



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *CAMPUS* MARACANAÚ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS - PPGER

ANTONIO JONATAS DA SILVA BARROS

**O PAPEL DA GLICERINA COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL E DE BAIXO
CUSTO DENTRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

MARACANAÚ - CE

2024

ANTONIO JONATAS DA SILVA BARROS

O PAPEL DA GLICERINA COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL E DE BAIXO
CUSTO DENTRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis (PPGER) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Maracanaú, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Energias Renováveis. Área de concentração: Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Monteiro Valente Parente.

MARACANAÚ - CE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

DA SILVA BARROS, ANTÔNIO JONATAS.

O PAPEL DA GLICERINA COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL E DE BAIXO CUSTO DENTRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL / ANTÔNIO JONATAS DA SILVA BARROS. - 2024.

114 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Energias Renováveis, Campus Maracanaú, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo Monteiro Valente Parente.

1. Corrosão. 2. Glicerina. 3. Eletroquímica. 4. Inibidores Verdes. 5. Construção Civil. I. Título.

CDD 620.91

ANTÔNIO JONATAS DA SILVA BARROS

O PAPEL DA GLICERINA COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL E DE BAIXO
CUSTO DENTRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

Aprovada em 20/05/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Monteiro Valente Parente (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Francisco Nélio Costa Freitas
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Rafael Ribeiro Portela
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

A Deus.

Aos meus pais.

Aos mestres.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

Meus Pais e minha família pelo incentivo por sempre acreditar e me apoiar.

Ao Prof. Dr. Marcelo Monteiro Valente Parente, pelos ensinamentos, orientação, amizade e disponibilidade.

Ao Prof. Laboratorista João Saboia de Souza pelos ensinamentos e disponibilidade do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Instituto Federal do Ceará – IFCE *Campus* Fortaleza.

Ao Laboratório de Inspeção e Análise de Falhas (LIAF), ao Laboratório de Materiais (LMAT), ao Laboratório de Química Analítica e Microbiologia Ambiental (LAQAMB), seus coordenadores, bolsistas e voluntários do Instituto Federal do Ceará – IFCE *Campus* Maracanaú.

Ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), Ao Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM), ao Laboratório de Química Analítica (LQA) seus coordenadores, bolsistas do Instituto Federal do Ceará – IFCE *Campus* Fortaleza.

Ao Laboratório de Pesquisa em Corrosão da Universidade Federal do Ceará, ao Professor Dr. Walney, Caio e Denilson pela parceria e disponibilidade.

Aos amigos e colegas de estudo, em especial aos que me acompanharam durante a essa jornada de muito aprendizado, que vivenciaram comigo os desafios e me ajudaram a vencê-los, agradeço o carinho, o apoio, a paciência, os conselhos, os ensinamentos, as palavras motivadoras.

Aos professores, que muito contribuíram com minha formação acadêmica, agradeço os ensinamentos, as orientações, as lições de vida, os risos, a atenção. Vocês são verdadeiros mestres.

“O importante é não parar de questionar; a curiosidade tem sua própria razão de existir”
(Albert Einstein).

RESUMO

No Brasil, os custos estimados das perdas relacionadas à corrosão atingem 3,5% do PIB, o que equivale a aproximadamente R\$ 219 bilhões. Além disso, estruturas de concreto armado e argamassas também são afetadas pela corrosão, sendo o concreto responsável por proteger o aço contra esse problema. A corrosão de armaduras devido ao ingresso de cloretos é um dos problemas mais sérios em estruturas de concreto, levando a uma redução na capacidade estrutural, perda de aderência aço/concreto e surgimento de manchas de coloração marrom-alaranjada. Nesse contexto, a pesquisa sobre o uso de glicerina como alternativa de combate à corrosão em argamassas e concretos se mostra relevante. A glicerina apresenta propriedades que podem auxiliar na proteção dos metais contra a corrosão. A pesquisa segue duas em duas vertentes na utilização da glicerina, sendo uma como aditivo no auxílio cura da argamassa / concreto e outra seria como inibidor verde anticorrosivo. Para alcançar os objetivos, foram feitas as caracterizações do agregado miúdo (areia) para confecção dos corpos de prova de argamassa, que posteriormente seriam rompidos e executados testes específicos para analisar o aumento da resistência, combate a penetração íons cloretos nocivos, bem como analisar o comportamento de deter o efeito da carbonatação. Para validar o efeito anticorrosivo da glicerina foram executados os ensaios eletroquímicos como potencial de circuito aberto (OCP), espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE), de polarização potenciodinâmica e ensaios de perda de massa com pesagens a cada 24 horas em 10 dias consecutivos, ambos com aço carbono SAE 1020 em meio salino com NaCl 3,5% e em meios ácidos de HCl e H₂SO₄ 0,1 mol/L. Os resultados obtidos com 5% de glicerina na argamassa demonstraram aumento significativo no aumento a resistência a compressão, ao ataque de íons cloretos e na prevenção da carbonatação. Para os ensaios eletroquímicos, a eficiência de inibição foi de 7,55%, 31,79% e 48,16% em H₂SO₄, NaCl e HCl respectivamente.

