

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
ENSINO TÉCNICO INTEGRADO AO MÉDIO - ADMINISTRAÇÃO**

**CAMILY RODRIGUES MARQUES
GIOVANNA VITÓRIA DIAS BARBOSA
MARIANA VITÓRIA DO NASCIMENTO**

**VIABILIDADE ECONÔMICA NO USO DA TÉCNICA DE
ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA (EIS) PARA
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO EM COMPARAÇÃO COM
O *CASS TEST* UTILIZADO PELA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA.**

LIMEIRA - SP

2023

**CAMILY RODRIGUES MARQUES
GIOVANNA VITÓRIA DIAS BARBOSA
MARIANA VITÓRIA DO NASCIMENTO**

**VIABILIDADE ECONÔMICA NO USO DA TÉCNICA DE
ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA (EIS) PARA
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO EM COMPARAÇÃO COM
O *CASS TEST* UTILIZADO PELA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Administração, da Escola Técnica Trajano Camargo de Limeira, sob a orientação do Prof^o Ricardo Scavariello Franciscato e coorientação do Prof^o Dr Yuri Alexandre Meyer, como requisito parcial para obtenção do título de técnico em administração.

**LIMEIRA - SP
2023**

RESUMO

A corrosão pode ser definida como a deterioração indesejável de um material, geralmente metálico, que após um certo tempo exposto à ambiente corrosivo pode apresentar degradação intensa, degradação à qual pode comprometer a resistência química e mecânica do material, causando acidentes e danos irreversíveis. Pertinente à isso, um dos setores que necessita avaliar o potencial de corrosão presente na amostra é o setor automobilístico, pois, caso não seja avaliado de forma correta há probabilidade de gerar grandes perdas econômicas e até mesmo vidas. A partir dessas considerações, foi encontrado uma divergência entre qual método utilizar na avaliação à resistência à corrosão, o método atualmente empregado é o *CASS test* (cooper accelerated salt spray test- teste de spray de sal acelerador de cobre) que consiste em adicionar amostras riscadas à uma câmara com temperatura e pressão específica, expondo as amostras durante 168 horas à um sal acelerador de cobre, o qual é composto por cloreto de cobre di-idratado, cloreto de sódio, ácido acético e diluído em água, fazendo com que o que ocorreria em anos, ocorrerá em uma semana. Em contrapartida, um método menos difundido é a espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS), em que um potenciostato envia continuamente diferentes valores de corrente alternada para a amostra, e um computador computa os dados gerados pelo potenciostato com base no potencial de corrosão de um metal nobre, esta técnica permite a visão detalhada das características elétricas do sistema. Dessa maneira, o presente projeto tem como objetivo realizar a comparação dos métodos com foco na viabilidade econômica.

Palavras-chave: Espectroscopia de impedância eletroquímica; *CASS test*;

Viabilidade econômica.

ABSTRACT

Corrosion can be defined as an undesirable stress on a material, generally metallic, which after a certain time exposed to a corrosive environment can present intense manipulation, manipulation that can compromise the chemical and mechanical resistance of the material, causing accidents and irreversible damage. Relevant to this, one of the sectors that needs to evaluate the potential for corrosion present in the sample is the automobile sector, as, if it is not evaluated correctly, it is likely to generate large economic losses and even lives. Based on these considerations, a divergence was found between which method to use in evaluating corrosion resistance. The method currently used is the *CASS test* (cooper accelerated salt spray test), which consists of adding risky samples to a chamber with a specific temperature and pressure, exposing the samples for 168 hours to a copper accelerator salt, which is composed of copper chloride dihydrate, sodium chloride, acetic acid and diluted in water, causing what would occur in years, will occur in a week. In contrast, a less widespread method is electrochemical impedance spectroscopy (EIS), in which a potentiostat continuously sends different values of alternating current to a sample, and a computer computes the data generated by the potentiostat based on the corrosion potential of a metal noble, this technique allows a detailed view of the electrical characteristics of the system. Therefore, the present project aims to compare methods with a focus on economic forecasts.

