

 10.46943/VII.CONAPESC.2022.01.015

# LIGAS DE Ni-Co: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DOS PARÂMETROS E COMPOSIÇÃO DOS BANHOS ELETRÓLITICOS

## ÉVANY SILVA DOS SANTOS

Mestranda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, evanyilva889@gmail.com;

## CICERO ROMERIO PEREIRA DA SILVA

Mestrando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, cicrorome234@email.com;

## MOISÉS INOCÊNCIO ROSAS NETO

Mestrando do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, moisesrneto@email.com;

## RENATO ALEXANDRE COSTA DE SANTANA

Doutor pelo Curso de Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, renatoacs@ufcg.edu.br;

## RESUMO

A eletrodeposição é um processo simples e econômico a qual consiste no revestimento de ligas metálicas. Para que este processo ocorra de maneira satisfatória é necessário levar em consideração alguns pontos de suma importância no processo de deposição. O pH de uma solução eletrolítica, a densidade de corrente e a composição do banho eletrolítico podem interferir fortemente no revestimento de uma liga, além disso, temperatura, agitação e tempo são um dos parâmetros que também podem influenciar em uma deposição. Com base nisso, realizou-se um levantamento bibliográfico dos últimos dez anos, referentes as ligas de Ni-Co tendo como objetivo principal o estudo da influência do pH nos recobrimentos, composição do banho eletrolítico e densidade de corrente. Diante do estudo realizado para as ligas de Ni-Co, observou-se que há uma multiplicidade de reagentes utilizados nos

banhos, destacando que os mais utilizados para eletrodeposição da liga são os reagentes de sulfato de níquel e sulfato de cobalto como as fontes principais de níquel e cobalto, como também se observa o uso de ácido bórico como estabilizador/solução tampão, foi possível destacar também o uso de tensoativos e aditivos na composição dos banhos. Além disso, o pH da solução eletrolítica tem bastante influência no revestimento da liga como também a densidade de corrente utilizada pode interferir na sua estrutura, como também o pH da solução pode interferir na eficiência da corrente. Vale ressaltar que a composição dos banhos eletrolíticos, pH, densidade de corrente e outros parâmetros podem ser variados constantemente o que faz concluir que a apresentará valores distintos para cada condição utilizada.

**Palavras-chave:** Eletrodeposição, pH, densidade, Ni-Co, liga.

## INTRODUÇÃO

Muito tem-se estudado ao longo dos anos sobre os efeitos da corrosão de materiais, a corrosão é um processo espontâneo que acontece quando o metal está em contato com um eletrólito, e sendo assim ocorrem reações anódicas e catódicas. Neste processo de corrosão pode ocorrer a deteriorização de um determinado material, por isso estuda-se frequentemente ações que possam minimizar o efeito da corrosão em materiais. Além disso, a corrosão pode combinar-se com outras formas de deteriorização de materiais, o que faz acelerar o processo destrutivo, outro ponto a destacar-se que em temperaturas elevadas a corrosão é bastante intensa e ocorre sob a interação com os gases, o que constitui a oxidação, ou sais ou óxidos fundidos, constituindo assim a corrosão quente (FONTANA, 1987).

Diante desta problemática, estudam-se técnicas de aperfeiçoamento das superfícies dos materiais, em que pode-se mencionar a eletrodeposição, visto que é um processo de baixo custo por se tratar de uma técnica eletroquímica simples de se realizar, logo a mesma tem sido estudada nas últimas décadas (-SANTANA, 2007).

A eletrodeposição é um processo que tem por finalidade fazer revestimentos em um determinado substrato, afim de promover uma nova aparência como também durabilidade e melhoria do mesmo. Para uma boa eletrodeposição é preciso observar alguns parâmetros que influenciam diretamente na composição de uma liga metálica, dentro dessas condições densidade de corrente, pH, temperatura, agitação, tempo e composição do banho são de fundamental importância para a mesma. Se um desses parâmetros é modificado pode interferir de maneira significativa na morfologia, composição e estrutura da liga. Além disso, a eletrodeposição tem atraído muito a atenção nos últimos anos em especial por ser de fácil realização como também ser de baixo custo para as indústrias e de fácil controle para alteração de alguns parâmetros.

A eletrodeposição de ligas metálicas em teoria está fundamentada na lei de Ohm e nas leis de Faraday, pois nela compreende-se a redução dos componentes presentes no eletrólito que é em decorrência da passagem de corrente elétrica no meio eletrólito (DELAHAY, 1965). Outro ponto que cabe ressaltar, é que a preparação da superfície dos substratos que serão submetidos a eletrodeposição é de extrema importância para o depósito, logo a superfície do substrato deve estar extremamente limpa.