Palavras-chave: Corrosão. Glicerina. Eletroquímica. Inibidores Verdes. Construção Civil.

ABSTRACT

In Brazil, the estimated costs of corrosion-related losses reach 3.5% of the GDP, equivalent to approximately R\$ 219 billion. Furthermore, reinforced concrete structures and mortars are also affected by corrosion, with concrete being responsible for protecting steel against this issue. The corrosion of reinforcements due to chloride ingress is one of the most serious problems in concrete structures, leading to a reduction in structural capacity, loss of steel/concrete adhesion, and the appearance of brown-orange colored stains. In this context, research on the use of glycerin as an alternative to combat corrosion in mortars and concretes is relevant. Glycerin presents properties that can assist in the protection of metals against corrosion. The research follows two aspects in the use of glycerin, one as an additive in the curing aid of mortar/concrete and the other as a green anticorrosive inhibitor. To achieve the objectives, characterizations of the fine aggregate (sand) were made for the preparation of mortar test specimens, which would later be broken and specific tests carried out to analyze the increase in resistance, combat the penetration of harmful chloride ions, as well as analyze the behavior of stopping the effect of carbonation. To validate the anticorrosive effect of glycerin, electrochemical tests were performed such as open circuit potential (OCP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), potentiodynamic polarization, and mass loss tests with weighings every 24 hours for 10 consecutive days, both with SAE 1020 carbon steel in saline medium with 3.5% NaCl and in acidic media of HCl and H₂SO₄ 0.1 mol/L. The results obtained with 5% glycerin in the mortar showed a significant increase in compression resistance, attack of chloride ions, and prevention of carbonation. For the electrochemical tests, the inhibition efficiency was 7.55%, 31.79%, and 48.16% in H₂SO₄, NaCl, and HCl respectively.

Keywords: Corrosion. Glycerin. Electrochemistry. Green Inhibitors. Construction Civil.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 - Reação química geral da obtenção do biodiesel..... | 57 |
| Figura 2 - Estrutura molecular da glicerina..... | 58 |
| Figura 3 – Exportação de glicerina e glicerol..... | 62 |
| Figura 4 - Amostra do ensaio de perda de massa. | 65 |
| Figura 5 - Eletrodo de trabalho..... | 66 |
| Figura 6 - Corpos de prova cilíndricos cimentícios. | 67 |
| Figura 7 - Insumos para caracterização do agregado miúdo..... | 68 |
| Figura 8 - Itens para caracterização do agregado miúdo..... | 69 |
| Figura 9 - Etapas das pesagens do picnômetro..... | 70 |
| Figura 10 - Ensaio de perda de massa..... | 76 |
| Figura 11 - Esquema montado para os ensaios eletroquímicos..... | 77 |
| Figura 12 – Contra Eletrodo de Platina..... | 78 |
| Figura 13 - Célula Eletroquímica..... | 78 |
| Figura 14 - Fluxograma das metodologias..... | 81 |
| Figura 15 – Etapas do ensaio..... | 82 |
| Figura 16 - Gráfico da curva granulométrica. | 83 |
| Figura 17 - Compactação do agregado miúdo no tronco de cone..... | 87 |
| Figura 18 – Ensaio de determinação de impurezas orgânicas..... | 90 |
| Figura 19 - Amostras do agregado miúdo com diferentes porcentagens de umidade..... | 92 |
| Figura 20 – Gráfico da determinação do coeficiente de inchamento..... | 93 |
| Figura 21 - Ensaio de resistência a compressão. | 94 |
| Figura 22 - Resultado do ensaio de resistência a compressão (MPa). | 95 |
| Figura 23 - Ensaio de resistência a compressão. | 96 |
| Figura 24 - Resultado do ensaio de resistência a compressão (MPa). | 97 |
| Figura 25 - Ensaio de carbonatação..... | 98 |
| Figura 26 - Resultado do ensaio de penetrabilidade de cloretos. | 99 |
| Figura 27 - Amostra imersa em soluções que continha H ₂ SO ₄ 0,1 mol/L. | 102 |
| Figura 28 - Saturação das soluções que continha H ₂ SO ₄ 0,1 mol/L. | 103 |
| Figura 29 - Amostras imersas em 240 horas nas soluções com e sem glicerina em H ₂ SO ₄ .. | 104 |
| Figura 30 – Gráfico da perda de massa entre as soluções de H ₂ SO ₄ (branco) e glicerina (5%). | 104 |
| Figura 31 - Adsorção de particulado nas amostras..... | 106 |