Keywords: Electrochemical impedance spectroscopy; *CASS test*; Economic viability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores das máquinas de <i>CASS test</i>	14
Tabela 2 - Custo dos reagentes no <i>CASS test</i>	15
Tabela 3 - Custo de energia do <i>CASS test</i>	16
Tabela 4 - Valores do aparelho de Espectroscopia de impedância eletroquímica	17
Tabela 5 -Valores gasto com reagentes na Espectroscopia de impedância eletroquímica.....	18
Tabela 6 - Custo de energia da Espectroscopia de impedância eletroquímica.....	19
Tabela 7 - Comparação de custos em 150 testes.....	20
Tabela 8 - Comparação de custos em 1 teste.	20

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	7
2. OBJETIVO	8
2.1. Objetivo Geral.....	8
2.2. Objetivo Específico	8
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
3.1. História da Industria Automobilística	9
3.2. Liga Leve.....	9
3.3. Corrosão	10
3.4. CASS test.....	10
3.5. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS)	11
4. METODOLOGIA	12
4.1. Cronogramas de Atividades	12
4.2. Recursos necessários	13
5. DESENVOLVIMENTO.....	14
5.1.1.1. Equipamento	14
5.1.1.2. Reagentes	15
5.1.1.3. Água	15
5.1.1.4. Energia	15
5.1.1.5. Salário do colaborador responsável	16
5.1.2. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica	17
5.1.2.1. Equipamento.....	17
5.1.2.2. Reagentes	17
5.1.2.3. Água.....	18
5.1.2.4. Energia.....	18
5.1.2.5. Salário do colaborador responsável	19
5.2.3. Comparação de custos.....	19

6. CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS.....	22
ANEXOS	24

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Segundo estudo realizado pela empresa norte americana CC Technologies, em 2015 cerca de 4% do PIB brasileiro é consumido por conta da corrosão. (apud SULCROMO, 2022)

De acordo com Gentil (1982), as perdas econômicas advindas da corrosão podem estar ligadas aos custos de substituição de peças ou equipamentos que sofreram corrosão, manutenção dos processos de proteção, paralisações para manutenção do processo produtivo, perda e contaminação de produtos, superdimensionamento nos projetos e perda da eficiência.

Observando o cenário empresarial em relação a métodos de testes de corrosão em ligas de alumínio, foi observado que atualmente o método mais recorrente é o *CASS TEST* (Copper Accelerated Salt Spray Test - Teste de spray de sal acelerador de cobre) em contrapartida, realizando pesquisas notou-se que atualmente há um método chamado Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS) que "é uma técnica poderosa para a caracterização de uma grande variedade de sistemas eletroquímicos e para a determinação da contribuição de processos individuais de eletrodo ou eletrólito nestes sistemas."(RIBEIRO et al, 2015)

Pensando na problemática causada pela corrosão para a economia brasileira, este projeto tem como objetivo avaliar a relação de custo-benefício entre os diferentes métodos de corrosão apresentados, de forma que seja colocado em evidência eficácia de cada método e os custos atribuídos sobre cada um deles.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Estudar de forma analítica os processos de *CASS TEST* E Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, pensando em correlacionar ambos com questões econômicas, de eficácia e eficiência.

2.2. Objetivo Específico

- Estudar a técnica *CASS TEST*;
- Buscar custos do equipamento de *CASS TEST*;
- Buscar custos ligados ao *CASS TEST*;
- Entender o impacto ambiental causado pela utilização do *CASS TEST*;
- Estudar técnica espectroscopia de impedância eletroquímica;
- Buscar custos do equipamento espectroscopia de impedância eletroquímica;
- Buscar custos ligados à espectroscopia de impedância eletroquímica;
- Entender os impactos ambientais causados pela utilização da espectroscopia de impedância eletroquímica;
- Comparar custos dos equipamentos de ambas as técnicas;
- Comparar custos ligados à ambas as técnicas;
- Comparar impacto ambiental gerado por ambas as técnicas;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. História da Indústria Automobilística

No século XVIII, o primeiro carro para transportar pessoas foi inventado.

Henry Ford, um engenheiro dos Estados Unidos, construiu seu primeiro carro em 1896. Era um carro pequeno com motor a gasolina. Ele trabalhava para Thomas Edison na época, e Edison gostou da invenção e a apoiou. Em 1899, Ford tentou criar duas empresas de carros, mas ambas tiveram problemas. Em 1901, ele construiu um carro mais potente e atraiu investidores para criar a Henry Ford Company, que mais tarde mudou de nome para Cadillac Automobile Company.