Desta feita, muitas combinações entre os metais são realizadas nos últimos tempos e uma delas é o estudo da liga de Ni-Co que tem sido estudada frequentemente, por apresentar propriedades únicas, como sua alta dureza, boa resistência ao desgaste (corrosão), atividade eletrocatalítica e propriedades magnéticas. Para produção das ligas de Ni-Co existem muitos processos que estão em estudo como o de epitaxia por feixe molecular e pulverização catódica, que requer condições de alto vácuo, mas é possível obter essas ligas pelo processo de eletrodeposição que é uma técnica mais simples e de custo menor como também tem melhor controle nos parâmetros a serem utilizados (KARPUZ, 2012).

As ligas Ni-Co são amplamente utilizadas na engenharia industrial devido à alta resistência, boa resistência ao desgaste, condução de calor e atividade eletrocatalítica além disso, podem ser usadas como filme magnético macio e ligas com memória de forma. Ainda cabe ressaltar que as ligas de níquel-cobalto são de grande interesse para aplicações eletrônicas, discos, cartões e fitas, em especial nas indústrias de computadores (TIAN, 2011).

A eletrodeposição das ligas de Ni-Co tem sido reconhecida como uma codeposição anômala, esse comportamento pode ser caracterizado pelo fato de que o metal menos nobre se deposita preferencialmente em relação ao outro metal, neste caso é possível ter a combinação de Ni-Co ou Co-Ni, isto dependerá das condições utilizadas na eletrodeposição. A este comportamento interessante atribui-se a evolução do hidrogênio o que leva ao aumento da concentração de íons hidroxila, proporcionando assim uma forte força de adsorção para os íons hidróxido de metal, como  $M(OH)$  para estabelecer ao substrato (SAFAVI, 2020).

O comportamento anômalo está frequentemente associado à eletrodeposição de ligas do grupo do Ferro, ou seja, os metais Fe, Ni e Co estão sujeitos a esse comportamento (HU et al., 2012). A quantidade de cobalto nos revestimentos pode ser controlada a partir dos parâmetros utilizados no processo, sendo assim este controle são na composição do eletrólito, na temperatura, densidade de corrente e pH.

Os parâmetros operacionais para que o processo de eletrodeposição ocorra é de bastante importância, pois na mudança de algum componente do banho, densidade de corrente, pH, temperatura e agitação pode interferir significativamente na estrutura da liga, por esta razão é necessário ressaltar que a composição do banho eletrolítico é de fundamental para os revestimentos, nestes banhos as substâncias presentes na solução servem como agentes quelantes, surfactantes, estabilizadores e niveladores.

O pH da solução eletrolítica pode influenciar bastante na composição dos revestimentos, pois influência bastante no potencial da descarga de hidrogênio, logo o hidrogênio liberado pode prejudicar a taxa de deposição e a eficiência da corrente catódica, como também a estrutura e propriedades dos revestimentos, causando rachaduras e outros defeitos (MARINHO et al., 2023).

Outro ponto que tem influência na composição das ligas é a temperatura, pois ela pode estar relacionada à mudança do potencial de equilíbrio, polarização e concentração do metal na camada de difusão e eficiência da corrente. Logo, com o aumento da temperatura os potenciais de deposição dos metais tornam-se mais nobres, pois diminui a polarização (QUEIROGA,2019).

A densidade da corrente em um processo de eletrodeposição consiste na razão entre a corrente elétrica fornecida ao sistema e a área do eletrodo em questão (QUEIROGA,2019). Com o aumento da densidade de corrente o potencial cátodo torna-se mais negativo, e que dependendo da condição utilizada e o valor do pH, podem ocorrer reações de redução do hidrogênio, logo pode-se concluir que a densidade da corrente é inversamente proporcional a quantidade de hidrogênio reduzido.

Dentro das técnicas de caracterização dos revestimentos, pode citar a Espectrometria de fluorescência de dispersão de raios-X (EDX) que tem como objetivo apresentar a composição química quali e quantitativamente, como também as caracterizações podem ser feitas por

Microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV) que tem por finalidade apresentar a superfície dos revestimentos em forma de imagem, Difração de Raios - X (DRX) para propriedades amorfas.

Diante dos expostos, o trabalho objetiva em realizar uma revisão bibliográfica acerca dos parâmetros utilizados na eletrodeposição das ligas de níquel-cobalto, enfatizando nos parâmetros de pH e densidade de corrente, como também observar a composição dos banhos eletrolíticos utilizados.