| | |
|--|-----|
| Figura 32 - Amostras imersas em 240 horas nas soluções com e sem glicerina em NaCl. ... | 106 |
| Figura 33 - Gráfico da perda de massa entre as soluções de NaCl (branco) e glicerina (5%). | 107 |
| Figura 34 - Saturação incolor das soluções que continha HCl após 240 horas..... | 108 |
| Figura 35 - Amostras imersas em 240 horas nas soluções com e sem glicerina em HCl..... | 108 |
| Figura 36 - Perda de massa entre as soluções de HCl (branco) e glicerina (5%)...... | 109 |
| Figura 37 - Curvas de Potencial de Circuito Aberto em meio ácido (H ₂ SO ₄ 0,1 mol/L)..... | 111 |
| Figura 38 - Curvas de Potencial de Circuito Aberto em meio salino (NaCl 3,5%)..... | 112 |
| Figura 39 - Curvas de Potencial de Circuito Aberto em meio ácido (HCl 0,1 mol/L)..... | 112 |
| Figura 40 - Curva de polarização compilada em meio salino (NaCl 3,5%)..... | 113 |
| Figura 41 - Curva de polarização compilada em meio ácido (H ₂ SO ₄ 0,1 mol/L). | 114 |
| Figura 42 - Curva de polarização compilada em meio ácido (HCl 0,1 mol/L)..... | 114 |
| Figura 43 - Diagramas de Nyquist compilado em solução de NaCl 3,5%..... | 115 |
| Figura 44 - Diagramas de Nyquist compilado em solução de H ₂ SO ₄ 0,1 mol/L..... | 116 |
| Figura 45 - Diagramas de Nyquist compilado em solução de HCl 0,1 mol/L..... | 116 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Evolução do Biodiesel da produção de Glicerina. | 59 |
| Tabela 2 - Principais aplicações da glicerina. | 60 |
| Tabela 3 - Preço médio por tonelada de glicerina. | 61 |
| Tabela 4 - Pesquisa em andamento com Glicerina..... | 61 |
| Tabela 5 - Compilação de alguns trabalhos correlatos | 63 |
| Tabela 6 - Composição das frações de material para confecção de areia normal. | 74 |
| Tabela 7 - Composição da argamassa de referência e a argamassa modificada..... | 74 |
| Tabela 8 - Coleta de dados para comprovação dos parâmetros da norma | 82 |
| Tabela 9 - Dados do ensaio para determinação da massa unitária. | 83 |
| Tabela 10 - Pesagem das amostras do ensaio da massa específica agregado miúdo..... | 85 |
| Tabela 11 - Pesagem das amostras para confecção dos cálculos do ensaio. | 88 |
| Tabela 12 - Dados iniciais para o ensaio do inchamento de agregado. | 91 |
| Tabela 13 - Aspectos iniciais para o ensaio do inchamento de agregado. | 92 |
| Tabela 14 - Averiguações baseada nos cálculos do ensaio de inchamento de agregado. | 92 |
| Tabela 15 - Resultados do ensaio de resistência a compressão nos corpos de prova. | 94 |
| Tabela 16 - Resultados do ensaio de resistência a compressão nos corpos de prova. | 96 |
| Tabela 17 - Composição Química do aço carbono..... | 100 |
| Tabela 18 - Resultados da variação do pH no ensaio com soluções de NaCl..... | 101 |
| Tabela 19 - Resultados da variação do pH no ensaio com soluções de H ₂ SO ₄ | 101 |
| Tabela 20 - Resultados da variação do pH no ensaio de soluções de HCl..... | 101 |
| Tabela 21 - Parâmetros de perda de massa em amostras imersas em H ₂ SO ₄ 0,1 mol/L..... | 105 |
| Tabela 22 - Parâmetros de perda de massa em amostras imersas em NaCl 3,5%..... | 107 |
| Tabela 23 - Parâmetros de perda de massa em amostras imersas em HCl 0,1 mol/L. | 109 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| IFCE | Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará |
| Inep | Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira |
| NBR | Norma Brasileira |
| NM | Norma Mercosul |
| SAE | Society of Automobile Engineers / Sociedade dos Engenheiros Automotivos |
| AISI | American Iron and Steel Institute / Instituto Americano de Ferro e Aço |
| EIE | Espectroscopia de Impedância Eletroquímica |
| OCP | Open Circuit Potential / Potencial de Circuito Aberto |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| mm/y | Milímetros por ano |
| PP | Polarização Potenciodinâmica |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------|---------------------|
| ™ | Marca comercial |
| ® | Marca registrada |
| α | Alfa |
| β | Beta |
| λ | Comprimento de onda |
| © | <i>Copyright</i> |
| \$ | Dólar |
| % | Porcentagem |
| °C | Celsius |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| SUMÁRIO | 27 |
| 1. INTRODUÇÃO | 30 |
| 1.1. JUSTIFICATIVA..... | 32 |
| 1.2. OBJETIVOS | 33 |
| 1.2.1. Objetivo geral..... | 33 |
| 1.2.2. Objetivos específicos..... | 33 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 34 |
| 2.1. VISÃO PANORÂMICA DE FONTES PRIMÁRIAS..... | 35 |
| 2.2. PROCESSOS DE CORROSÃO | 37 |
| 2.3. AGENTES ANTICORROSIVOS..... | 40 |
| 2.3.1 Tipos de Inibidores de Corrosão | 41 |
| 2.4. ARGAMASSA | 46 |
| 2.5. CONCRETO..... | 48 |
| 2.5.1 Concreto armado | 49 |
| 2.6. COMPONENTES DA ARGAMASSA E DO CONCRETO | 51 |
| 2.6.1. Cimento Portland..... | 51 |
| 2.6.2. Análise dos Agregados | 51 |
| 2.6.3. Papel da Água na Composição..... | 52 |
| 2.6.4. O uso de Aditivos..... | 52 |
| 2.7. PROCESSO DE CURA DA ARGAMASSA E DO CONCRETO | 53 |
| 2.8. AÇO CARBONO..... | 54 |
| 2.9. O QUE É O BIODISEL | 55 |
| 2.10. GLICERINA E SEU PAPEL DENTRO DO CONTEXTO DA PESQUISA | 57 |
| 3. ESTADO DA ARTE..... | 64 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 65 |
| 4.1. PREPARO DOS CORPOS DE PROVA METÁLICOS..... | 65 |
| 4.2. PREPARO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS CIMENTÍCIOS..... | 67 |