A terceira empresa de Ford, chamada Ford & Malcomson, teve sucesso ao criar um carro rápido que quebrou recordes de velocidade. No entanto, Ford não estava interessado em corridas de carros; ele queria que as pessoas comuns usassem carros no dia a dia. Ele queria tornar os carros acessíveis para todos, não apenas para os ricos. (WCAR, s/n, 2022)

Em novembro de 1891, o primeiro carro motorizado chegou ao Brasil, especificamente no porto de Santos. Nas primeiras décadas do século 20, São Paulo recebeu fábricas da Ford e da General Motors. Entre 1920 e 1939, apenas no Estado, o número de carros aumentou de 5.596 para 43.657, e o de caminhões subiu de 222 para 25.858. Em 1956, a primeira fábrica da Mercedes-Benz foi inaugurada em São Bernardo do Campo. A revolução automotiva dos anos 50 trouxe tecnologia, empregos e desenvolvimento para São Paulo. Hoje, o Estado produz mais de um milhão de veículos por ano. (Governo do Estado de São Paulo, s/a)

3.2. Liga Leve

Segundo Veluplast, 2020, rodas de liga leve são aquelas fabricadas com uma mistura de componentes menos pesados que o aço, como alumínio, silício e ferro. As rodas de liga de alumínio apesar de serem mais leves que as de aço apresentam resistências equivalente, as tornando concorrentes diretas no mercado.

De acordo com Quatro Rodas, 2021, as rodas de liga leve são um dos acessórios mais procurados para automóveis, a principal característica onde a roda de liga leve tem vantagem sobre a de aço é na questão estética. Pôr as rodas de liga leve serem fundidas e despejada em moldes, esses tipos de roda permitem explorar a criatividade, que fica limitada quando falamos das convencionais rodas de aço, isto

ocorre por as rodas de aço serem criadas a partir de chapas prensadas, o que dificulta a criação de um design diferenciado.

Silveira Lima, 2022, apresenta os principais pontos positivos e negativos sobre as rodas de liga leve, entre as vantagens, estão o fator estético, maior resistência a reparos e maior resistência mecânica. Em contrapartida, as rodas de alumínio quando comparadas com as de aço, são mais propícias a arranhões e amassados, isto ocorre em função de a liga leve ser um material mais maleável, e outro fator que pode ser levado como desvantagem é o alto custo em relação às rodas de aço.

3.3. 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, p. 1)

Feltre (2004) em sua obra afirma que na formação de uma ligação iônica, 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, diz então que o metal é redutor e sofre uma oxidação (perde elétrons), enquanto o ametal, semimetal ou hidrogênio é oxidante e sofre redução (ganha elétrons), essa reação é conhecida como oxi-redução. A reação de oxi-redução gera o que chamamos de corrosão.

3.4. CASS TEST

De acordo com a Metallurgical engineering services, INC., s/n, o *CASS TEST* (Copper Accelerated Acetic Acid Salt Spray- Spray de sal de ácido acético acelerado de cobre) é um teste agressivo de corrosão acelerada utilizada para avaliar a resistência à corrosão em vários materiais, entre eles as ligas de alumínio.

Segundo a Touchstone research laboratory, LTD, s/n, o *CASS TEST* segue as regulamentações ASTM B117, ASTM B368, ASTM G85 e outras especificações, este teste de corrosão utiliza uma solução salina de cloreto de sódio (NaCl) 5% m/m, a

partir disso é adicionado cloreto de cobre em concentração de 0,25g/l. Após este processo ser realizado, o pH da solução é ajustado entre 3,1 a 3,3 pela adição de ácido acético. O teste CASS não tem um tempo específico, podendo variar desde 24 horas a milhares de horas.

3.5. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS)