## METODOLOGIA

O estudo realizado se deu através de uma revisão bibliográfica de caráter sistemático, ou seja, que tem como base a identificação de um estudo sobre um determinado assunto ou questão, além disso a mesma é um tipo de investigação científica que tem por objetivo reunir, avaliar de forma crítica e conduzir a síntese dos resultados, podendo também responder perguntas que são formuladas a partir de métodos sistemáticos e explícitos para a identificação (CORDEIRO,2007).

Logo, esse tipo de revisão se difere de uma revisão narrativa, em que a mesma consiste em uma temática mais ampla para o estudo e também sem exigências para sua confecção, como também a busca não é pré-definida como também não tão abrangente (CORDEIRO,2007).

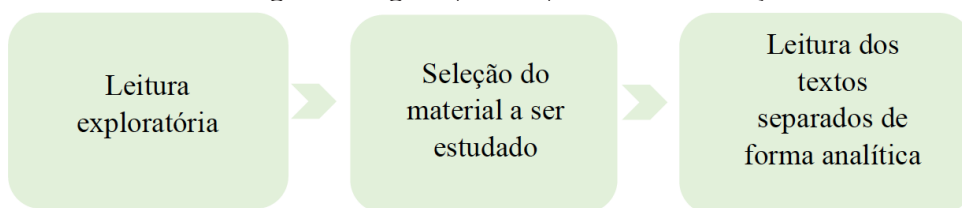
Para realização do presente estudo, foi-se coletado dados no período de 18 à 29 de abril de 2022, a coleta foi realizada a partir da base de dados do Google Acadêmico, Scopus e Scientific Eletronic Library Online (SciELO). Destaca-se que na procura de dados o Scopus é o banco de dados que sai na frente dos outros citados, visto que ele possui uma gama maior de artigos publicados e de grande relevância.

Desta feita, foi feito um levantamento dos artigos publicados nestes últimos 10 anos, logo o estudo se deu entre os anos de 2011 à 2021. Além disso, o levantamento foi feito sem divergência de idiomas, sendo assim coletados artigos em português e inglês. Outro ponto a citar, é que foram selecionados artigos que no que diz respeito as ligas de Ni-Co, em especial artigos que abordassem o processo de eletrodeposição, como também a influência do pH, composição do banho e densidade da corrente.

A pesquisa realizada no banco de dados foi direcionada a palavras chaves, títulos e resumos, ao fazer uma pesquisa utilizando “Ni-Co” no Google Acadêmico foi possível obter cerca de 180.000 artigos, além disso, ao colocar “Ni-Co eletrodeposition”, obteve-se 33.600 artigos, ao contrário de quando procurado na plataforma SciELO, que não encontrou nenhum artigo quando se buscado “Ni-Co eletrodeposition”, e ao pesquisar Ni-Co apenas 6 artigos encontrados.

Ao realizar a pesquisa no Scopus, obteve-se cerca de 300,768 resultados, mas é preciso destacar que em todas as pesquisas realizadas foram utilizados os filtros que são disponíveis na plataforma, logo a ênfase maior foi a procura dos artigos que estivessem entre os anos de 2011 à 2021 e conseqüentemente ao adicionar filtros e restringir ainda mais as palavras chaves essa quantidade de artigos diminuem, como também ao restringir as palavras chaves observa-se uma diminuição nos números de artigos publicados no período escolhido.

A partir da busca realizada, separou-se 6 artigos para a composição do trabalho e desta feita, seguiu-se alguns passos para sua elaboração:



Ao realizar as etapas citadas, chegou-se a um bem comum de analisar pontos comuns na eletrodeposição dos artigos selecionados e os comparando, escolhendo-se assim destacar pontos como: influência do pH no processo de deposição, densidade da corrente e a composição do banho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar a seleção dos artigos e realizar a etapas citadas, observou-se os pontos escolhidos a partir dos artigos abaixo:

