

**CEETPS - CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
Curso Técnico Profissionalizante em Química**

MARIANA VITÓRIA DO NASCIMENTO

**COMPARAÇÃO ENTRE A TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA DE
IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA (EIS) E *CASS TEST*, UTILIZADO
PELA INDÚSTRIA, NA AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À
CORROSÃO**

**LIMEIRA - SP
2023**

MARIANA VITÓRIA DO NASCIMENTO

**COMPARAÇÃO ENTRE A TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA DE
IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA (EIS) E CASS TEST, UTILIZADO
PELA INDÚSTRIA, NA AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À
CORROSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da ETEC Trajano Camargo, orientado pela Prof. Me. Jéssica Carolina Paschoal de Macedo e coorientado pelo Prof^o Dr. Yuri Alexandre Meyer como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Química.

LIMEIRA - SP

2023

RESUMO

A corrosão é um fenômeno eletroquímico em que diversos materiais em meio corrosivo sofrem deteriorações que podem afetar a resistência química e mecânica dos mesmos, causando uma drástica diminuição da vida útil de determinados equipamentos metálicos, além de poder gerar consequências fatais. Tendo em vista a corrosão empregada ao setor automobilístico, e seus efeitos extremos ligados à perdas econômicas e acidentes, o presente projeto busca comparar formas de avaliação da corrosão em ligas leves, na questão da técnica, pensando no método atualmente utilizado de forma ampla pela indústria, *CASS test (Copper Accelerated Salt Spray Test* - Teste de spray de sal acelerador de cobre) em que as amostras são expostas a um spray próprio continuamente, simulando em curto prazo de tempo o que ocorreria se a mesma amostra fosse exposta por um longo período a um ambiente corrosivo, e em uma técnica mais recente e menos conhecida a Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, que fornece uma visão detalhada e completa das características elétricas de um sistema, permitindo ainda o desenvolvimento do estudo dos mecanismos de corrosão através da proposição de circuitos equivalentes. Com base nessas comparações, espera-se que seja possível expor de forma clara e concisa os benefícios e as adversidades de cada método estudado, a fim de permitir uma comparação objetiva das técnicas.

Palavras-chave: Corrosão. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica. *CASS test*.

ABSTRACT

Corrosion is an electrochemical phenomenon in which several materials in a corrosive environment suffer deterioration that can affect their chemical and mechanical resistance, causing a drastic decrease in the useful life of certain metallic equipment, in addition to generating fatal consequences. In view of the corrosion used in the automotive sector, and its extreme effects linked to economic losses and accidents, the present project seeks to compare ways of evaluating corrosion in light alloys, in terms of technique, thinking about the method currently widely used by the industry, CASS test (Copper Accelerated Salt Spray Test) in which samples are exposed to a spray continuously, simulating in a short period of time what would occur if the same sample were exposed for a long period to a corrosive environment, and in a newer and less known technique Electrochemical Impedance Spectroscopy, which provides a detailed and complete view of the electrical characteristics of a system, It also allows the development of the study of corrosion mechanisms through the proposition of equivalent circuits. Based on these comparisons, it is expected that it will be possible to clearly and concisely expose the benefits and adversities of each method studied, in order to allow an objective comparison of the techniques.

Keywords: Corrosion. Electrochemical Impedance Spectroscopy. *CASS test*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Representação do aparelho de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica	12
FIGURA 2 - Fluxograma	14
FIGURA 3 - Cronograma	15
FIGURA 4 - Gráfico de Polarização	18
FIGURA 5 - Gráficos de Bode e Bode-Phase	19
FIGURA 6 - Gráfico de Nyquist	20
FIGURA 7 - Análise por MEV I	21
FIGURA 8 - Análise por MEV II	21
FIGURA 9 – Análise por EDS.....	22
FIGURA 10 – Circuito Equivalente	23

IMAGENS

IMAGEM 1 - Aparelho de <i>CASS test</i>	11
IMAGEM 2 - Amostra prateada após período de exposição ao <i>CASS test</i>	16
IMAGEM 3 - Amostra preta após período de exposição ao <i>CASS test</i>	17

TABELAS

TABELA 1 - Componentes do <i>CASS test</i>	11
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	6
2. OBJETIVOS.....	8
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
4. METODOLOGIA	14
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	16
6. CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS.....	25

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A segurança é sempre um fator importante quando falamos no consumo de qualquer produto, porém, quando citamos automóveis isso se torna ainda mais intenso, afinal, segundo o Instituto de pesquisa econômica e aplicada (IPEA, 2015), há uma estimativa de que acidentes automobilísticos causam cerca de 45 mil mortes, além de cerca de 50 bilhões de reais anualmente.

Pensando nessa problemática, uma das peças de grande importância no automóvel são as rodas, que são compostas por ligas metálicas. Ensaios de resistência mecânica e de resistência à corrosão devem ser realizados constantemente, a fim de garantir a segurança dos usuários. Destaca-se ainda que, em muitos casos, ao melhorar a resistência mecânica, a resistência à corrosão tem um efeito deletério - e vice-versa. Trata-se então de um grande desafio na engenharia concatenar essas duas propriedades, buscando a melhoria em ambas. Neste trabalho vamos focar apenas na resistência à corrosão. Diante desse contexto, Gentil (1982) conceitua que a corrosão pode ser considerada como a deterioração indesejável de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica causada pelo meio. Assim, a vida útil e a resistência de uma roda podem ser seriamente afetadas por conta da corrosão, acarretando acidentes automobilísticos que poderiam ser prevenidos. Além disso, a corrosão é um fator diretamente ligado a perdas econômicas, visto que, em pesquisa realizada pela empresa CC Thechnologies, 2015, constata-se que o Brasil tem 4% do PIB consumido especificamente devido a perdas ligadas à corrosão.

Frente às discussões apresentadas, para garantir a segurança aos consumidores pode-se realizar o teste de corrosão. Para isso, o método mais empregado atualmente é o CASS test (Copper Accelerated Salt Spray Test - Teste de spray de sal acelerador de cobre). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2020), determina as especificações para garantir a eficácia desse método, entre as especificações que se destacam está o tempo mínimo de 168h para sua realização. Todavia, outro método para testar a corrosão é a Espectroscopia de Impedância eletroquímica (EIS), comumente utilizado na academia. Ela permite uma análise mais precisa, já que os resultados podem ser usados para o desenvolvimento dos circuitos equivalentes - circuitos elétricos utilizados para entender os mecanismos de corrosão. Destaca-se ainda que o tempo de ensaio para cada amostra é no máximo igual a 2 horas,

permitindo sobretudo uma análise mais rápida - configurando uma diminuição de custos.

