



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - CCEN
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

GABRIEL DE FREITAS BELARMINO ABREU

**APLICAÇÃO DA POLARIZAÇÃO POTENCIODINÂMICA LINEAR E
ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA EM
ANÁLISES DE CORROSÃO DE ELETRODEPÓSITOS DE CROMO DURO
EM MEIO AQUOSO CONTENDO CLORETO**

MOSSORÓ

2024

GABRIEL DE FREITAS BELARMINO ABREU

**APLICAÇÃO DA POLARIZAÇÃO POTENCIODINÂMICA LINEAR E
ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA EM
ANÁLISES DE CORROSÃO DE ELETRODEPÓSITOS DE CROMO DURO
EM MEIO AQUOSO CONTENDO CLORETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi - Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e
Tecnologia.

Orientador: Professor Dr. Gecílio
Pereira da Silva

Co-orientador: Professor Dr. Luiz
Ferreira Da Silva Filho

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

d162a Abreu, Gabriel de Freitas Belarmino.
Aplicação Da Polarização Potenciodinâmica Linear
E Espectroscopia De Impedância Eletroquímica Em
Análises De Corrosão De Eletrodepósitos De Cromo
Duro Em Meio Aquoso Contendo Cloreto / Gabriel de
Freitas Belarmino Abreu. - 2024.
20 f. : il.

Orientador: Silva, Gecílio Pereira da.
Coorientador: Silva Filho, Luiz Ferreira Da.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2024.

1. Cromo Duro. 2. Agente complexante. 3.
Eletrodepósito. 4. Corrosão. I. Silva, Gecílio
Pereira da, orient. II. Silva Filho, Luiz
Ferreira da, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

GABRIEL DE FREITAS BELARMINO ABREU

**APLICAÇÃO DA POLARIZAÇÃO POTENCIODINÂMICA LINEAR E
ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA EM ANÁLISES DE
CORROSÃO DE ELETRODEPÓSITOS DE CROMO DURO EM MEIO
AQUOSO CONTENDO CLORETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade
Federal Rural do Semi - Árido
como requisito para obtenção do
título de Bacharel Interdisciplinar
em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Professor Dr. Gecílio
Pereira da Silva

Co-orientador: Professor Dr. Luiz
Ferreira Da Silva Filho

DATA DA APROVAÇÃO: 24/10/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gecílio Pereira da Silva
Presidente – UFERSA

Prof. Dr. Luiz Ferreira Da Silva Filho
Primeiro membro – UFERSA

Marcos Vinicius Queiroz Ambrosio Correia
Membro Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus, por sempre estar me abençoando. Em seguida, a minha família e amigos pelo apoio incondicional e por acreditarem em mim durante toda essa jornada acadêmica. Ao meu orientador e co-orientador que, com sua dedicação e conhecimento, me guiaram neste trabalho, oferecendo sugestões valiosas e me desafiando a ir além. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo. Aos meus amigos e colegas de curso, pelo companheirismo e pelas trocas de experiências que tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora. A cada um de vocês, o meu mais sincero obrigado.

RESUMO

O presente trabalho investiga a aplicação da técnica de polarização potencioestática linear na análise de corrosão de eletrodepósitos de cromo duro que serão obtidos a partir de eletrólitos convencionais modificados pela adição do agente complexante oxalato de sódio. A corrosão é um dos principais desafios enfrentados por materiais metálicos, especialmente em ambientes agressivos, como os que contêm íons cloreto. Este estudo visa compreender a influência desses íons sobre a estabilidade e a resistência dos depósitos de cromo duro, com o objetivo de desenvolver estratégias que melhorem suas propriedades anticorrosivas. A técnica eletroquímica linear utilizada permite obter informações precisas sobre as taxas de corrosão e os potenciais de pite, possibilitando uma análise detalhada do comportamento do material em diferentes condições. Os resultados obtidos fornecerão subsídios para otimizar processos de proteção contra corrosão e contribuir para a aplicação eficiente de cromo duro em diversas indústrias.