**Quadro 1:** Relação dos artigos selecionados por títulos, autores, revista e ano de publicação.

Título	Autor(es)	Revistas	Ano
Composition, morphology, structural aspects and electrochemical properties of Ni-Co alloy coatings	C. Lupi, A., Dell'Era. , M. Pasquali, P. Imperatori	Surface and Coatings Technology	2011
Electrodeposited Ni-Co films from electrolytes with different Co contents	“Ali Karpuz, Hakan Kockar, Mursel Alper, Oznur Karaagac,	Applied Surface Science	2012
Murside Haciismailoglu”			
Electrodeposited Ni-Co alloy-particle composite coatings: A comprehensive review	“MirSaman Safavi, Mohammad Tanhaei,		
Mohammad Farshbaf Ahmadipour, Reza Ghaffari Adli, Soheil Mahdavi, Frank C. Walsh”	Surface and Coatings Technology	2020	
The influence of pH and bath composition on the properties of Ni-Co coatings synthesized by electrodeposition	Liangliang Tian, Jincheng Xu, Songtao Xiao	Vacuum	2011
The effect of deposition potential on the structure and performance of the Ni-Co multilayer nanocrystalline coating	Fan Zhang, Zhengjun Yao, Zelei Zhang, Xuwei Tao, Wenbo Du	Materials Today Communications,	2022
Estudo do efeito da densidade de corrente na composição da liga Ni-Co obtida por eletrodeposição	Anamélia De Mdeiros Dantas Raulino	Anais CONAPESC	2016

Fonte: Autoria Própria, 2022

A partir do levantamento bibliográfico realizado e da separação dos artigos para compor este presente estudo, dividiu-se a análise por tópicos sendo eles, composição dos banhos, pH e densidade de corrente, e conseqüentemente foi construído a discussão deste estudo.

## Composição dos banhos eletrólitos

Mediante ao levantamento realizado, destaca-se os principais banhos utilizados nas eletrodeposições de Ni-Co, expostos na tabela a seguir:

**Tabela 1:** Componentes dos banhos eletrólitos

<b>Autores</b>	<b>Componentes do banho</b>
Karpuz, 2012	Sulfamato de Níquel, Sulfato de Cobalto, Ácido Bórico
Lupi, 2011	Ácido Bórico, Ni e Co (não foi identificado se foi utilizado cloretos/sulfatos ou banhos puros de Ni, Co)
Raulino, 2016	Citrato de amônio, Ácido Bórico, Sulfato de Níquel e Sulfato de Cobalto
Safavi, 2020	-
Tian, 2011	Sacarina, Ácido Bórico, Sulfato de Cobalto de Sulfato de Níquel
Zhang, 2022	Sulfato de Níquel, Sulfato de Cobalto, Ácido Bórico, Sacarina, Dodecil sulfato de sódio, 1-4 butinodiol

**Fonte:** Autoria Própria, 2022

É possível perceber na similaridade dos banhos eletrólitos, tendo o Sulfato de níquel como a principal fonte de níquel, Sulfato de cobalto principal fonte de cobalto e o Ácido bórico que é utilizado como estabilizador ou solução tampão (LUPI,2011,TIAN,2011). É possível perceber no trabalho de RAULINO,2016 a utilização do Citrato de amônio tendo como função de um agente complexante para o banho, logo também é utilizado o ácido bórico afim de estabilizar.

SAFAVI 2020 apresenta uma revisão abrangente no que diz respeito a eletrodeposição de Ni,-Co, é possível destacar que é de extrema importância as substâncias que são utilizadas ao banho eletrólito, desta feita, destaca-se que o uso de surfactantes e aditivos podem ter ma grande influência sob os revestimentos. O uso de tensoativos são bastante utilizados nas eletrodeposição, ao caso do Dodecil sulfato de sódio (SDS), que é um surfactante aniônico que tem a função de adsorver os cátions existentes no eletrólito  $Co^{2+}$  e  $Ni^{2+}$  e dificultar a formação de partículas aglomeradas. Outro tensoativo que pode ser utilizado ao banho para obter os revestimentos de Ni-Co é o brometo de cetiltrimetilamônio,



que podem resultar em uma carga superficial positiva nas partículas suspensas ao eletrólito (SAFAVI,2020)

Além disso, a presença de aditivos a exemplo da sacarina, são usadas a fim do melhoramento das propriedades finais dos revestimentos, então a sacarina é utilizada para formar uma superfície mais lisa ao revestimentos a base de Ni, por poder diminuir a taxa do crescimento de cristais na superfície. Outro ponto que pode ser destacado é que a resistência a corrosão dos revestimentos ela pode ser promovida pela adição da sacarina(SAFAVI,2020).

Os ajustes de pH utilizados nos trabalhos analisados foram feitos com soluções de KOH(hidróxido de potássio), NaOH(hidróxido de sódio) NH<sub>4</sub>OH(hidróxido de amônio), HCl (ácido clorídrico) e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(ácido sulfúrico).