A partir dessas considerações, este trabalho busca a comparação entre os dois métodos de avaliação da resistência à corrosão acima citados (CASS e EIS). Com isso, buscaremos ainda identificar e comparar o tempo, no aspecto qualitativo e quantitativo, confiabilidade e precisão destes métodos em corpos de prova de liga de alumínio (Al-Si). Espera-se por fim que por meio dessa pesquisa possamos avaliar e determinar o método de corrosão que apresenta melhor custo-benefício, frente aos aspectos analisados. Trata-se ainda de um trabalho que promove, sobretudo, a sinergia entre a iniciativa privada e a universidade.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar e comparar as especificações dos métodos de avaliação da resistência a corrosão *CASS test* e Espectroscopia de impedância eletroquímica, bem como analisar os resultados obtidos em cada método de modo a estabelecer uma relação entre eles.

2.2 Objetivos Específicos

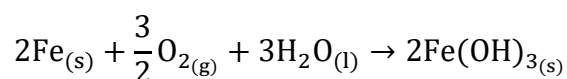
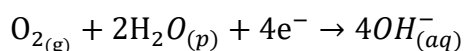
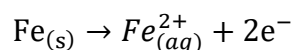
- Realizar e analisar os testes por Espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS);
- Realizar e analisar os testes por *CASS test*;
- Realizar e analisar Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e Espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDS);
- Fornecer subsídio para o entendimento qualitativo e quantitativo do ensaio;
- Comparar a relação de benefícios de ambos os métodos de teste de corrosão.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Corrosão

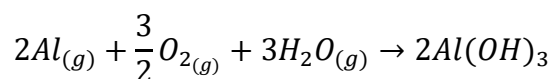
Num aspecto muito difundido e aceito universalmente pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso (GENTIL, 1982).

Feltre (2004) afirma que para a formação de uma ligação iônica, ou seja, quando um átomo de um metal cede um ou mais elétrons (partícula presente na estrutura atômica que apresenta carga negativa) para um ametal, semimetal ou hidrogênio, ocorre um processo de oxi-redução, visto que há trocas de elétrons e alterações no NOX dos elementos envolvidos. Com isso, diante de suas propriedades químicas, constata-se ainda eu o metal é redutor e sofre uma oxidação (perde elétrons), enquanto o ametal, semimetal ou hidrogênio é oxidante e sofre redução (ganha elétrons), assim, essa reação é conhecida como oxirredução. Conforme anunciado nos objetivos desse projeto, nos lançamos a compreender e comparar os métodos de análise a corrosão. Para isso é importante sinalizar que a corrosão identificada em um material ocorre devido a reações de oxi-redução, que por sua vez decorrem da natureza dos materiais, como das ligações que os formam. Dito isso, a fim de contextualizar esse fenômeno nos valem do exemplo de oxi-redução dos materiais ferrosos:



Na reação demonstrada acima, em meio aquoso, o ferro perde elétrons para o oxigênio, fazendo com que o ferro sofra oxidação enquanto o oxigênio sofre o processo de redução, tendo como produto intermediário de corrosão o hidróxido de ferro (III), popularmente conhecido como ferrugem.

E para além disso, como objeto central desse estudo a corrosão em ligas de alumínio ocorre de modo análogo, conforme sinaliza a equação:



Nesta reação, semelhantemente á anterior, o metal, alumínio, perde elétrons para o oxigênio, sofrendo oxidação e redução, respectivamente, obtendo como produto intermediário de corrosão o hidróxido de alumínio.

Assim, ao reconhecermos o tipo de reação envolvida no fenômeno de corrosão destes materiais, se torna de suma importância analisar os métodos empregados em sua quantificação.

3.2 CASS test

Segundo Hammel (2019), os ensaios de névoa corrosiva surgiram na década de 1930, com o objetivo de simular e um ambiente corrosivo e compreender como determinado material se comportará no ambiente corrosivo, porém, de forma mais acelerada. O primeiro *salt spray* criado, consiste em uma solução de cloreto de sódio (NaCl) a 5% de concentração, pH neutro, temperatura próxima de 35 °C e umidade saturada, porém esse método, apesar de ainda muito utilizado, apresenta um tempo de duração muito longo, com isso em mente foi desenvolvido o *CASS test*. O *CASS test* consiste em ensaios de névoa salina cuproacética, nesse ensaio há a pulverização constante de cloreto de sódio a 5%, porém com a adição de ácido acético e cloreto de cobre II, fazendo com que o pH chegue a aproximadamente 3 e ainda com o diferencial de ser realizado a cerca de 50 °C.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, define a partir da ABNT NBR17088 de 03/2023, que para o preparo da solução de névoa salina cuproacética é necessário preparar uma solução de 50 g/L \pm 5 g/L de cloreto de sódio (NaCl) com densidade relativa entre 1,029 e 1,036, com a solução a 25 °C, e total de impurezas inferior a 0,5%. Caso o pH não esteja na faixa de 6,5 a 7,2 (à 25 °C) é permitido realizar o ajuste adicionando hidróxido de sódio (NaOH) ou ácido clorídrico (HCl). Após isso, é adicionado cloreto de cobre di-hidratado (CuCl₂.2H₂O) até que a solução atinja uma concentração de 0,26 g/L \pm 0,02 g/L do mesmo. O pH deverá ser novamente ajustado, com ácido acético, para atingir entre 3,1 e 3,3 a 25 °C \pm 2 °C. A ABNT

NBR6752 de 04/2020 ainda estabelece que o ensaio em roda de alumínio deve durar 7 dias, a uma temperatura de 50 °C. Em síntese, as especificações referentes ao método:

Tabela 1: Componentes do CASS test

VARIÁVEL	ESPECIFICAÇÃO
Cloreto de sódio	50 g/L
Cloreto de cobre	0,26 g/L
Ácido acético	0,25 a 0,5mL/L
pH	3,1 a 3,3 em condições ambientes
Temperatura da câmara	50°C
Densidade	1,029 até 1,0360g/cm ³

Fonte: Os Autores (2023).

Imagem 1: Aparelho de CASS test



Fonte: EQUILAM.

