63, n. 3, p. 54-57, jul. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252011000300021>. Acesso em: 25 out. 2022.

FOGAÇA, J. R. V. **Galvanoplastia ou eletrodeposição**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/galvanoplastia-ou-eletrodeposicao.htm>. Acesso em: 25 out. 2022.

HORNER, J. Cyanide Copper Plating. **Plating & surface finishing**, p. 36-38, 2022. Disponível em: <https://www.nmfr.org/pdf/p1199l.pdf>. Acesso em: 25 out. 2022.

KANANI, N. **Electroplating**: basic principles, processes and practice. Bodmin: Mpg Books Ltd, 2004. 353 p.

NEVES, C. A. **Melhorias na estação de tratamento de efluentes de uma empresa metal mecânica de produção de componentes hidráulicos**. 2005. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/10128>. Acesso em: 25 out. 2022.

Organização de Fomento Ambiental. **Bomba dosadora ajustável programável 110/220v 24h - Ofa**. Disponível em: <https://ofa.loja2.com.br/9847112-Bomba-Dosadora-Ajustavel-Programavel-110-220v-24h-Ofa>. Acesso em: 25 out. 2022.

PADO. **Empresa**. Disponível em: <https://pado.com.br/empresa>. Acesso em: 25 out. 2022.

POYNER, J. A. **Electroplating**. Hemel Hempstead: Argus Books, 1987. 61 p.

RIBEIRO, L. M. P. *et al.* Acidez, sua relação com pH e qualidade de geleias e doces em barra. **Boletim técnico Iftm**, Uberaba, Ano 2, n. 2, p. 14-19, ago. 2016. Disponível em: <https://periodicos.iftm.edu.br/index.php/boletimiftm/article/view/167>. Acesso em: 25 out. 2022.

SALMERON, R. A. Eletrodinâmica. **Eletricidade e magnetismo (básico)**. 2022. Disponível em: http://efisica2.if.usp.br/pluginfile.php/5404/mod_resource/content/0/eletrolitos_eletrolise-%20texto.pdf. Acesso em: 15 nov. 2022.

SCHLESINGER, M.; PAUNOVIC, M. (ed.). **Modern electroplating**. 5. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

SILVA, A. I. F.; AFONSO, J. C.; SOBRAL, L. G. S.. Avaliação do efeito da concentração de carbonato na eletrodeposição de cobre sobre discos de Aço-carbono. **Química nova**, v. 31, n. 7, p. 1843-1850, 3 out. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000700041>. Acesso em: 25 out. 2022.

Souza, W. A.. **Tratamento de água**. – Natal : CEFET/RN, 2007. 152 p.

VALANDRO, L. *et al.* INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE ELETRODEPOSIÇÃO DE COBRE E NÍQUEL SOBRE O ZAMAC. **Revista tecnologia e tendências**, v. 10, n. 2, p. 159, 20 dez. 2019. Associação Pro-Ensino Superior em Novo Hamburgo. Disponível em: <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistatecnologiaetendencias/article/view/1891>. Acesso em: 25 out. 2022.

VICHI, E. J. S.; CHAGAS, A. P.. Sobre a força de ácidos e bases: algumas considerações. **Química nova**, v. 31, n. 6, p. 1591-1594, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000600052>. Acesso em: 26 out. 2022.

WIERCINSKI, A.. **Galvanoplastia**: melhorias no processo de zincagem eletrolítica. 2015. 71 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Industrial, Ciências Exatas E Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2015. Disponível em: <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/3109>. Acesso em: 25 out. 2022.

JUNIOR, S. Z. *et al.* Queimadura por soda cáustica. **Arquivos Brasileiros de Ciências da Saúde**, [s. l], v. 33, n. 1, p. 40-43, jan. 2008. Disponível em: <https://portalnepas.org.br/abcs/article/view/175>. Acesso em: 26 out. 2022.