## pH

A partir do levantamento realizado, destaca-se os valores de pH utilizados nas eletrodeposições de Ni-Co, expostos na tabela abaixo:

**Tabela 2:** pH utilizados nos trabalhos revisados

<b>Autores</b>	<b>pH</b>
Karpuz, 2012	2,80±0,20
Lupi, 2011	4,0
Raulino, 2016	3,0
Safavi, 2020	-
Tian, 2011	2,0; 3,1; 4,3; 5,4
Zhang, 2022	Não identificado

**Fonte:** Autoria Própria, 2022

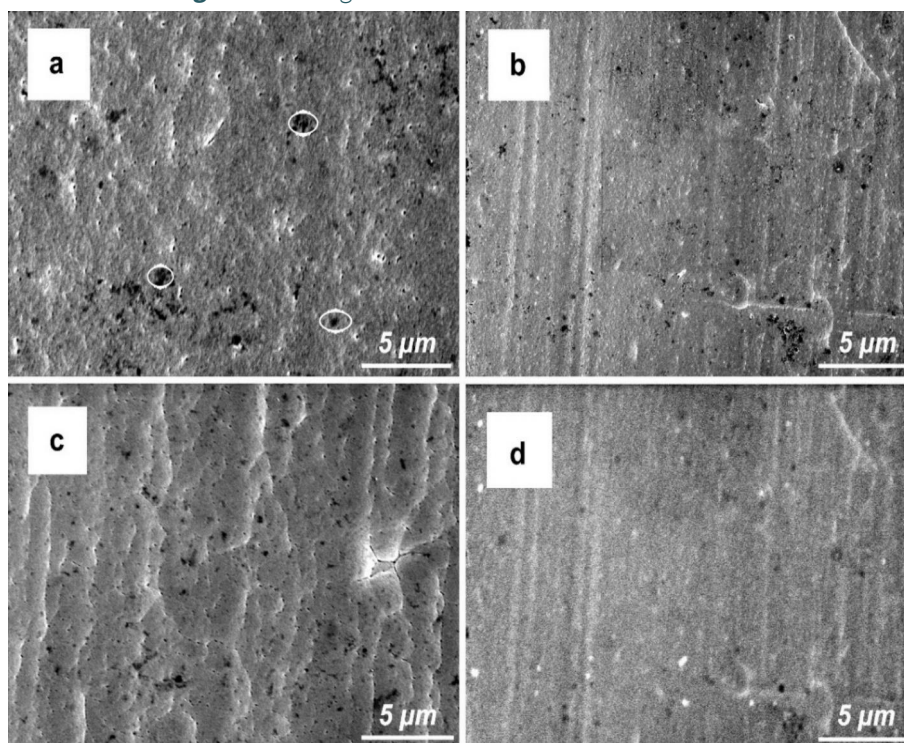
O pH de uma solução eletrolítica é de bastante influência para composição dos revestimentos das ligas de Ni-Co, a partir dos artigos selecionados para esta análise é possível perceber que para as eletrodeposição os trabalhos de KARPUZ 2012, LUPI 2011, RAULINO 2016, percebe-se a fixação de um pH constante, variando-se apenas outros parâmetros como também enfatizando observar a caracterização dos revestimentos como também a evolução do Co nos mesmos, já ao analisar o estudo de TIAN 2011 é possível perceber a variação do pH e como influência sob a composição e estrutura dos revestimentos.

SAFAVI 2020, relata que em outros estudos como o de Ghazanlou et al 2016, relata que em valores de pH mais altos resultam em uma dispersão pobre e consequentemente tendo partículas mais aglomeradas, além disso o mesmo aponta que um valor ótimo de pH para os revestimentos é de 4,6. Ainda cabe destacar que em pH menores podem ocasionar em partículas aglomeradas devido à excessiva adsorção superficial de surfactantes.

Logo, SAFAVI 2020 ressalta que quanto menor o pH do banho eletrolítico, maior será a produção de hidrogênio manifestado pelos poros internos da estrutura do filme, e estes poros podem degradar a resistência à fraturas, sendo assim um aumento de pH na solução pode resultar em depósitos quebradiços.

Para TIAN 2011, em valores de pH mais baixos como 2,0 e 3,1 o hidrogênio atômico e os hidretos dominam mais nos revestimentos, já quando os valores de pH estão mais alto 4,3 e 5,4 observa-se uma enorme influência do hidrogênio e hidretos torna-se o revestimento menos aparente. É possível observar a morfologia dos revestimentos a partir da caracterização por micrografias, na figura abaixo, (a) pH 2,0, (b) pH 3,1, (c) pH 4,3, (d) pH 5,4.