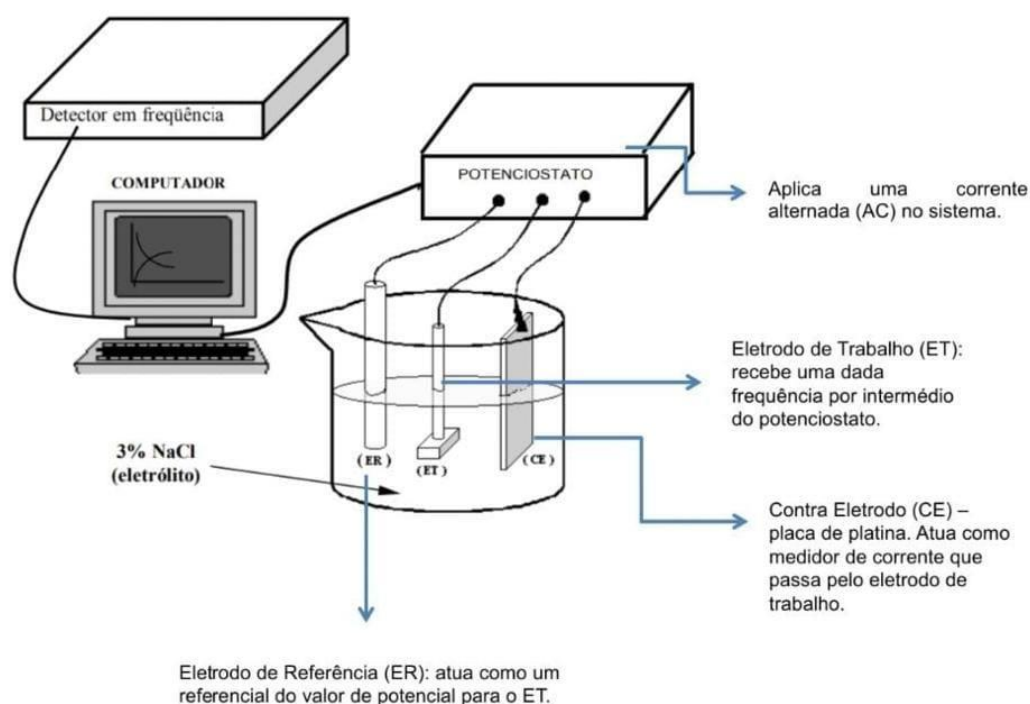
3.3 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica

Segundo Carvalho, Andrade e Bueno, 2006, a técnica de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS) fornece uma visão completa e detalhada das características elétricas da interface eletrodo/solução de modo que estas informações são de grande interesse na eletroquímica aplicada ou básica. A técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) é uma técnica de caracterização

elétrica, que permite estudar o comportamento geral de um sistema quando um número grande de processos intercorrelacionados ocorre em diferentes velocidades. Neste procedimento as reações na interface eletroquímica abrangem tópicos tais como a natureza da interface eletrodo-solução, termodinâmica e cinética de reações de eletrodo, bem como efeitos de transporte de massa.

A espectroscopia consiste na medida da diferença de potencial do eletrodo, para isso é aplicado correntes alternadas por meio do potenciostato, em que os valores gerados são comparados a um eletrodo de metal nobre, geralmente platina, e os valores são computados. O eletrodo de KCl realiza a função de ponte salina. O equipamento de EIS pode ser representado da seguinte forma:

Figura 1: Representação do aparelho de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica



Fonte: Os autores (2023).

O método gera gráficos que representa características do sistema. Alguns dos gráficos são o gráfico de Polarização, Nyquist, Bode e Bode-Phase. Essas curvas podem fornecer importantes parâmetros para a compreensão das especificações da amostra trabalhada. Com base nisso, é possível entender como ocorre a corrosão na

amostra, sua intensidade e de que artifícios podem ser utilizados para melhoras a resistividade à corrosão da amostra.

3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de raio-X por Dispersão em energia (EDS)

De acordo com ThermoFisher SCIENTIFIC, O EDS permite, de forma analítica, a análise elementar dos materiais, isto ocorre pois o corpo de prova recebe um feixe de raio-X e dissipa parte da energia absorvida pela ejeção de um elétron no núcleo, após isso, um elétron da camada de valência passa a ocupar seu lugar, liberando o diferencial energético.

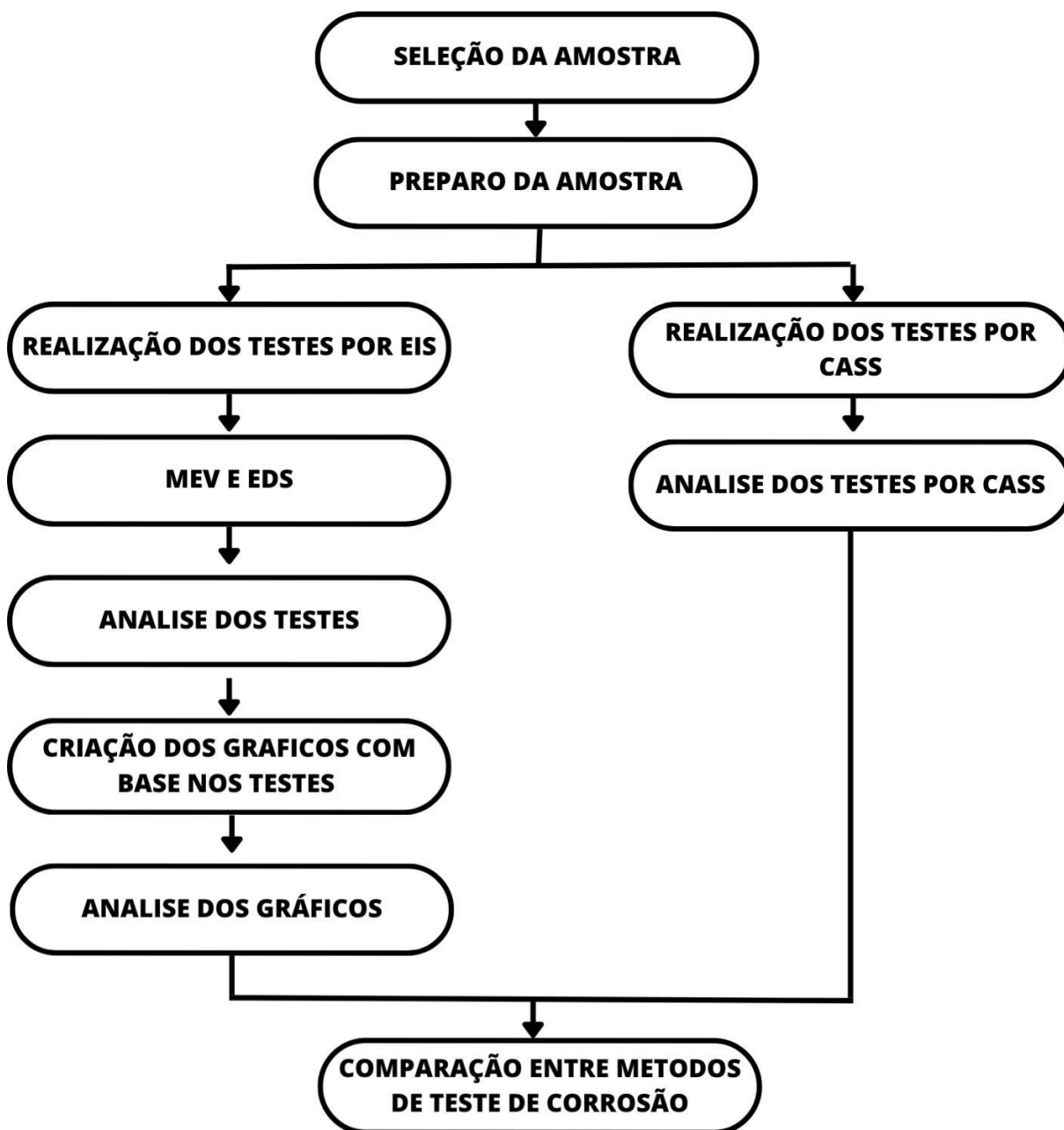
Esta técnica permite analisar a composição do corpo de prova, com a posição dos picos de energia identificando o elemento, e a intensidade do pico de energia demonstrando a concentração elementar. O EDS é sensível a baixas concentrações, apresenta alto grau de precisão relativa, fornece análises completas de amostras complexas rapidamente e não é destrutivo na maioria das situações.