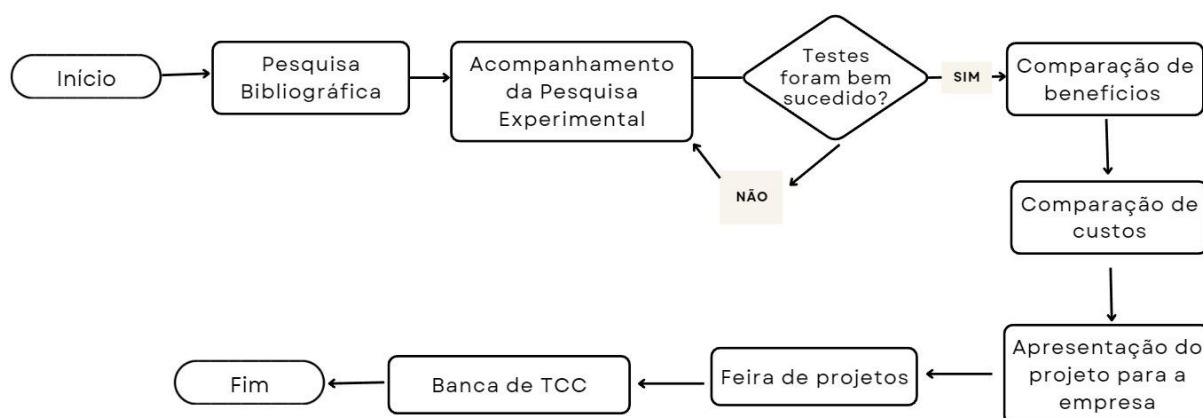
A técnica de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS) fornece uma visão completa e detalhada das características elétricas da interface eletrodo/solução, e estas informações são de importantes para a eletroquímica. A técnica de espectroscopia de impedância é uma técnica de caracterização elétrica, que permite estudar o comportamento geral de um sistema quando um número grande de processos ocorre em diferentes velocidades. (Carvalho, Andrade e Bueno, 2006)

A técnica tem como base a aplicação de um potencial ou corrente alternada, sendo uma delas a variável controlada, medindo-se a intensidade e diferença de fase da outra variável, as medidas são realizadas em uma faixa de frequências, de forma que diferentes processos físicos e químicos possam ser separados por suas constantes de tempo. Ao ser aplicada em sistemas eletroquímicos, a resposta são circuitos elétricos equivalentes que forneçam respostas iguais às fornecidas pelos processos físico-químicos do sistema em análise. (Silva, Scarminio, Urbano, s/n)

4. METODOLOGIA

As atividades experimentais serão realizadas na ETEC Trajano Camargo de Limeira sob a orientação do professor Dr. Yuri Alexandre Meyer. Será realizado comparações de custos entre o método de Espectroscopia de impedância eletroquímica e o método *CASS TEST*, conforme o fluxograma (figura 1).

Figura 1 – Fluxograma de atividades experimentais.



Fonte: Os autores (2023).

Pesquisa bibliográfica: está inserida principalmente no meio acadêmico e tem a finalidade de aprimoramento e atualização do conhecimento, através de uma investigação científica de obras já publicadas. É o ponto de partida da pesquisa científica, em que o pesquisador busca obras já publicadas relevantes para conhecer e analisar o tema problema da pesquisa a ser realizada. (DE SOUSA; DE OLIVEIRA; ALVES, 2021)

4.1. Cronogramas de Atividades

Figura 2 – Cronograma

ETAPAS	CRONOGRAMA											
	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	
LEVANTAMENTO DE PROBLEMAS	X											
PESQUISA SOBRE O TEMA	X	X										
ELABORAÇÃO PLANO DE PESQUISA		X	X									
DIÁRIO DE BORDO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PESQUISA DE CAMPO		X	X	X	X	X	X					
COMPARAÇÃO DE CUSTOS						X	X	X				
ELABORAÇÃO ARTIGO						X	X	X				
FINALIZAÇÃO								X	X	X		
APRESENTAÇÃO NA FEIRA									X			
APRESENTAÇÃO PARA BANCA												X

Fonte: Os autores (2023).

4.2. Recursos necessários

Como recursos necessários foram utilizadas amostras de rodas de liga leve, disponibilizadas por uma empresa parceira, as instalações dos laboratórios da Unicamp, que foram fornecidas pelo Doutor Yuri Meyer e a máquina de *CASS Test*, fornecida por uma empresa parceira.

Por conta das parcerias os autores não tiveram custos com o projeto.

5. DESENVOLVIMENTO

5.1. Custos

5.1.1. CASS Test

5.1.1.1. Equipamento

O CASS Test é um método usado atualmente nas indústrias, na qual analisa a corrosão.

Nos equipamentos há dois tipos sendo eles SS e SSe. Onde a série SS está disponível nos volumes internos 600, 1300, 3000, 5000 litros e a série SSe está disponível nos volumes internos 600, 1000, 1300, 3000, 5000.

Para ser analisados seus custos das máquinas, abaixo uma tabela para ser melhor representado.