**Figura 1:** Micrografia SEM dos revestimentos de Ni-Co

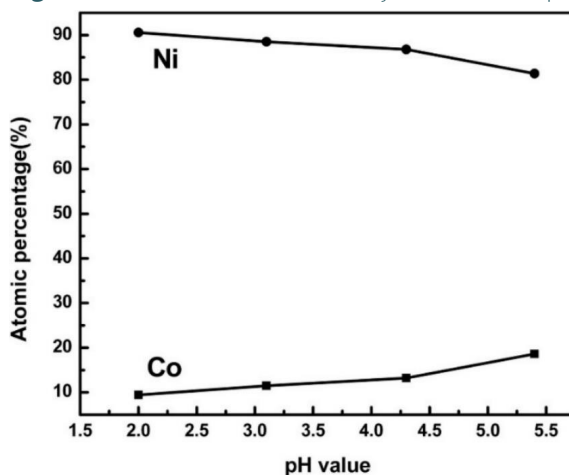


**Fonte:** Adaptado de Tian et. al, 2011

Outro fator que ainda cabe ressaltar sobre a influência do pH na eletrodeposição de Ni-Co é quanto ao teor de Co nos revestimentos, desta feita observa-se que o teor de cobalto aumenta a medida que o valor de pH varia 2,0 – 5,4(TIAN,2011). Ainda convém mencionar que ao comparar o estudo de TIAN 2011, com outros artigos da literatura é possível perceber uma similiaridade nos resultados, observando o estudo de ORINÁKOVÁ 2008.

É preciso salientar que estes dados são para os parâmetros e composição do banho utilizado no estudo, ao observar a figura abaixo é possível identificar que o teor de cobalto aumenta a medida que o pH da solução está aumentando, nota-se que variando o pH há um aumento no teor de cobalto e uma diminuição no teor de níquel, o que faz concluir o comportamento anômalo da liga Ni-Co, em que o cobalto sendo o metal menos nobre deposita-se preferencialmente em relação ao níquel.

**Figura 2:** Teor de Cobalto em relação ao valor de pH



**Fonte:** Adaptado de Tian et. al, 2011

## Densidade de corrente e eficiência

No que diz respeito a densidade da corrente utilizada nos trabalhos utilizados, observa-se os seguintes valores:

**Tabela 3:** densidade de corrente utilizada nos trabalhos revisados

Autores	Densidade de corrente
Karpuz, 2012	-
Lupi, 2011	220mA/cm <sup>2</sup>
Raulino, 2016	20, 60 e 120 mA/cm <sup>2</sup>
Safavi, 2020	-
Tian, 2011	2,0 A/dm <sup>2</sup>
Zhang, 2022	1,92 e 0,64 mA/mm <sup>2</sup>

**Fonte:** Autoria Própria, 2022

Para SAFAVI 2020, a densidade de corrente é responsável por governar as propriedades morfológicas, microestruturais tribológicas e de corrosão dos revestimentos das ligas de Ni-Co. Logo, a principal influência que esta densidade de corrente pode ter é alterar o carregamento de partículas codepositadas, outro ponto que o autor destaca é que alguns dados que estão disponíveis na literatura apresentam bastante contradições. Para o mesmo autor, um aumento da densidade de corrente pode resultar em uma taxa maior de deposição do metal que está sendo eletrodepositado, além disso este aumento pode provocar rugosidades na superfície dos revestimentos devido a uma evolução do hidrogênio na superfície.

RAULINO 2016, a partir de seus experimentos observa que a melhor densidade de corrente aplicada para a eletrodeposição de Ni-Co, foi de 120mA/cm<sup>2</sup> visto que pode obter uma maior quantidade de níquel na composição da liga e consequentemente maior eficiência da corrente como também espessura do revestimento. É preciso salientar que, para cada estudo é necessário entender as condições utilizadas naquela deposição em virtude de que os parâmetros operacionais e a composição dos banhos não serão os mesmos e consequentemente os resultados também não.

Para TIAN 2011, destacou-se apenas a eficiência da corrente em virtude de que a análise do estudo estava focada na variação do pH da solução, mas cabe salientar que a densidade de corrente aplicada conseguiu-se observar a influência do pH na eficiência da corrente, que o mesmo destaca-se que em pH mais altos a eficiência da corrente foi maior em virtude da menor concentração de H<sup>+</sup> então o consumo da corrente é menor e consequentemente sua eficiência maior. Os demais autores analisados não se deteram a observar a influência da densidade da corrente nos revestimentos da liga, observando-se apenas as caracterizações dos revestimentos, como as análises de EDX, RDX,