| | |
|--|-----|
| 4.3. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO..... | 68 |
| 4.3.1. Determinação da granulometria do agregado miúdo (NBR 17054/2022)..... | 68 |
| 4.3.2. Determinação da massa unitária do agregado miúdo (NBR 16972/2021) | 69 |
| 4.3.3. Determinação da massa específica agregado miúdo (NBR 16916/2021) | 69 |
| 4.3.4. Determinação de teor de material pulverulento (NBR 16973/2021) | 70 |
| 4.3.5. Determinação de teor de argilas e torrões (NBR 7218/2010)..... | 71 |
| 4.3.6. Determinação de impurezas orgânicas (NBR NM 49/2001) | 72 |
| 4.3.7. Determinação do inchamento de agregado miúdo (NBR 6467/1987) | 73 |
| 4.6.8. Confecção dos corpos de prova de argamassa para o ensaio da NBR 7215/2019 | 73 |
| 4.4. ENSAIO DE PERDA DE MASSA..... | 75 |
| 4.5. ENSAIOS ELETROQUÍMICOS..... | 77 |
| 4.5.1. Preparação das soluções | 77 |
| 4.5.2. Ensaio de potencial de circuito aberto (OCP)..... | 78 |
| 4.5.3. Polarização potenciodinâmica..... | 79 |
| 4.5.4. Ensaio de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) | 79 |
| 4.5.5. Parâmetros e condições dos ensaios eletroquímicos | 80 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 82 |
| 5.1.1. Determinação da granulometria do agregado miúdo (NBR 17054/2022)..... | 82 |
| 5.1.2. Determinação da massa unitária do agregado miúdo (NBR 16972/2021) | 83 |
| 5.1.3. Determinação da massa específica agregado miúdo (NBR 16916/2021) | 84 |
| 5.1.4. Determinação de teor de material pulverulento (NBR 16973/2021) | 87 |
| 5.1.5. Determinação de teor de argilas e torrões (NBR 7218/2010)..... | 89 |
| 5.1.6. Determinação de impurezas orgânicas (NBR NM 49/2001) | 90 |
| 5.1.7. Determinação do inchamento de agregado miúdo (NBR 6467/1987) | 91 |
| 5.1.8. Ensaio de resistência à compressão do cimento Portland (NBR 7215/2019)..... | 93 |
| 5.1.9. Ensaio Penetrabilidade de íons cloretos da Norma Europeia UNI 1603925/2019 | 99 |
| 5.1.10. Caracterização do aço carbono SAE 1020..... | 100 |