Maliska s/n, explana que o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é um instrumento muito versátil e usado rotineiramente para a análise microestrutural de materiais sólidos, neste equipamento são geradas imagens tridimensionais que permitem observar a topografia de estrutura.

4. METODOLOGIA

As atividades experimentais foram realizadas na Faculdade de Tecnologia (FT-UNICAMP) e Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA-UNICAMP). O presente projeto foi exposto na 17ª feira de Projetos e Tecnologia da ETEC Trajano Camargo.

Figura 2: Fluxograma das etapas do projeto



Fonte: Os autores (2023).

4.1 Recursos necessários

Os recursos necessários para a realização desse projeto foram concedidos pela empresa parceira, pela UNICAMP e pelo Dr. Yuri Meyer.

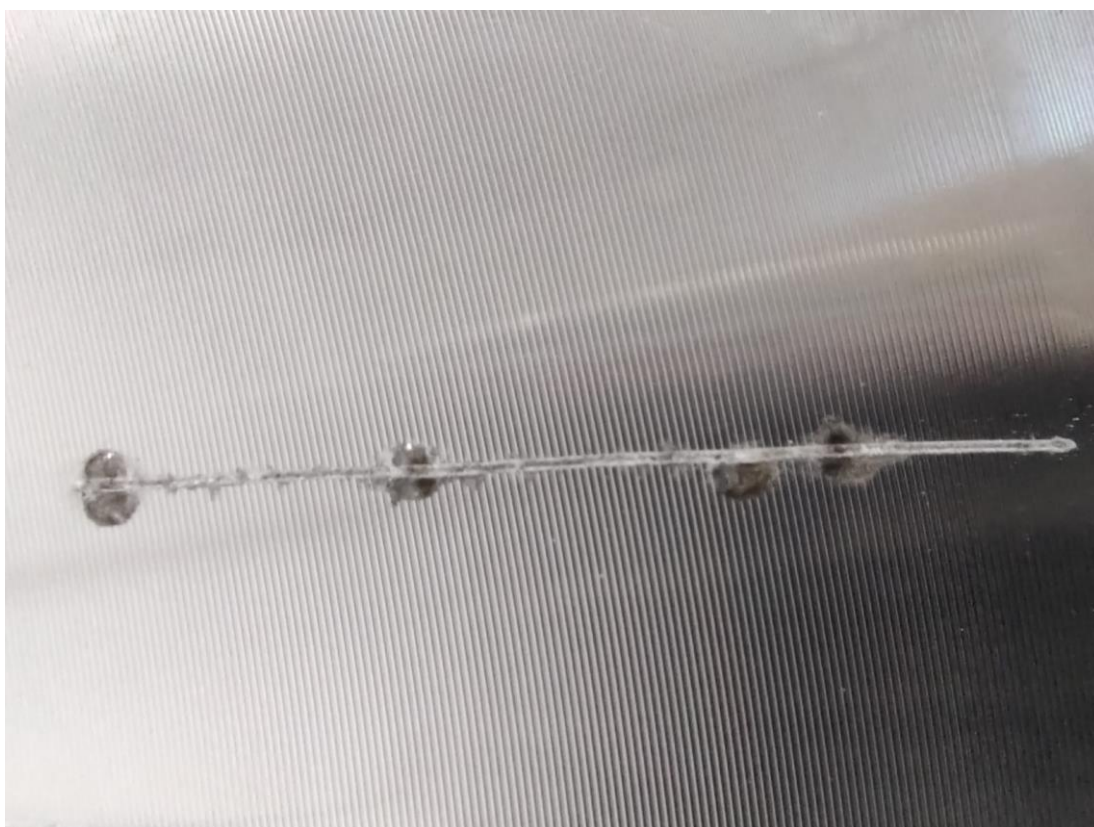
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1 CASS test

As análises realizadas pelo método de *CASS test*, embora muito empregadas, apresentam um caráter qualitativo. Neste método é analisado apenas se ocorre a formação de produto intermediário de corrosão, para realizar essa análise, o operador da máquina expõe amostras, durante 168h ou 240h, á um sal acelerador de cobre, e após isso, as amostras são observadas de forma superficial, a olho nu, para notar a formação, ou não, de produtos intermediários de corrosão.

Uma roda de liga leve apresenta partes com tinta preta e partes com um tratamento que a torna prateada, assim, o presente trabalho estudou a corrosão em ambas as superfícies. Após o período de 7 dias, obteve-se os seguintes resultados:

Imagem 2: Amostra prateada após período de exposição ao *CASS test*



Fonte: Os autores (2023).

Imagem 3: Amostra preta após período de exposição ao CASS test



Fonte: Os autores (2023).

A partir de uma observação a olho nu é facilmente perceptível que na Imagem 2, amostra prateada, há a formação de pontos mais intensos de produtos intermediários de corrosão, quando comparada a Imagem 3, amostra preta. Com isso, seria possível afirmar, com base no método industrial, que a amostra preta apresenta maior resistividade à corrosão do que a amostra prateada.