Tabela 1 - Valores das máquinas de CASS test.

Séries SS	Litros	Valor
	600	R\$178.000,00
	1300	R\$191.000,00
	3000	R\$355.500,00
	5000	R\$450.000,00

Séries SSe	Litros	Valor
	600	R\$100.000,00
	1000	R\$106.500,00
	1300	R\$128.500,00
	3000	R\$260.000,00
	5000	R\$382.000,00

Fonte: Adaptada de Equilam (2023)

5.1.1.2. Reagentes

No *CASS test* utilizamos de reagentes aproximadamente 3 quilos de NaOH (cloreto de sódio), 15,6 gramas de cloreto de cobre e 60ml de ácido acético. A partir desses dados, foi calculada a tabela a seguir:

Tabela 2 – Custo dos reagentes no *CASS test*.

Quantidade de teste	Valor
1	R\$ 16,60
4	R\$ 66,39
150	R\$ 2489,50

Fonte: Os autores (2023)

5.1.1.3. Água

Com base em informações disponibilizadas pela empresa parceira, foi constatado que por teste é utilizado cerca de 60 litros de água. Com base nisso, pesquisamos os custos da água na distribuidora de água de limeira (ANEXO A).

A categoria escolhida como base foi a industrial na faixa de 0 a 10 m³ para realizar os cálculos. Considerando que o valor cobrado é referente tanto a tarifa de esgoto, quanto ao valor da água realizamos os cálculos com base em 60 litros e multiplicamos por dois, para que tanto o valor da água, quanto ao da tarifa de esgoto estivessem inclusos. Como resultado aproximado obtivemos R\$ 8,44 por ensaio. Após chegar a esse resultado, a conclusão foi que, deve ser dividido por 6 (seis), pois de acordo com a empresa parceira, dentro da máquina de *CASS test* tem a capacidade de 6 (seis) corpos de prova, ou seja, 6 (seis) testes em um mesmo ensaio. Sendo assim, $R\$ 8,44 / 6 = R\$ 1,41$ gastos de água em um teste.

5.1.1.4. Energia

Os gastos de energia é um fator importante quando falamos de custos, pois no *CASS Test* os equipamentos ficam muitas horas ligados e consomem grande energia. A partir dessas considerações foram realizados os cálculos estimativos de valor gasto de energia para aparelhos de oito volumes diferentes.

Na série SS a especificações técnicas da SS600e a corrente é de 25A, portanto a potência pode ser expressa em: $25A$ (corrente) \times $230V$ (tensão) = $5,75$ KW (potência). As tarifas de energia elétrica em São Paulo são reajustadas pela ANEEL anualmente. Em 2022, a Enel Distribuição São Paulo aplicou uma tarifa média de R\$0,656 por kWh para os consumidores residenciais (baixa tensão). Já para os consumidores comerciais (média tensão) o valor é de R\$0,649 por kWh. Foi usado para o cálculo o valor de R\$0,649 por Kwh. Esse cálculo pode ser expressado em: $5,75$ kW \times 168 horas = 966 kWh \times 0,649 (valor por kWh) = R\$626,94 gastos de energia em um ensaio do *CASS test*. Após chegar a esse resultado, a conclusão foi que, deve ser dividido por 6 (seis), pois de acordo com a empresa parceira, dentro da máquina de *CASS test* tem a capacidade de 6 (seis) corpos de prova, ou seja, 6 (seis) testes em um mesmo ensaio. Sendo assim, $R\$626,94 / 6 = R\$ 104,49$ gastos de energia em um teste.

Seguindo o mesmo cálculo foi feita a tabela a seguir:

Tabela 3 – Custo de energia do *CASS test*

	Corrente	Tensão	Potência	Custo de energia de 1 testes	Custo de energia de 4 testes (30 dias)	Custo de energia de 150 testes (1 ano)
SS600e	25A	230V	5,75KW	R\$104,49	R\$417,96	R\$15.673,35
SS1000e	32A	230V	7,36KW	R\$133,75	R\$534,99	R\$20.061,88
SS1300e	40A	230V	9,2KW	R\$167,19	R\$668,73	R\$25.077,36
SS3000e	48A	230V	11,04KW	R\$200,62	R\$802,48	R\$30.092,84
SS600	25A	230V	5,75KW	R\$104,49	R\$417,96	R\$15.673,35
SS1300	32A	230V	7,36KW	R\$133,75	R\$534,99	R\$20.061,88
SS3000	40A	230V	9,2KW	R\$167,19	R\$668,73	R\$25.077,36
SS5000	50A	230V	11,5KW	R\$208,98	R\$835,92	R\$31.346,70

Fonte: Os Autores (2023)

5.1.1.5. Salário do colaborador responsável

Com base em informações disponibilizadas pela empresa parceira, foi constatado que em média um funcionário na área de operação da máquina de *CASS test* tenha remuneração mensal de cerca R\$ 5.000,00.