Palavras-chave: Cromo Duro. Agente complexante. Eletrodepósito. Corrosão.

ABSTRACT

This study investigates the application of the linear potentiostatic polarization technique in the corrosion analysis of hard chrome electrodeposits, which will be obtained from occasional electrolytes modified by the addition of the complexing agent sodium oxalate. Corrosion is one of the main challenges faced by metallic materials, especially in aggressive environments, such as those containing chloride ions. This study aims to understand the influence of these ions on the stability and resistance of hard chrome deposits, with the aim of developing strategies to improve their anticorrosive properties. The linear electrochemistry used allows obtaining accurate information on corrosion rates and corrosion potentials, enabling a detailed analysis of the material's behavior under different conditions. The results obtained provide support for the optimization of corrosion protection processes and contribute to the efficient application of hard chrome in several sectors.

Keywords: Hard Chrome. Complexing agent. Electrodeposit. Corrosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação gráfica de Polarização Potenciodinâmica Linear (PPL) 15

Figura 2 – Comparação gráfica Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) 16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do eletrólito convencional de cromo duro (Autoria própria, 2024)	13
Tabela 2 - Composição do eletrólito com complexante bidentado (Autoria própria, 2024)	13
Tabela 3 - Dados cinéticos Polarização Potenciodinâmica Linear (Autoria própria, 2024)	16

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	10
2.1	Objetivo geral.....	10
2.2	Objetivos específicos	10
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
3.1	Eletrodeposição do cromo.....	10
3.2	Agentes complexantes	11
3.3	Técnicas eletroquímicas.....	12
4	METODOLOGIA.....	13
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
6	CONCLUSÕES.....	17
7	REFERÊNCIAS	17

1 INTRODUÇÃO

Em um aspecto muito difundido e aceito universalmente pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 1996). A deterioração causada pela interação física e/ou química entre o material e o meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis sofridas pelo material, tais como: desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso.

A corrosão resulta em perda de material, o que afeta diretamente o consumo de recursos, como água e energia, devido à necessidade de fabricar novos componentes para substituir aqueles que foram danificados (ROBERGE, 1999). Assim, o tratamento de superfície torna-se essencial, pois oferece propriedades que melhoram o desempenho do material, incluindo maior resistência à corrosão.

Revestimentos de cromo são amplamente utilizados em diversos setores industriais, como: automobilístico, têxtil, alimentício, petroquímico, de embalagens, farmacêutico, entre outros, para proteger peças metálicas da corrosão e do desgaste mecânico, além de conferir propriedades estéticas.

O cromo duro destaca-se por apresentar uma excelente combinação de características de alta relevância tecnológica, tais como: alta dureza, resistência à corrosão, ao desgaste, estabilidade térmica e baixo coeficiente de atrito, refletindo consideravelmente no aumento da vida útil de peças e equipamentos, além de diminuir os custos de manutenção.

Por ser um revestimento de grande importância industrial, nas últimas décadas vários estudos vêm sendo desenvolvidos objetivando aprimorar a qualidade dos depósitos de cromo duro convencionais. Entre os métodos avaliados, destaca-se a modificação dos eletrólitos convencionais através da adição de agentes complexantes.

Neste trabalho, revestimentos de cromo duro serão obtidos a partir de eletrólitos convencionais modificados pela adição do agente complexante oxalato de sódio. As resistências à corrosão destes depósitos em meio salino serão avaliadas, utilizando-se como referência o eletrodepósito de cromo duro convencional.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a resistência à corrosão de eletrodepósitos de cromo duro obtidos de eletrólitos convencionais modificados por adição do agente complexante oxalato de sódio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$), utilizando a técnica da Polarização Potenciodinâmica Linear.