5.2 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica

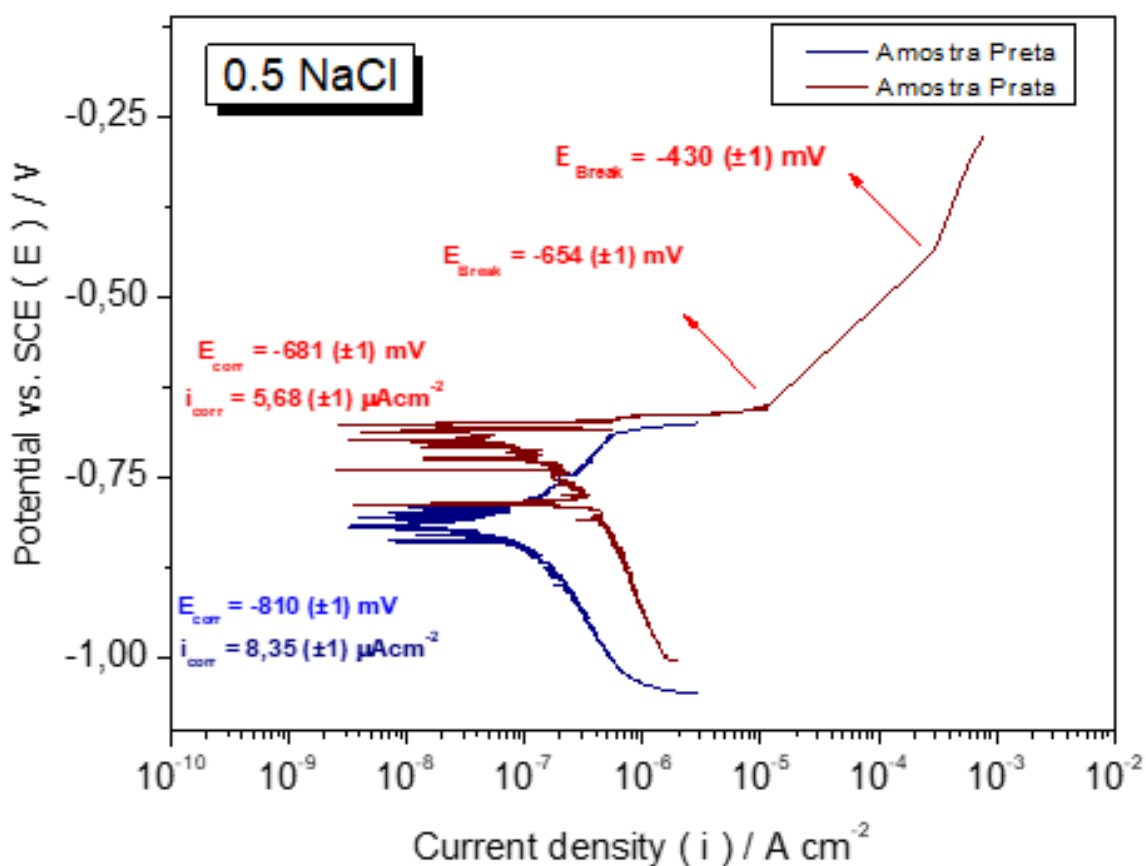
A Espectroscopia é um método que há a necessidade de um conhecimento aprofundado na técnica, o método consiste em enviar corrente alternada para o eletrodo de trabalho que será comparado com o contraeletrodo (que deve ser um metal nobre, nesse caso a platina), enquanto o eletrodo de referência (KCl) faz a função de ponto salina. Com isso o aparelho criará gráficos capazes de mostrar a curva de corrosão da amostra. Uma roda de liga leve apresenta partes com tinta preta

e partes com um tratamento que a torna prateada, assim, o presente trabalho aplicou a espectroscopia como forma de análise á corrosão em ambas as superfícies.

Os gráficos gerados pela Espectroscopia devem ser estudados em conjunto para que não haja a perda de nenhuma informação, com isso analisamos os gráficos de Polarização, Bode, Bode-Phase e Nyquist.

O gráfico de polarização trabalha com as curvas anódicas e catódicas, portanto quanto mais próximo ao 0 o ponto de encontro das curvas de anodização e catodização menor o potencial de sofrer corrosão da amostra.

Figura 4: Gráfico de Polarização

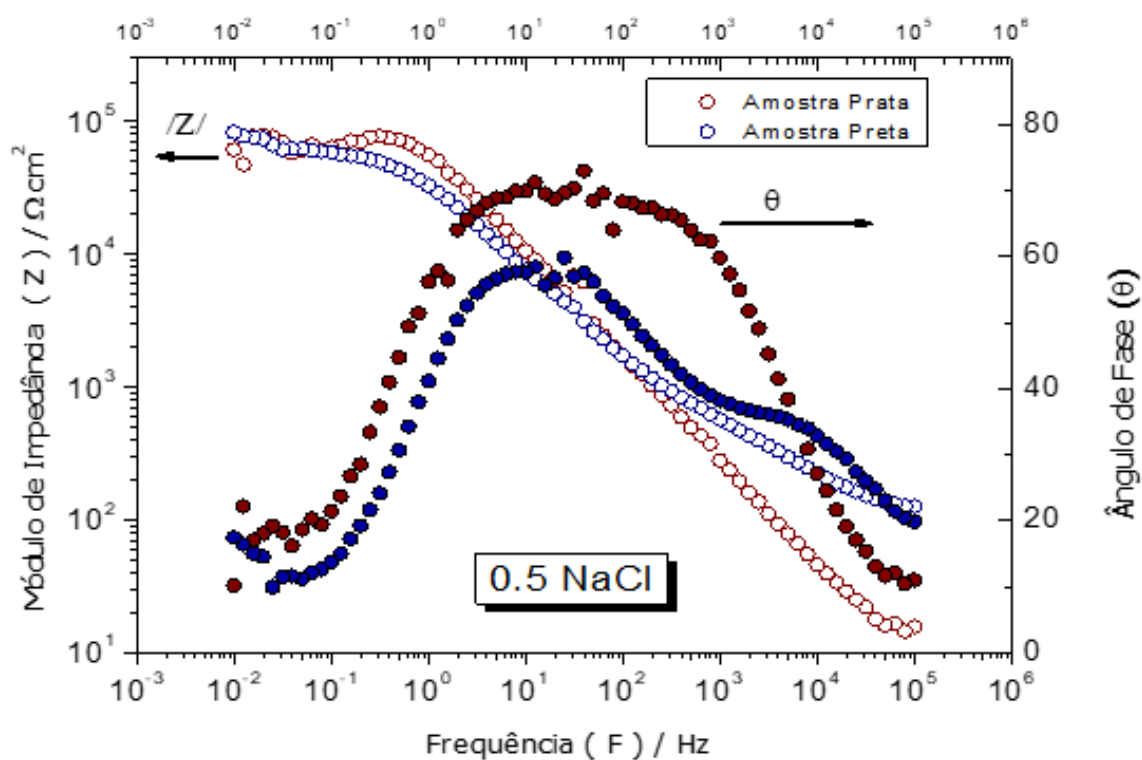


Fonte: Os autores (2023).