5.1.2. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica

5.1.2.1. Equipamento

A Espectroscopia de Impedância eletroquímica é realizada através de correntes alternadas liberadas por um potenciostato, com base nisso, foram cotados potenciostatos na empresa Corrtest Instruments.

Tabela 4 – Valores do aparelho de Espectroscopia de impedância eletroquímica.

MODELO	VALOR EM DÓLARES	VALOR EM REAIS
CS150M	USD2800	R\$13.636,00
CS300M	USD3500	R\$17.045,00
CS310M	USD4800	R\$23.376,00
CS350M	USD6300	R\$30.681,00

*Os dados acima foram coletados no dia 12 de setembro de 2023 e apresentam validade de 120 dias.

*A conversão de moeda foi realizada com o valor do dólar em R\$4,87 no dia 14 de setembro de 2023

Fonte: Os Autores (2023)

5.1.2.2. Reagentes

Na EIS utilizamos cerca de 20ml de solução de NaOH (Cloreto de Sódio), com concentração de 3%, por teste, segundo a LojaSynth 1000 gramas de cloreto de sódio P.A. (que apresenta pureza superior a 99%) tem o custo de R\$28,55. Com base nisso podemos afirmar que com 3000 gramas de cloreto de sódio podemos produzir 100l de solução com NaOH a 3%, que corresponderá a 5000 testes por EIS. A partir desses dados, foi calculada a tabela a seguir:

Tabela 5 - Valores gasto com reagentes na Espectroscopia de impedância eletroquímica.

NÚMERO DE TESTES	VALOR GASTO COM NaOH
1	R\$0,01
10	R\$0,17
100	R\$1,71
1000	R\$17,13
5000	R\$85,65

Fonte: Os Autores (2023)

5.1.2.3. Água

Em relação ao valor da água, foi estudado que em cada teste são utilizados 20ml de água. Com base na tabela de valores da empresa de distribuição de água da cidade de Limeira (ANEXO A), os custos contando tanto a parte da água quanto a parte do esgoto, obtivemos como resultado aproximado o valor de R\$ 0,03 por teste.

5.1.2.4. Energia

Na EIS a análise do custo de energia é de suma importância, afinal, ela corresponde a uma alta porcentagem no total de custos da espectroscopia. Dessa forma, a análise desse aspecto se torna essencial.

Na Espectroscopia a corrente é de 2A, com isso, a potência pode ser expressa em: $2A \text{ (corrente)} \times 127V \text{ (tensão)} = 0,254 \text{ KW (potência)}$. As tarifas de energia elétrica em São Paulo são reajustadas pela ANEEL anualmente. Em 2022, a Enel Distribuição São Paulo aplicou uma tarifa média de R\$0,656 por kWh para os consumidores residenciais (baixa tensão). Já para os consumidores comerciais (média tensão) o valor é de R\$0,649 por kWh. Foi usado para o cálculo o valor de R\$0,649 por Kwh. Esse cálculo pode ser expressado em: $0,254 \text{ kW} \times 2 \text{ horas} = 0,508 \text{ kWh} \times 0,649 \text{ (valor por kWh)} = \text{R}\$0,32$ gasto de energia em um ensaio do EIS.

Seguindo o mesmo cálculo foi feita a tabela a seguir:

Tabela 6 - Custo de energia da Espectroscopia de impedância eletroquímica

	EIS
Corrente	2A
Tensão	127V
Potência	0,254 KW
1 Teste (2 horas)	R\$0,33
1 Dia (8 horas)	R\$ 1,32
1 Mês (240 horas)	R\$39,56
150 testes (300 horas)	R\$ 49,45

Fonte: Os autores (2023)

5.1.2.5. Salário do colaborador responsável

A Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, é um método recente e com isso não há dados acessíveis, portanto, não há profissionais atuando no cargo. A partir disso foi estimado a remuneração dos colaboradores. Pela complexidade do método é preciso que o profissional tenha no mínimo um título de Mestrado na área. Com isso estima-se que mensalmente sua remuneração seja a partir de R\$7.000,00.