| | |
|--|-----|
| 5.1.11. Análises do pH das soluções..... | 101 |
| 5.1.12. Ensaio de perda de massa | 102 |
| 5.1.13. Ensaio de potencial de circuito aberto (OCP)..... | 111 |
| 5.1.14. Polarização potenciodinâmica..... | 113 |
| 5.1.15. Ensaio de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) | 115 |
| 6. CONCLUSÕES | 118 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 119 |

1. INTRODUÇÃO

O predomínio de fontes fósseis resulta em elevadas emissões de dióxido de carbono e de outros poluentes locais e torna desafiadora a transição energética. O Brasil se destaca como o país de menor nível de emissões por unidade de energia elétrica gerada. O uso da hidreletricidade é predominante, mas outras fontes renováveis são também relevantes na produção de eletricidade, como produtos da cana e energia eólica (LOSEKANN; TAVARES, 2020).

O Brasil possui matriz energética entre as mais limpas do mundo, composta por 45% de energia renovável. Entre essas, destaca-se a hidrelétrica, que representa 29% da matriz; os biocombustíveis, que já têm um longo histórico no país e representam 7%; eólica e solar que, juntas, alcançam a participação de 4,5%; e a biomassa, com 4%. Petróleo e derivados respondem por 38% do balanço energético, constituindo a principal fonte energética utilizada. O gás natural responde por 10% da matriz, enquanto o carvão (5%) e a nuclear (1%) são pouco representativos (BP, 2020a).

No Brasil, com o recente cenário de redução da capacidade hídrica, abriu-se o debate para a utilização de métodos de geração energética mais sustentáveis e baratos como uma alternativa às termoelétricas, que utilizam principalmente combustíveis fósseis poluentes. As eólicas têm se mostrado uma opção bastante viável, já que no país o período de estiagem é também a melhor época para a geração por ventos. Um bom exemplo de quão bem-sucedida essa estratégia pode ser é o Nordeste. Recentemente, a região bateu sucessivos recordes na geração de energia eólica, atendendo 100% da demanda local por um dia e exportando o excedente gerado para outras regiões do país (ABEEÓLICA, 2023).

No Brasil, embora o aproveitamento dos recursos eólicos tenha sido feito originalmente para a utilização de bombeamento d'água, e atualmente para aplicação de aerogeradores elétricos, pesquisas realizadas recentemente em diversos pontos do território nacional, indicam a existência de um imenso potencial eólico ainda não explorado (SANTOS, 2020).