A partir do gráfico de polarização acima podemos afirmar que a amostra preta é mais nobre que a prateada e, portanto, está menos sujeita a corrosão.

Abaixo estão os gráficos de Bode e Bode-Phase, em que o gráfico de Bode representa a impedância pela frequência de corrente e o gráfico de Bode-Phase a fase da amostra pela frequência.

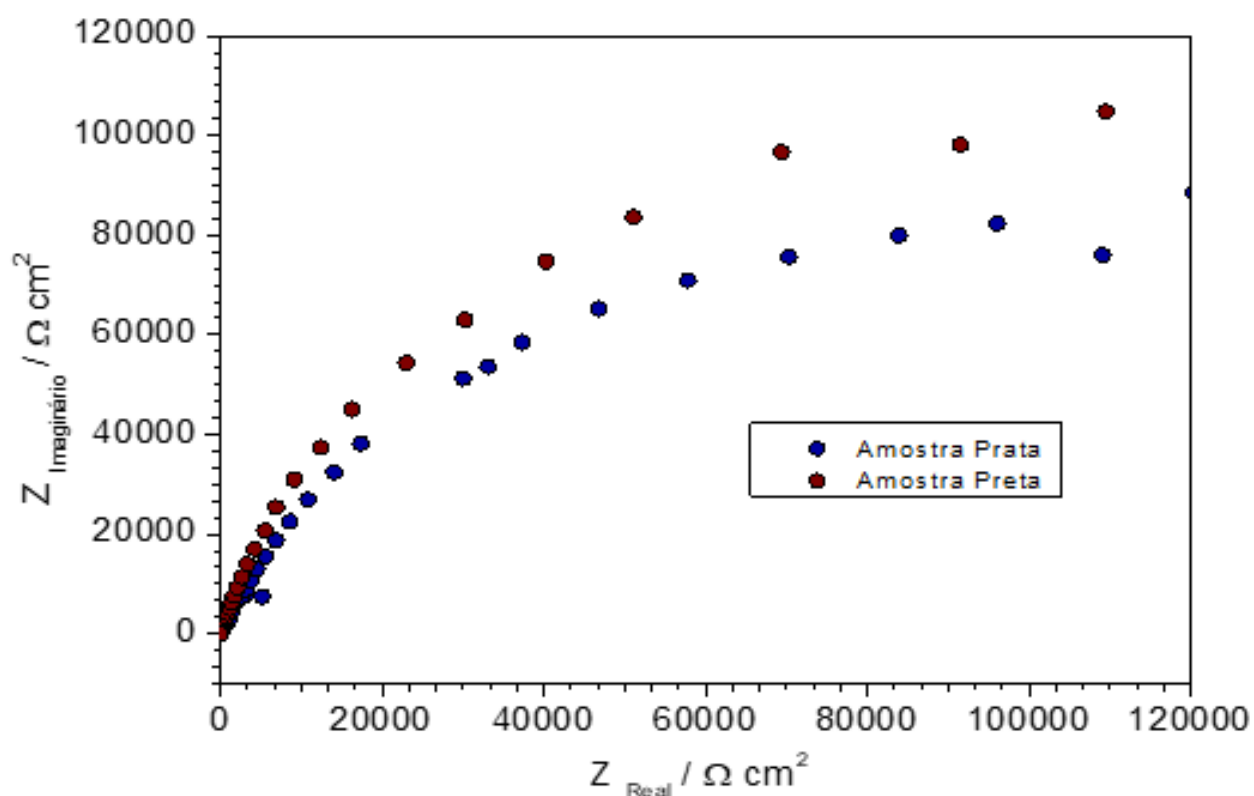
Figura 5: Gráficos de Bode e Bode-Phase



Fonte: Os autores (2023).

Com base nestes gráficos, podemos afirmar que a amostra preta é uma amostra mais resistiva a corrosão em comparação a prateada.

Já no gráfico de Nyquist trabalhamos com a impedância real pela imaginária, e conforme mais amplo o gráfico melhor a resistência da amostra.

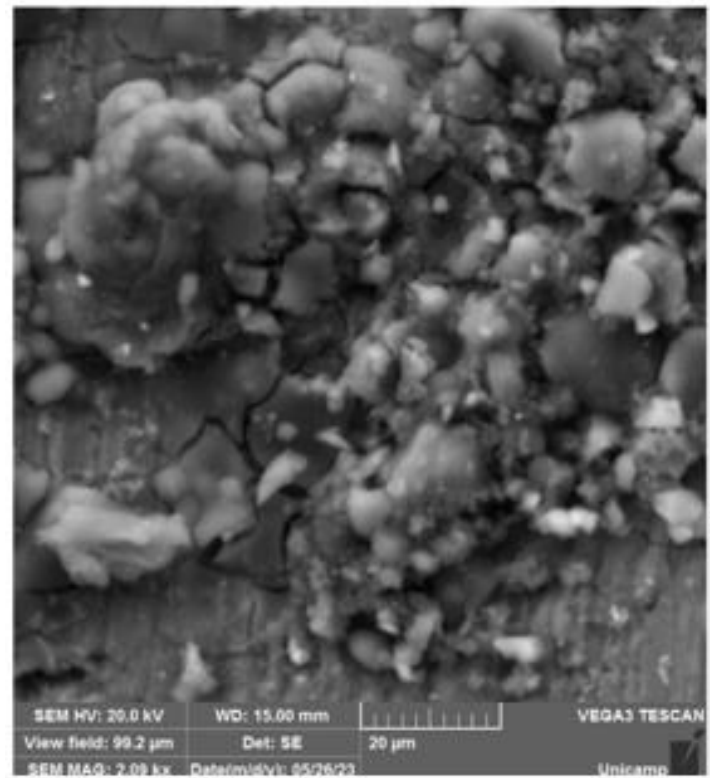
Figura 6: Gráfico de Nyquist

Fonte: Os autores (2023).