5.2.3. Comparação de custos

Após todas as análises, foi notado que a Espectroscopia de Impedância Eletroquímica é a técnica com melhor viabilidade econômica. A partir da informação de que a empresa parceira realiza cerca de 150 testes de avaliação da resistência à corrosão, o projeto visou comparar quais seriam os custos de 1 ano utilizando cada método, considerando a compra do equipamento. Os métodos foram comparados conforme tabela abaixo:

Tabela 7 – Comparação de custos.

	EIS	CASS test
Custo mínimo do equipamento	R\$ 13.636,00	R\$ 178.000,00
Custo mínimo de energia em 150 testes	R\$ 49,45	R\$ 15.748,50
Água em 150 testes	R\$ 4,50	R\$ 211,50
Reagentes em 150 testes	R\$ 2,57	R\$ 2.489,50
Salário anual do colaborador responsável	R\$ 91.000,00	R\$ 65.000,00
Total	R\$ 104.692,52	R\$ 261.449,50

Fonte: Os Autores (2023)

Tabela 8 - Comparação de custos em 1 teste.

	EIS	CASS test
Energia em 1 teste	R\$0,33	R\$104,99
Água em 1 teste	R\$0,03	R\$1,41
Reagentes em 1 teste	R\$0,01	R\$16,60
Total	R\$0,37	R\$123,00

Fonte: Os Autores (2023)

6. CONCLUSÃO

Em síntese, o objetivo desse projeto foi analisar a viabilidade econômica de dois métodos de avaliação à resistência à corrosão, um amplamente empregado, o *CASS test* (Cooper Accelerated Salt Spray Test- Teste de Spray de sal acelerador de cobre) e outro menos conhecido, a Espectroscopia de Impedância eletroquímica. Durante a idealização do projeto encontramos inúmeras variáveis que poderiam interferir nos custos.

Diante dessa questão, realizamos pesquisas bibliográficas, entramos em contato com empresas, profissionais da área e professores, para buscar informações do processo, valor dos aparelhos, reagentes utilizados, valor gasto com limpeza dos aparelhos, salário dos operadores dos aparelhos, valor gasto com energia e água. A partir do levantamento desses dados, foi realizada a conversão de quanto seria gasto em um ano para iniciar a utilização de cada método, para realizar os cálculos foi levado em consideração 150 testes anuais.

Com o confronto de informações foi constatado que a técnica de Espectroscopia, em um ano, teria um gasto de cerca de R\$ 104.692,52, enquanto para a técnica de *CASS test* R\$ 261.449,50, representando uma diferença de aproximadamente 150%.

Conclui-se, portanto, que a técnica mais recente e pouco difundida, a Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, apresenta claras vantagens econômicas quando colocada em comparação ao método atualmente utilizado, *CASS test*. Em suma, o trabalho conseguiu alcançar seu objetivo inicial de realizar a comparação das técnicas e expor a técnica mais viável economicamente.

REFERÊNCIAS

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. Acessado em: 02 de abril de 2023.

DE SOUSA, Angélica Silva; DE OLIVEIRA, Guilherme Saramago; ALVES, Laís Hilário. **A PESQUISA BIBLIOGRÁFICA: PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS**. 43. ed. Cadernos Fucamp, 2021. 64-83 p. v. 20.

FELTRE, Ricardo. **Química: Físico-Química**. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2004. 282-284 p. v. 2.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1982. Disponível em: <file:///C:/Users/casa/Downloads/Corros%C3%A3o%20-%20Vicente%20Gentil.pdf>. Acessado em: 02 de abril de 2023.

LIMA, Paulo Silveira; **Saiba quais são as vantagens e desvantagens das rodas de liga leve**; 8 de junho de 2022. Disponível em: <https://garagem360.com.br/saiba-quais-sao-as-vantagens-e-desvantagens-das-rodas-de-liga-leve/>. Acesso em: 11 de setembro de 2023.

RIBEIRO, D. V. ; Souza, C. A. C. ; ABRANTES, J. C. C. . **Use of Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) to monitoring the corrosion of reinforced concrete**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais , v. 8, p. 529-546, 2015. Acessado em: 02 de abril de 2023.