2.2 Objetivos específicos

- Capacitação no uso de equipamentos e acessórios de laboratório utilizados na avaliação da resistência à corrosão de metais e ligas por meio de técnicas eletroquímicas;
- Investigar o efeito da adição do agente complexante oxalato de sódio nas características dos eletrólitos e dos revestimentos obtidos;
- Contribuir para o avanço do conhecimento científico na área de eletrodeposição e resistência à corrosão de revestimentos de cromo duro.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Eletrodeposição do cromo

O processo de eletrodeposição de cromo duro por ser um método eficiente que permite o revestimento de substratos nas mais variadas dimensões e formas geométricas faz com que ele seja mundialmente reconhecido (DUBPERNELL, 1977). Historicamente, o processo teve o seu desenvolvimento iniciado em 1854 por Bunsen. Contudo, somente por volta de 1923 e 1924 passou a ser utilizado como substituto ao níquel, desenvolvido por Dubpernell e Fink. A partir de 1940, a eletrodeposição começou a se tornar um processo comercial que tinha por objetivo obter camadas com boa aderência (Wheij; PAUNOVIC, 2010; KUBIAKI, 2017).

Atualmente existem dois tipos de eletrodeposição de cromo: decorativo e funcional (duro), obtidos tradicionalmente a partir de eletrólitos à base de trióxido de cromo e sem adição de agentes complexantes. Apesar de caracterizarem-se por vida útil longa, brilho, proteção e aparência lustrosa nas peças, a decorativa apresenta, geralmente, películas mais delgadas com espessura inferior a 1 μm ,

e camadas prévias de cobre, níquel, ou ambas, dependendo da função final da peça. Por outro lado, o cromo duro funcional é utilizado em componentes que necessitam de uma resistência superficial maior ao desgaste e à corrosão e promover uma maior vida útil (KUBIAKI, 2017).

3.2 Agentes complexantes

Os agentes complexantes, também chamados de ionóforos, que significa transportadores (foros) de íons, são substâncias que podem tanto ser inorgânicas ou orgânicas, possuindo elétrons livres, ou seja, pares eletrônicos não compartilhados. Podem ser cíclicas ou acíclicas, contendo átomos como enxofre, nitrogênio, oxigênio, entre outros (WHEI; NETO, 1998). Para Atkins & Jones (2012), um complexo é uma espécie que é constituída por um íon central de metal que se liga a outros íons ou moléculas por meio de ligações coordenadas. Já um composto de coordenação é um composto que possui carga neutra, onde pelo menos um dos íons é um complexo. Todavia, os dois termos, complexo e composto de coordenação são muitas vezes usados um pelo outro (ATKINS & JONES, 2012).

Em um composto de coordenação temos duas partes: uma espécie central e um grupo de ligantes coordenados a ele. Com isso, tanto a espécie central como os ligantes formam a esfera de coordenação (SOUZA, 2015).

Na eletrodeposição, os agentes complexantes adicionados os eletrólitos tem sido objetivo de vários estudos por conferirem algumas características aos revestimentos. Vários processos industriais utilizam aditivos complexantes com diversas finalidades, entre elas: conferir brilho, aumentar rendimento de corrente catódica, melhorar a molhabilidade, etc. Além disso, tem sido demonstrado através de estudos que estes aditivos podem influenciar diretamente a morfologia superficial, brilho, tensão interna e mesmo a composição química de ligas eletrodepositadas (SIQUEIRA, 2007; PEREIRA, 2012). Siqueira (2007) em seus estudos demonstrou que os aditivos são de grande importância para os banhos de eletrodeposição, pois mesmo em pequenas concentrações podem influenciar de forma significativa a microestrutura dos depósitos formados e permitir a obtenção de depósitos mais uniformes e/ou aderentes. Estes podem ser adsorvidos na superfície do eletrodo ou formar complexos com íons metálicos, dificultando a ocorrência de problemas indesejáveis durante a

redução do metal, como elevadas taxas de deposição e formação de filmes pouco aderentes, com trincas ou com dendritos.