MEV e propriedade magnética em virtude de que a liga de Ni-Co tem um alto poder magnético. Mas, é possível observar que em cada artigo analisado há uma diferenciação significativa em cada resultado obtido tendo em vista de que as densidades de corrente aplicadas não são as mesmas, como também demais fatores não serem iguais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do levantamento bibliográfico realizado, é possível perceber a multiplicidade e a variedade de artigos que encontra-se sobre as ligas de Ni-Co, além disso percebe-se que os banhos eletrolíticos utilizados tem bastante variedade de tensoativos ou aditivos que são agregados ao banho eletrolítico para os revestimentos de Ni-Co, nos artigos que foram estudados foi possível identificar que os reagentes comuns entre eles foi de sulfato de níquel (como a fonte de níquel), sulfato de cobalto (como fonte de cobalto) e o ácido bórico utilizado como estabilizados/solução tampão nos banhos, quando havia a variação do banho era com adição de mais um reagente, como é o caso da sacarina utilizado nos banhos de Zhang e Tian, além disso foi possível identificar no banho de Raulino 2016 o uso de um agente complexante, citrato de amônio.

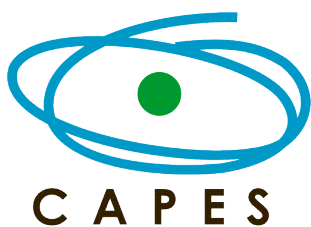
É importante ressaltar que para cada composição do banho eletrolítico pode influenciar de maneira significativa a composição química, no que diz respeito a concentração utilizada, como também pode afetar na estrutura do revestimento. Além disso, outro ponto estudado é a influência do pH da solução eletrolítica utilizada, a qual o mesmo quando variado pode ter bastante influência em termos de composição, estrutura, eficiência da corrente e em outros aspectos que uma liga metálica pode ter. Desta feita, é de grande relevância observar o valor do pH utilizado na solução, compreendendo que a medida que este valor é variado, como também a depender da composição do banho, ou seja, dos reagentes utilizados, como também dos parâmetros operacionais como valor da densidade da corrente, temperatura e agitação, pode ter grande influência no revestimento final da liga, como também em suas propriedades finais.

Foi possível perceber nos trabalhos de Tian 2011 com seu estudo experimental que a medida que o pH da solução eletrolítica variava, a composição química varia, como também a eficiência da corrente variava, ou seja aumentava. Como também a morfologia dos revestimentos sofriam modificações. Além disso, é importância salientar o valor de densidade de corrente fornecido ao processo de eletrodeposição da liga, em virtude que este parâmetro também

é de extrema importância e relevância para o comportamento final do revestimento, pois variar a corrente, também pode influenciar na sua eficiência, como também na estrutura do revestimento.

Diante dos expostos é possível concluir que a eletrodeposição das ligas de Ni-Co pode ser realizada por diversos parâmetros operacionais, mas é preciso compreender que algum deste modificado acarretará em mudanças na estrutura final do filme. Como também, a variação de alguns parâmetros específicos como pH e densidade de corrente podem apresentar diferentes resultados na composição química da liga como também em seu revestimento, como aparecimento de trincas na estrutura. Por esta razão é preciso compreender que a medida que os parâmetros são modificados, modifica-se também os resultados e a análise dos mesmos devem ser feitas de maneira criteriosa e fundamentada com estudos que já se encontram na literatura.

## AGRADECIMENTOS



Universidade Federal  
de Campina Grande



## REFERÊNCIAS

BRIZOLA, J., & FANTIN, N. (2017). REVISÃO DA LITERATURA E REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA. *Revista De Educação Do Vale Do Arinos - RELVA*, 3(2). <https://doi.org/10.30681/relva.v3i2.1738>

CORDEIRO, Alexander Magno; OLIVEIRA, Glória Maria de; RENTERÍA, Juan Miguel; GUIMARÃES, Carlos Alberto. Revisão sistemática: uma revisão narrativa. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 428-431, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69912007000600012>.

COSTA, E. A. Da. Avaliação da Resistência a Corrosão da Liga Ni-W Obtida por Eletrodeposição. 2008. p. 71.

DELAHAY, P. Double layer and electrode kinetics. 2. Ed. JOHN WILEY & SONS, INC., 1965.

FARZANEH, M. A.; GOLOZAR, M. A. Effect of current density on deposition process and properties of nanocrystalline Ni-Co-W alloy coatings. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 489, p. 488–492, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.09.087>>.

FONTANA, M. G. **Corrosion engineering**. 3. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1987.

GAMBURG, Y. D.; ZANGARI, G. **Theory and practice of metal electrodeposition**. Springer Science, 2011.