O Brasil é o maior produtor de energia eólica na América Latina, atingindo recentemente a marca de 20GW de capacidade instalada. Sua vastidão territorial abriga ventos constantes, estáveis e quase que unilaterais durante todo o ano, com destaque para a região Nordeste e extremo Sul do país (ABEEÓLICA, 2023).

No Brasil, assim como em várias partes do mundo, quase não existem dados de vento com qualidade para uma avaliação do potencial eólico. Os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica foram instalados no Ceará e em

Fernando de Noronha/Pernambuco apenas no início dos anos 90. Grande atenção tem sido dirigida para o estado do Ceará por este ter sido um dos primeiros locais a realizar um programa de levantamento do potencial eólico através de medidas de vento com modernos anemógrafos computadorizados (SANTOS, 2020). O potencial dos ventos alísios somado com o aumento da demanda energética em decorrência do desenvolvimento económico, indica que o Ceará se encontra entre as melhores áreas do planeta para o aproveitamento eólico (MACHADO, 2020).

Atualmente, as maiores torres eólicas no Brasil são de cerca de 120 m de altura, contudo já existem projetos com torres de 140 m. As torres eólicas podem ser formadas de segmentos feitos de aço ou concreto. As torres de segmento de concreto são mais viáveis para alturas superiores a 100 metros, uma vez que, quanto maior a altura, maiores e mais pesados serão os segmentos dificultando assim, o uso e o transporte de peças de aço (DANTAS, 2020). A presença de fissuras no concreto representa uma via para a entrada de agentes químicos, que podem atingir o reforço e acelerar a deterioração da estrutura (CERQUEIRA, 2021).

A velocidade da corrosão em áreas de atmosfera marítima é 30 a 40 vezes mais rápida do que em atmosfera rural (JUNIOR, 2022). Sabendo dos obstáculos impostos pela evolução da indústria eólica, o concreto de alta resistência vem se tornando bastante atrativo e sendo aplicado em novos estudos sobre o dimensionamento de parques eólicos (CERQUEIRA, 2021).

A água das chuvas, a umidade do ar, a radiação solar, os agentes contaminantes presentes no ar como SO_2 , SO_3 , SO_4 , H_2S , NO_x , íons cloretos, entre outros são agentes causadores do processo de corrosão atmosférica. Quando se cita sobre um ambiente de maresia, que é o mais comum para a instalação de parques eólico o teor médio de sais é na faixa de 3,5% (35 g/L) (JUNIOR, 2022).

Nas torres de concreto armado com aço no seu interior, ao presenciarem regiões com um teor muito alto de cloretos, sofrem corrosão devido ser o agente mais agressivo. Por isso, deve-se ter cuidado com respeito a sua interferência na corrosão. Dando mais detalhes sobre a influência da umidade relativa, da temperatura, da velocidade e direção dos ventos e do teor de cloretos (JUNIOR, 2022).

1.1. JUSTIFICATIVA

As energias renováveis surgem como uma alternativa ambientalmente correta, com o desafio de reestruturar o sistema energético, substituindo combustíveis fósseis por energia limpa, promovendo desenvolvimento tecnológico, econômico e soluções sustentáveis. O Estado do Ceará se destaca na implementação de energia renovável, especialmente energia solar e eólica, devido às suas características geográficas únicas. A instalação de torres de energia eólica é facilitada pelo vasto litoral do estado. Essas estruturas, compostas por três pás, um gerador, torre e fundação, são construídas com concreto armado e argamassas, com aço presente em todos os elementos.

A produção significativa de biodiesel gera glicerina em grande escala, um subproduto que pode ser aplicado em ambientes marítimos com alta incidência de íons cloretos e outros agentes corrosivos. Este estudo propõe avaliar o potencial da glicerina como inibidor verde de corrosão de metais bem como componente adicional na mistura de argamassa / concreto usada nas estruturas das torres. A escassa utilização da glicerina no setor da construção civil ressalta a necessidade de explorar novas alternativas para sua aplicação, especialmente considerando seus potenciais benefícios na resistência à corrosão em ambientes marinhos.