Segundo Brenner (1963), os aditivos podem influenciar de duas formas: morfologicamente/estruturalmente, identificados pelas características microscópicas superficiais ou estruturais do depósito e eletroquímica interferindo na relação corrente/sobretensão da reação de eletrodeposição. Agentes complexantes comumente utilizados para se obter revestimentos metálicos por eletrodeposição em banhos eram a base de cianeto. Todavia, por serem tóxicos, ficou cada vez mais em desuso ao longo dos anos, sendo substituídos por complexantes ambientalmente favoráveis. Alguns agentes complexantes como glicinato de sódio, citrato de sódio, sorbitol ou pirofosfato de potássio vêm ganhando destaque e sendo estudados (SOUZA et al., 2016).

3.3 Técnicas eletroquímicas

Técnicas eletroquímicas são métodos que envolvem a medição e análise de reações químicas que ocorrem quando uma corrente elétrica é aplicada a um sistema. Essas técnicas são amplamente utilizadas em pesquisas de química, engenharia de materiais e áreas relacionadas, como a análise de corrosão, armazenamento de energia e processos de eletrodeposição. Técnicas eletroquímicas podem ser utilizadas na avaliação, no controle e na investigação da corrosão de metais sofrendo diferentes tipos de ataque corrosivo (WOLYNEC, 2003).

A Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) é uma técnica eletroquímica que permite avaliar as propriedades de um sistema em função da frequência de uma pequena perturbação de tensão aplicada ao mesmo. A resposta em corrente é medida para analisar a resistência, capacitância e outras características do sistema, podendo fornecer informações sobre a interface eletrodo-eletrólito e o comportamento de transporte de carga em sistemas eletroquímicos complexos (BARD e FAULKNER 2000).

Polarização Potenciodinâmica Linear (PPL) é uma técnica eletroquímica utilizada para estudar o comportamento de corrosão de materiais. Ela envolve a aplicação de uma variação controlada de potencial a um eletrodo enquanto se mede a corrente que passa através do sistema. A análise das curvas de polarização geradas permite a determinação de parâmetros importantes como a

densidade de corrente de corrosão, o potencial de corrosão e as taxas de corrosão do material. Possibilita a caracterização da resistência à corrosão de materiais metálicos, fornecendo informações cruciais sobre o comportamento de passivação e os mecanismos de corrosão (JONES D. A., 1996).

4 METODOLOGIA

Em todos os experimentos foram preparados eletrólitos com reagentes de grau analítico e água destilada. Os revestimentos foram obtidos sobre eletrodos de aço SAE 1020® com área geométrica de aproximadamente 1,2 cm². Previamente à eletrodeposição, os substratos (eletrodos de trabalho) foram polidos com papel de carbetto de silício em granulação decrescente de 600, 800 e 1200 mesh e, em seguida, submetidos a desengraxe por imersão em solução alcalina cáustica de NaOH 20 % (m/v) e ativados por imersão em soluções de ácido clorídrico (HCl 20 % ,v/v). Entre cada etapa eles foram lavados com água destilada.

4.1 Eletrólitos

Os eletrodepósitos de cromo foram obtidos nas mesmas condições operacionais dos processos industriais de galvanoplastia, a partir de:

- Eletrólitos convencionais à base de trióxido de cromo (CrO₃), conforme mostrado na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Composição do eletrólito convencional de cromo duro (Autoria própria, 2024)

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO (mol/L)	FUNÇÃO
CrO ₃	1,8	Fonte de Cr
H ₂ SO ₄	0,018	Catalisador

- Eletrólitos convencionais à base de trióxido de cromo (CrO₃) aditivados com o agente complexante bidentado oxalato de sódio (Na₂C₂O₄) em proporção molar de 10:1 (cromo em solução: aditivo) considerando a máxima complexação, conforme mostrado na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Composição do eletrólito com complexante bidentado (Autoria própria, 2024)

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO (mol/L)	FUNÇÃO
CrO ₃	1,8	Fonte de Cr
H ₂ SO ₄	0,018	Catalisador
Na ₂ C ₂ O ₄	0,18	Complexante