SILVA, Paulo; SCARMINIO, Jair; URBANO, Alexandre. **Princípios básicos da técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica**. Disponível em: file:///C:/Users/casa/Downloads/Principios_basicos_da_tecnica_de_espectr.pdf . Acessado em: 02 de abril de 2023.

S/A; **A indústria automobilística;** S/D. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/conhecasp/historia/a-industria-automobilistica/#:~:text=A%20ind%C3%BAstria%20automobil%C3%ADstica%20%7C%20Governo%20do%20Estado%20de%20S%C3%A3o%20Paulo&text=Em%20no%20vembro%20de%201891%20o,Ford%20e%20da%20General%20Motors>. Acesso em: 11 de setembro de 2023.

S/A; **A história da indústria automotiva;** S/D; Disponível em: <https://wcarjf.com.br/blog/a-historia-da-industria-automotiva/>; Acesso em 11 de setembro de 2023

S/A; **Câmara de Corrosão Salt Spray CASS / AASS – Série SS;** S/D; Disponível em: <https://equilam.com.br/camara-de-corrosao-salt-spray-cass-aass-serie-ss/> . Acessado em: 14 de setembro de 2023.

S/A; **Como evitar a corrosão de materiais metálicos na indústria.** Sulcromo, 2022. Disponível em: <https://www.sulcromo.com.br/noticias-corrosao/como-evitar-a-corrosao-de-materiais-metalicos-na-industria/>. Acesso em: 24 de maio de 2023.

S/A; **METTALURGICAL ENGINEERING SERVICES INC.** Disponível em: <https://www.metengr.com/testing-services/corrosion-testing/cass#:~:text=The%20Copper%20Accelerated%20Acetic%20Acid,zinc%20and%20steel%20die%20castings> . Acessado em: 02 de abril de 2023.

S/A; **Mitos e verdades sobre as rodas de liga leve,** 22 fevereiro de 2017; Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/mitos-e-verdades-sobre-as-rodas-de-liga-leve/mobile>. Acesso em: 11 de setembro de 2023.

S/A; **Rodas de Liga Leve: quais são as vantagens?** S/D. Disponível em: <https://www.veluplast.com.br/rodas-de-liga-leve/>. Acesso em: 11 de setembro de 2023.

S/A; **TOUCHSTONE RESEARCH LABORATORY, LTD. CASS Test — Copper-Accelerated Acetic Acid Salt Spray (Fog) Test — (ASTM B368, B117).** Disponível em: https://www.trl.com/accelerated_cass/ . Acessado em: 02 de abril de 2023.

ANEXO A – Tabela de valores BRK (2023)

Estrutura tarifária - Decisão nº 228-2023 Vigente a partir de 01/04/2023		
Categoria	Faixa de Consumo (m ³)	Tarifa de Esgoto (R\$/m ³)
Residencial	0 a 10m ³	R\$ 46,24
	11 a 30m ³	R\$ 8,46
	Acima de 30m ³	R\$ 10,78
Residencial Social	0 a 10m ³	R\$ 22,72
	11 a 30m ³	R\$ 8,46
	Acima de 31m ³	R\$ 10,78
Escritório	0 a 10m ³	R\$ 46,24
	11 a 30m ³	R\$ 8,46
	Acima de 31m ³	R\$ 10,78
Consultório	0 a 10m ³	R\$ 46,24
	11 a 30m ³	R\$ 8,46
	Acima de 31m ³	R\$ 10,78
Comercial	0 a 10m ³	R\$ 70,31
	11 a 30m ³	R\$ 10,78
	Acima de 30m ³	R\$ 19,41
Escolar	0 a 10m ³	R\$ 46,24
	11 a 99999m ³	R\$ 8,97
Hospitalar	0 a 10m ³	R\$ 46,24
	11 a 99999m ³	R\$ 5,84
Industrial	0 a 10m ³	R\$ 70,31
	11 a 30m ³	R\$ 10,78
	Acima de 31m ³	R\$ 19,41
Pública	0 a 10m ³	R\$ 46,24
	11 a 30m ³	R\$ 8,97
	Acima de 31m ³	R\$ 16,18
Temporária	0 a 10m ³	R\$ 70,31
	11 a 30m ³	R\$ 10,78
	Acima de 31m ³	R\$ 19,41