A pesquisa proposta visa contribuir para o avanço de estratégias eficazes de proteção contra a corrosão, economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis. Além disso, busca-se explorar o potencial da glicerina em auxiliar no processo de cura da argamassa / concreto, promovendo uma redução significativa na perda de água por evaporação. Espera-se que os resultados obtidos possam oferecer subsídios valiosos para a indústria eólica e outros setores industriais, auxiliando na adoção de medidas preventivas e mitigadoras da corrosão.

Serão exploradas soluções práticas que envolvem o uso de materiais biodegradáveis, com foco especial na incorporação da glicerina como aditivo na argamassa. Além disso, serão conduzidos estudos experimentais detalhados para avaliar a eficácia da glicerina como agente anticorrosivo dos metais e facilitador do processo de cura da argamassa / concreto. Este trabalho, por meio da incorporação da glicerina, visa melhorar a redução de patologias em ambientes salinos no estado do Ceará, diminuindo a necessidade de intervenções nessas estruturas e reduzindo a quantidade de resíduos expelidos no ambiente.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Investigar a viabilidade da utilização da glicerina como aditivo na cura da argamassa / concreto e potencial inibidor de corrosão ecologicamente amigável.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar o agregado miúdo (areia) quanto a sua granulometria, massa unitária, massa específica, teor de material pulverulento, teor de argilas, teor de torrões, teor de impurezas orgânicas e inchamento.
- Verificar a capacidade da glicerina no aumento da resistência a compressão em corpos de prova cilíndricos de argamassa;
- Avaliar a eficiência de inibição da glicerina à penetração de íons cloretos em corpos de prova cilíndricos de argamassa;
- Analisar o potencial anticorrosivo da glicerina por meio da técnica de perda de massa em solução de NaCl 3,5%, solução de H₂SO₄ 0,1 M e também em HCl 0,1 M;
- Avaliar o potencial de inibição da corrosão da glicerina em solução de NaCl 3,5%, em solução de H₂SO₄ 0,1 M e também em HCl 0,1 M por meio dos ensaios eletroquímicos de potencial de circuito aberto, polarização potenciodinâmica e impedância eletroquímica;

2. REVISÃO DE LITERATURA

Processos corrosivos são espontâneos e acontecem pela ação química ou eletroquímica do meio ambiente promovendo, geralmente, a degradação de materiais metálicos ou não, que podem ser intensificados por esforços mecânicos (VALBON *et al.*, 2019). A corrosão é definida como um contato físico e químico entre um metal e seu ambiente que causa o comprometimento dos metais (DEYAB *et al.*, 2022). O estudo da literatura sugere que inúmeras práticas como a proteção catódica, pintura, revestimento, galvanização, uso de inibidores de corrosão, etc. têm sido adotados para mitigar ou retardar a corrosão (ALREFAEE, 2021). Comparado com outras tecnologias anticorrosivas, o inibidor de corrosão possui características especiais por ser operacionalmente simples de ser aplicado e apresentar baixo custo (GAO *et al.*, 2022).

O desenvolvimento de tecnologias verdes e sustentáveis de prevenção à corrosão vem crescendo devido às rígidas regulamentações ambientais (VERMA; EBENSO; QURAIISHI, 2017). Nos dias de hoje, o uso de inibidores verdes vem sendo frequentemente usados como inibidores de corrosão por conta da sua atoxicidade ao ambiente quando comparado aos inibidores comerciais (VARELLA *et al.*, 2018).

Neste contexto a glicerina se apresenta com potencial aplicação como inibidor de corrosão por apresentar características adequadas para este uso. Uma vez que a crescente demanda de biodiesel no mercado global tem levado ao acúmulo de glicerol no mercado nacional e internacional. A principal rota de produção do biodiesel ainda é através da transesterificação de triglicerídeos. Esta linha de produção gera, como subproduto, aproximadamente 10% de glicerol. (ZONG *et al.*, 2022).

Este resíduo apresenta uma grande dificuldade em ser absorvido pelas indústrias convencionais que fazem o seu consumo, como por exemplo, a indústria farmacêutica e a alimentícia, pois ele contém impurezas como metanol, sabão, ácidos graxos livres, triglicerídeos, vindos do processo da transesterificação (RODRIGUES *et al.*, 2021).