4.2 Eletrodeposição

A eletrodeposição foi feita em célula convencional de único compartimento de vidro pyrex ® de 150 mL de capacidade, com eletrodos mantidos a uma distância aproximada de 1,5 cm. Para isso, uma fonte de corrente contínua modelo FA-3030 da INSTRUTERM® foi empregada para a obtenção dos eletrodepósitos. As condições operacionais de eletrodeposição foram as mesmas para todos os experimentos: densidade de corrente 200 mA.cm⁻²; temperatura 50°C tempo de eletrodeposição 5 minutos, agitação aproximadamente 100 rpm, em modo potenciostático capaz de fornecer ao sistema uma densidade de corrente contínua de aproximadamente 26 mA.cm⁻². Os parâmetros obtidos nos experimentos realizados com o cromo duro convencional foram utilizados como referência para os demais.

4.3 Ensaio de corrosão

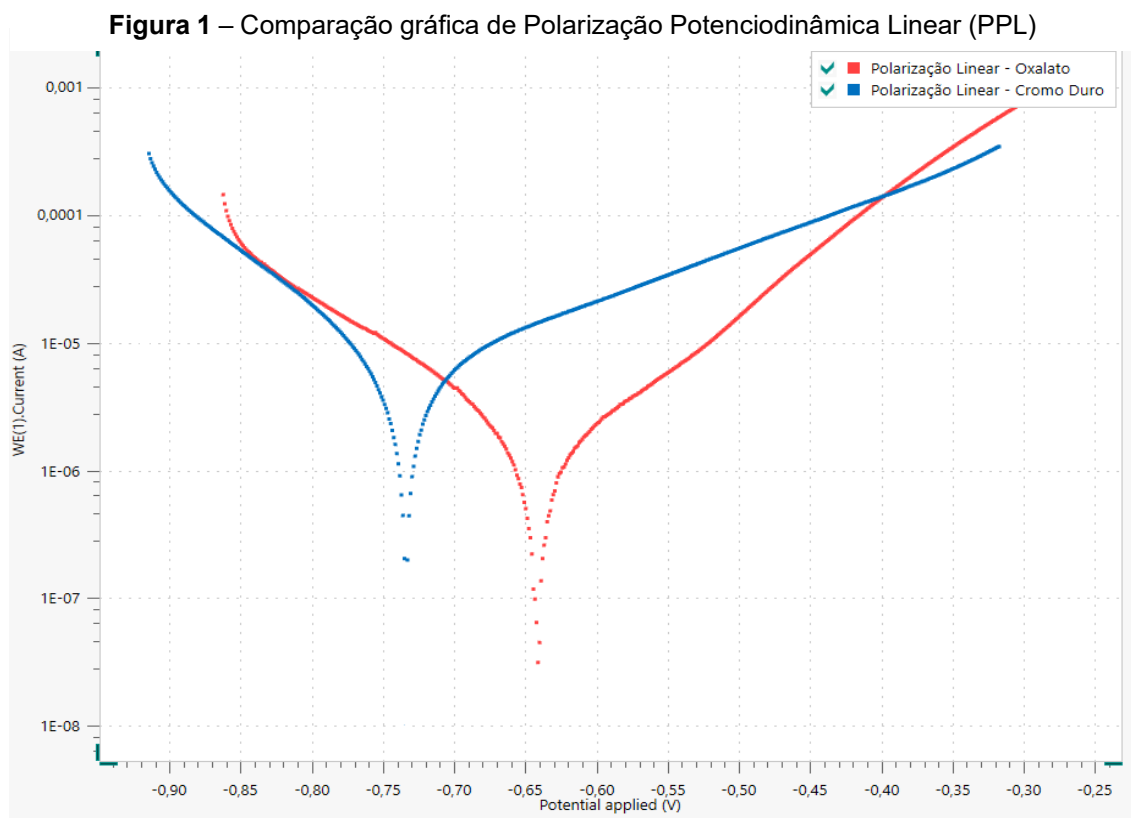
As análises de resistência à corrosão foram realizadas utilizando a técnica de polarização potenciodinâmica linear (PPL) e Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) no intervalo de varredura de 300 mV abaixo e 300 mV acima do potencial de circuito aberto para obtenção da taxa de corrosão, potencial de corrosão e corrente de corrosão das amostras em meio de NaCl 3,5 %. A célula utilizada era composta por três eletrodos: Ag/AgCl, como referência; platina como contra eletrodo e aço SAE 1020® revestido com os eletrodepósitos como eletrodo de trabalho. Para isto foi utilizado um postenciostato/galvanostato PGSAT204 da Metrohn Autolab®, e os softwares NOVA versão 1.11 e Origin 8.0© para a aquisição e o tratamento dos dados obtidos, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de Polarização Potenciodinâmica Linear referentes aos revestimentos de cromo duro são mostradas na **Figura 1**. Através desta técnica também foram obtidos outros parâmetros, tais como: potenciais de corrosão (E_{corr}), resistências à polarização (R_p), correntes de corrosão (I_{corr}) e taxas de corrosão, mostrados na **Tabela 3**.