GLASSTONE, S.; SPEAKMAN, J. C. The electrodeposition of cobalt-nickel alloy. II. **Trans. Faraday Soc.**, n. 27, p. 29–35, 1931.

GRUM, J.; SLABE, J. M. The use of factorial design and response surface methodology for fast determination of optimal heat treatment conditions of different Ni-Co-Mo surfaced layers. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 155–156, p. 2026–2032, 2004.

GU, Y.; LIU, J.; QU, S.; DENG, Y.; HAN, X.; HU, W.; ZHONG, C. Electrodeposition of alloys and compounds from high-temperature molten salts. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 690, p. 228–238, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.08.104>>.

HEMEDA, O. M.; TAWFIK, A.; EL-SAYED, A. H.; HAMAD, M. A. Synthesis and Characterization of Semi-crystalline NiCoP film. **Journal of Superconductivity and Novel Magnetism**, v. 28, n. 12, p. 3629–3632, 2015.

HU, J.; FANG, L.; ZHONG, P.-W.; TANG, A.-Q.; YIN, B.; LI, Y. Preparation and properties of Ni-Co-P/nano-sized Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> electroless composite coatings. **Surface and Interface Analysis**, v. 44, n. 4, p. 450–455, 2012. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/sia.3825>>.

HUI, W.; LIU, J.; CHAUG, Y. A. Study of the corrosion resistance of brush-plated Ni-Fe-W-P films. **Surface and Coatings Technology**, n. 68–69, p. 546–551, 1994.



IBACH, H. **Physics of surfaces and interfaces vol. 12**. Berlin: Springer, 2006.

JI, X.; YAN, C.; DUAN, H.; LUO, C. Effect of phosphorous content on the microstructure and erosion-corrosion resistance of electrodeposited Ni-Co-Fe-P coatings. **Surface and Coatings Technology**, v. 302, p. 208–214, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.06.001>>.

JONES, D. A. **Principles and prevention of corrosion**. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002. KARPUSZ, Ali; KOCKAR, Hakan; ALPER, Mursel; KARAAGAC, Ozgur; HACIISMAILOGLU, Murside. Electrodeposited Ni-Co films from electrolytes with different Co contents. **Applied Surface Science**, [S.L.], v. 258, n. 8, p. 4005-4010, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.12.088>.

LI, Wenruo; HAO, Jianjun; MU, Shihui; LIU, Wei. Electrochemical behavior and electrodeposition of Ni-Co alloy from choline chloride-ethylene glycol deep eutectic solvent. **Applied Surface Science**, [S.L.], v. 507, p. 144889, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144889>.

LUPI, C.; DELL'ERA, A.; PASQUALI, M.; IMPERATORI, P.. Composition, morphology, structural aspects and electrochemical properties of Ni-Co alloy coatings. **Surface and Coatings Technology**, [S.L.], v. 205, n. 23-24, p. 5394-5399, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.06.002>

ORINÁKOVÁ R., ORINÁK A., VERING G., TALIAN I., SMITH R. M., ARLINGHAUS H. F.; Influence of pH on the electrolytic deposition of Ni-Co films; Science Direct, 516, p. 3045-3050, 2008.

RAULINO, Anamélia De Mdeiros Dantas et al.. **Estudo do efeito da densidade de corrente na composição da liga ni-co obtida por eletrodeposição**. Anais I CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2016. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/18005>>. Acesso em: 04/07/2022

ROBERGE, P. R. Handbook of Corrosion Engineering. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1999

QUEIROGA, R. A. Obtenção e caracterização da liga Ni-Co-P obtida por eletrodeposição. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pós-Graduação



em Engenharia Mecânica, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2019.

SANTANA, R.A.C.; CAMPOS, A.R.N.; PRASAD, S.; Otimização do banho eletrolítico da liga Fe-W-B resistente à corrosão. **Química Nova**, 2007. 360, 365.

SANTANA, R.A.C.; PRASAD, S.; SANTANA, F.S.M. Revestimento eletrolítico com uma liga amorfa de Ni-W-B, resistente à corrosão e ao desgaste. **Eclética Química**. São Paulo, v.28, n.1, p.69-72, 2003.

ZHANG, Fan; YAO, Zhengjun; ZHANG, Zelei; TAO, Xuewei; DU, Wenbo. The effect of deposition potential on the structure and performance of the Ni-Co multilayer nanocrystalline coating. **Materials Today Communications**, [S.L.], v. 30, p. 103097, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.103097>.

YANG, Y.; DENG, B.; WEN, Z. Preparation of Ni-Co alloy foils by electrodeposition. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v.1, p. 27-32, 2011.