Unindo as informações concedidas pelos gráficos gerados pelo aparelho de espectroscopia de impedância eletroquímica, podemos afirmar que a amostra preta apresenta uma resistência maior a corrosão do que a amostra prateada, seguindo nos testes foi realizado a Microscopia de Varredura Eletrônica e Espectroscopia de raio-x por dispersão e energia.

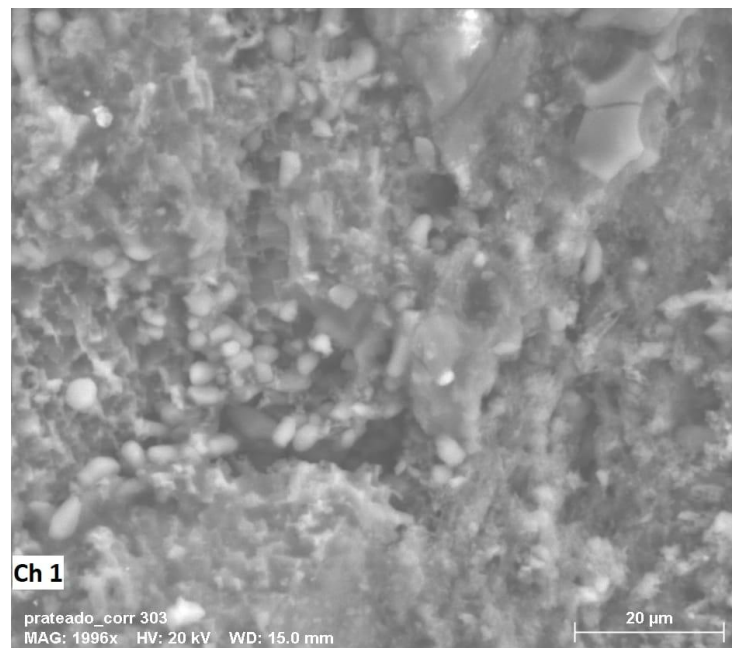
Na Microscopia de Varredura Eletrônica analisamos a topografia da amostra, como mostrado a seguir:

Figura 7: Análise por MEV I



Fonte: Os autores (2023).

Figura 8: Análise por MEV II

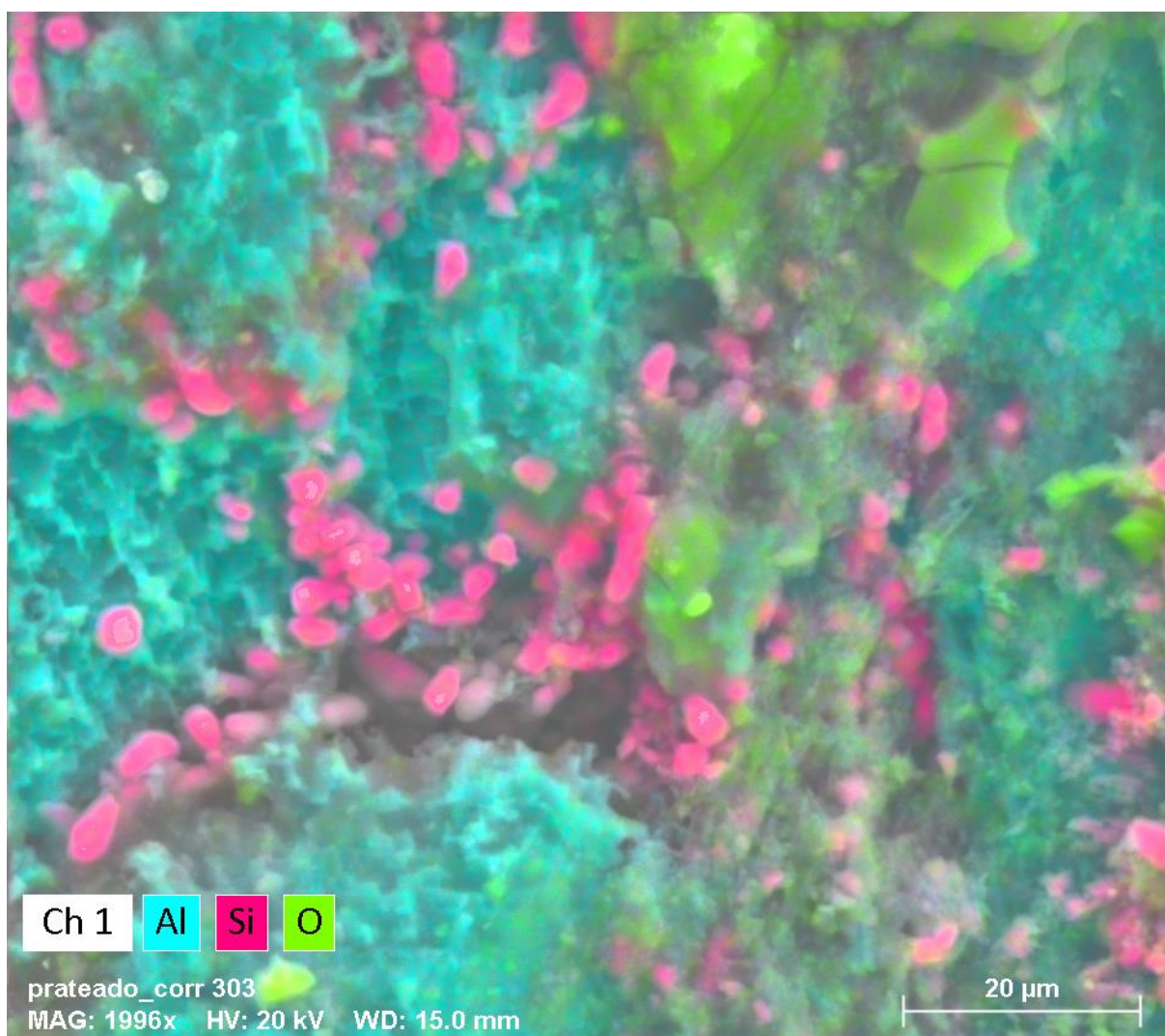


Fonte: Os autores (2023).

Pode-se observar nessas análises que há partes mais elevadas onde há um acúmulo de produto intermediário de corrosão, que é demonstrado como uma parte mais esbranquiçada.