Com base nos dados cinéticos e termodinâmicos contidos na **Tabela 3**, podemos inferir que em termos do parâmetro termodinâmico, potencial de corrosão, observa-se que os revestimentos de cromo duro obtidos de eletrólitos

aditivados com o oxalato sódio exibiu um valor de potencial de corrosão mais positivo que o depósito convencional, ou seja, apresentou um caráter mais nobre. Esse resultado indica que a adição do complexante é capaz de melhorar os valores do potencial.



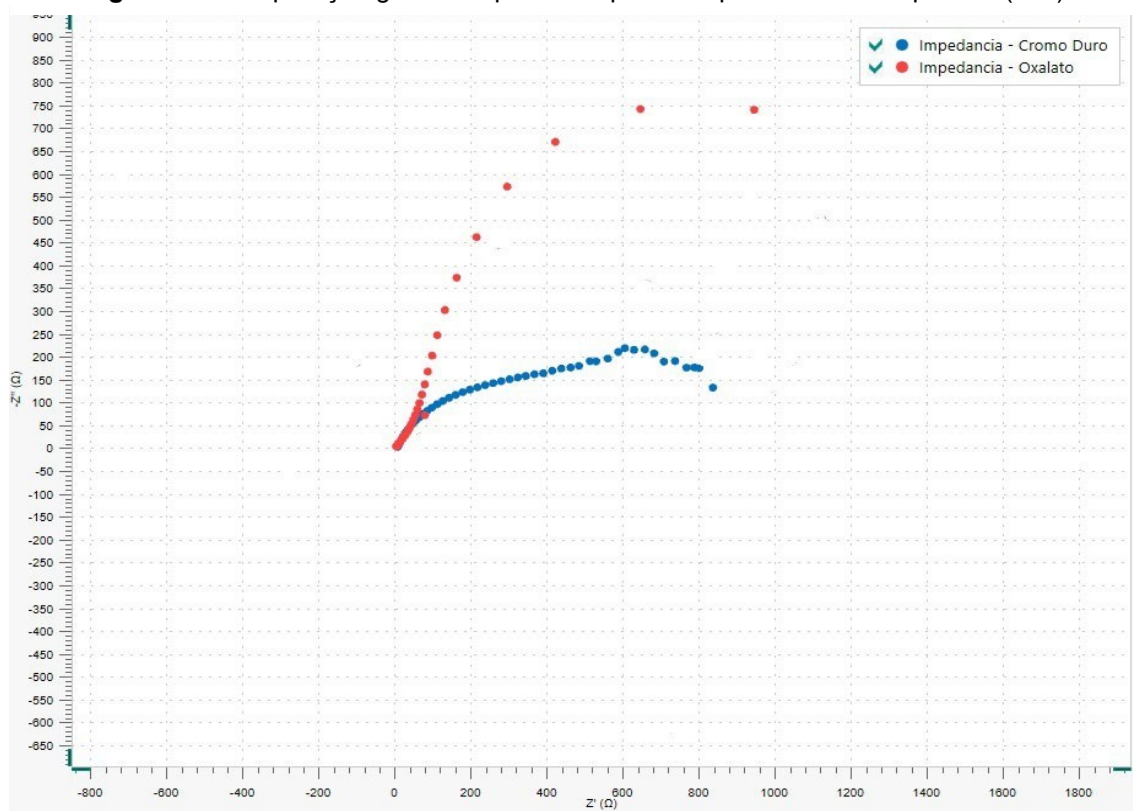
Com respeito aos parâmetros cinéticos densidade de corrente, corrente e taxa de corrosão constata-se que o revestimento de cromo obtido de eletrólitos aditivados exibe valores significativamente menores, implicando em uma cinética de corrosão mais lenta, portanto, mais resistente ao processo corrosivo que o cromo duro convencional.

Analisando os dados cinéticos de resistência à polarização da **Tabela 3**, verifica-se uma maior resistência à polarização do eletrodepósito obtido do eletrólito ativado, em concordância com os resultados analisados no parágrafo anterior.

Tabela 3 - Dados cinéticos Polarização Potenciodinâmica Linear (Autoria própria, 2024)

DADOS REVESTIMENTO	BANHO CONVENCIONAL (CROMO DURO)	BANHO COM ADITIVO (OXALATO DE SÓDIO)
Ecorr, Calc (V)	-0,73376	-0,64135
Ecorr, Obs (V)	-0,73375	-0,64137
icorr (A)	1,09E-06	1,31E-07
Resistência à polarização (Ω)	6668,8	24175
Taxa de corrosão (mm/year)	0,012629	0,0015169

Os diagramas de impedância, referentes aos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica, **Figura 2**, demonstram que o eletrodepósito de cromo duro obtido de eletrólitos aditivados com oxalato de sódio apresenta um valor de impedância total superior à do cromo duro convencional, em concordância com os resultados obtidos nas curvas de polarização. Este resultado corrobora com as observações verificadas anteriormente de que a adição do agente complexante ao eletrólito promove a obtenção de revestimentos de cromo duro mais resistentes à corrosão no meio estudado

Figura 2 – Comparação gráfica Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

Fonte: Gerada a partir do software NOVA versão 1.11

6 CONCLUSÕES

Os eletrólitos aditivados, assim como o eletrólito convencional foram eficientes para a obtenção de depósitos de cromo duro aderentes, estáveis, sem falhas ou descontinuidades.

A presença do agente complexante oxalato de sódio nos eletrólitos influencia positivamente nas características de resistência à corrosão dos depósitos obtidos no meio estudado.

Não foram observadas durante as realizações dos experimentos tendências de formação de filmes de passivação nos eletrodepósitos, assim como também não foram percebidos processos de dissolução dos mesmos.

Os resultados obtidos até o presente, foram considerados bastante promissores e apresentam uma boa possibilidade de contribuição para o aprimoramento desta tecnologia de síntese destes revestimentos.

7 REFERÊNCIAS

BORGES, Greicy Freitas. Avaliação do processo de aplicação de um revestimento de cromo duro com catalisador isento de fluoretos por eletrodeposição em peças de aço carbono.

ROBERGE, G.; Toutain, B., 1999. Escolha das plantas quatorageres. In: Culturas fourragères tropicais, Roberge, G.; Toutain, B. (editores), Coleção Repères, CIRAD, Quae Editions

GENTIL, V. Corrosão. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996

ROBERGE, Pierre R. Handbook of Corrosion Engineering. New York: McGraw-Hill, 2000.

WOLYNEC, Stephan. Técnicas eletroquímicas em corrosão Vol. 49. Edusp, 2003

Bard, AJ e Faulkner, LR (2000) Métodos eletroquímicos: fundamentos e aplicações. 2ª edição, Wiley, Nova York.

ATKINS, P.; JONES, L.; Princípios de Química, questionando a vida moderna e o meio ambiente; 5ª Ed, Bookman Companhia Ed., 2011