Já nas análises por Espectroscopia de raio-x por dispersão e energia é analisado os elementos presentes na superfície da amostra como demonstrado a seguir:

Figura 9: Análise por EDS

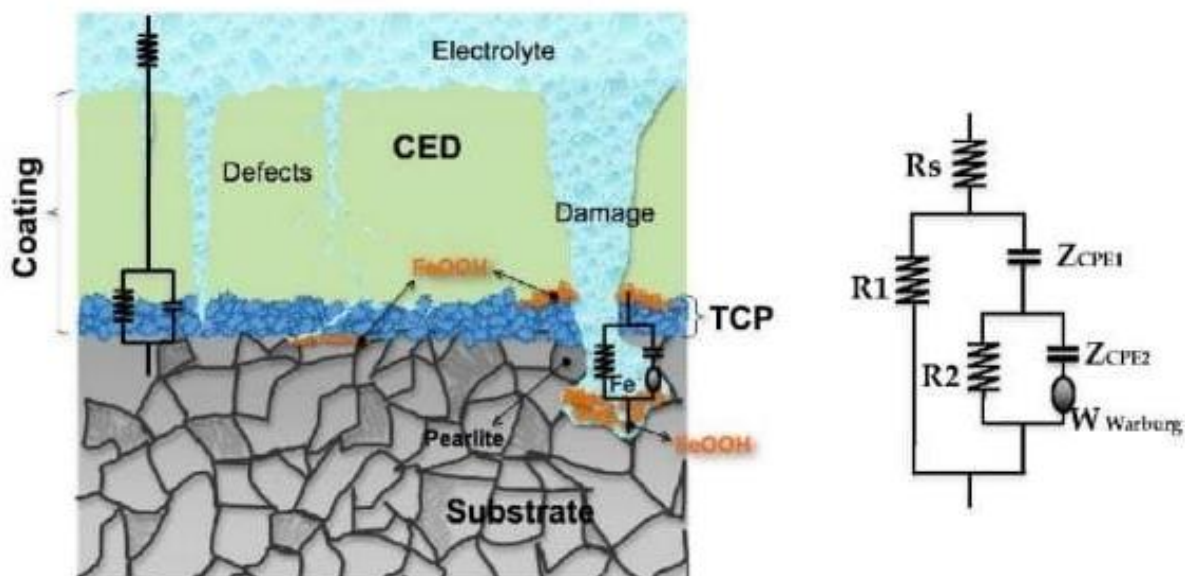


Fonte: Os autores (2023).

Se compararmos essa análise com a análise II do MEV, podemos notar que há partes que estão com a topografia mais elevadas e coincidem com partes da amostra que apresentam oxigênio na análise elementar. Portanto, consideramos como produto intermediário de corrosão.

A partir da união das análises por Espectroscopia de impedância eletroquímica, Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de impedância eletroquímica é possível a criação de um circuito equivalente como o de Duarte *et al* (2022):

Figura 10: Circuito Equivalente



Fonte: Duarte *et al* (2022).

Com a criação de circuitos elétricos equivalentes encontra-se uma poderosa ferramenta de análise de materiais, com base nos circuitos elétricos equivalentes é possível compreender como, porque e de que forma ocorre a corrosão naquele material, e com essas informações, como evitá-la, ou seja, tornar o material mais resistivo à corrosão.

6. CONCLUSÃO

Pode-se dizer que o objetivo de realizar a comparação dos métodos de avaliação a resistência a corrosão foi atingido. Ambos os métodos chegam a mesma conclusão, porém, com benefícios distintos.

Por um lado, temos o *CASS test*, que por ser um método mais simples é mais facilmente aplicado, não sendo necessário um conhecimento tão específico por parte do operador e analista. Além disso, já é um método utilizado e apoiado pela iniciativa privada, portanto, sem os desafios de uma nova implementação.

Em contrapartida, a espectroscopia de impedância eletroquímica apresenta os entraves ligados a implementação de um novo método na esfera industrial e a necessidade de um profissional com formação aprofundada no assunto, pela complexidade do mesmo. Porém, apresenta vantagens em relação a análise da resistividade à corrosão da amostra, por trazer uma profunda compreensão do material, ponto que se evidencia muito importante, afinal, o grande desafio das engenharias é concatenar a resistência mecânica com a resistência à corrosão, pois o último influencia diretamente no primeiro e ao melhorar um interferimos de forma negativa no outro.

A grande questão desse desafio é que a resistência mecânica apresenta métodos eficientes, enquanto a resistência a corrosão de um material é um tema muito recorrente por conta da grande superficialidade da maioria dos métodos, assim, apesar da complexidade da espectroscopia de impedância eletroquímica, atualmente esta técnica é o método com maior eficiência para analisar a resistência a corrosão.

Em síntese, apesar da complexidade da espectroscopia de impedância eletroquímica, a substituição do *CASS test* pelo mesmo se faz necessária para empresas que buscam inovar e garantir, cada vez mais, a segurança de seus clientes.

Sugestão de trabalhos futuros

Sugerem-se as seguintes abordagens de pesquisas para a realização de trabalhos futuros:

1. Estudar a resistência mecânica concatenando a resistência a corrosão.
2. Estudar a resistência a corrosão em diferentes rotas de manufatura.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6752**: Roda de liga de alumínio para veículos de passageiros, veículos comerciais leves e veículos utilitários esportivos: Requisitos e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

CALLISTER, William. **Ciência e Engenharia de Materiais**: Uma Introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2007.

CARVALHO, Liliane; ANDRADE, Adalgisa; BUENO; Paulo. Espectroscopia de impedância eletroquímica aplicada ao estudo das reações heterogêneas em ânodos dimensionalmente estáveis. **Química Nova**. São Paulo. Vol. 29, No. 4, 796-804, 2006.

FELTRE, Ricardo. **Química**: Físico-Química. 6. ed. v. 2. São Paulo: Moderna, 2004.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1982.

HAMMEL, Natasha P. Ensaio cíclico de corrosão utilizados pela indústria automotiva atualmente. **Tratamento de Superfície**, [s. l.], ed. 216, p. 31-37, 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/publicacao-item?id=75f0c18b-c1fe-4236-8081-73362880a61d&highlight=WzQ1LCJtaWwiLCJtb3J0b3MiLCI0NSBtaWwiLCJtaWwgbW9ydG9zIl0=>. Acesso em: 29 de abril de 2023

MALISKA, Ana Maria. **Microscopia Eletrônica de Varredura**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, [s.d.].

THERMOFISHER SCIENTIFIC. **Energy Dispersive Spectroscopy**: Energy dispersive X-ray spectroscopy elemental mapping for reliable chemical characterization. Disponível em: <https://www.thermofisher.com/br/en/home/materials-science/eds-technology.html#resources>. Acesso em: 24 abr. 2023.