2.1. VISÃO PANORÂMICA DE FONTES PRIMÁRIAS

As energias renováveis são consideradas como uma via importante no controle e combate das mudanças, podendo ser pensadas e discutidas também como uma estratégia de adaptação climática (LEONARDO; TEIXEIRA; PESSOA, 2022).

O Sol é uma fonte de energia renovável, o aproveitamento desta energia tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para que se possa enfrentar os desafios do novo milênio. A energia solar é abundante e permanente, renovável a cada dia, não polui e nem prejudica o ecossistema. A energia solar é a solução ideal para áreas afastadas e ainda não eletrificadas, especialmente em um país como o Brasil onde se encontram ótimos índices de insolação em qualquer parte do território (SANTOS, 2020).

A energia solar soma características vantajosamente positivas para o sistema ambiental, pois o Sol, trabalhando como um imenso reator à fusão, irradia na terra todos os dias um potencial energético extremamente elevado e incomparável a qualquer outro sistema de energia, sendo a fonte básica e indispensável para praticamente todas as fontes energéticas utilizadas pelo homem (SANTOS, 2020).

Além da energia extraídas do sol, existem também as vindas do vento que nos bons locais o vento agregado a modernas torres com turbinas de ventos podem gerar uma eletricidade através da energia eólica (VIEIRA, 2021). Para a avaliação do potencial eólico de uma região faz-se necessária a coleta de dados de vento com precisão e qualidade. (SANTOS, 2020).

Depois do sol e do vento, também é possível extrair da natureza a energia da Terra, conhecida como a geotérmica derivada da profundidade do interior da terra a temperatura do calor alto, pela intensidade que provêm do subsolo acoplada a técnica para transformar em energia com quantidades nas regiões possíveis. Sendo mais uma alternativa de energia renovável (VIEIRA, 2021).

A água existente nos reservatórios subterrâneos pode aquecer ou mesmo ferver quando em contato com o magma. Existem locais no planeta onde a água quente sobe até a superfície terrestre, formando pequenos lagos. Essa água pode ser utilizada para aquecer prédios, casas, piscinas no inverno, e até para produzir eletricidade (SANTOS, 2020).

A Energia Geotérmica é uma fonte de energia alternativa que é encontrada em regiões especiais da superfície da Terra, isto é, ela só pode ser aproveitada em lugares onde o calor é mais acentuado, como por exemplo, onde houve manifestações vulcânicas e atividades tectônicas pois o gradiente térmico é mais adequado para extração desse tipo de energia (SANTOS, 2020).

Além dessas possibilidades apresentadas de alternativas de energia existem a energia das ondas ou ondo motriz, que também despertou atenção da pesquisa pela força que exerce através do oceano. A força das águas doce possibilita a energia hidrelétrica, que corresponde ao aproveitamento de energia cinética contido no fluxo de massas de águas dos rios ou quedas d'águas, que adicionada a tecnologia e a construção civil possibilitam a geração de energia (VIEIRA, 2021).

Leonardo *et al.*, (2022)., destaca que a energia hidráulica é bastante suscetível às variabilidades e às mudanças do sistema climático, podendo ser cada vez mais afetada de acordo com as projeções climáticas que sinalizam para uma maior instabilidade e escassez dos recursos hídricos nos próximos anos ou nas próximas décadas, com a distribuição desigual de eletricidade entre as regiões de um dado país, por exemplo.

A biomassa pode apresentar-se de várias formas: resíduos florestais, agrícolas, urbanos e industriais. Pode ser cultivada em plantios herbáceos ou em árvores, podendo ser transformada em eletricidade e em vários biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos (SANTOS, 2020).

De acordo com Vieira (2021)., além dos elementos da natureza proporcionarem a força para gerar energias, as matérias orgânicas também despertaram estudos que geraram técnicas e tecnologias para a transformação de energia. Nesse propósito surge a bioenergia extraída da biomassa, que corresponde a toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal, como por exemplo uso de restos de madeira, bagaço de cana, lenha, carvão vegetal, dejetos de animais e outras fontes primárias de energia. A biomassa é obtida pelo processamento dos resíduos dessas matérias através de tecnologias desenvolvidas com particularidades para cada tipo de matéria utilizada na geração e cogeração de energia.

O Brasil é um grande produtor agrícola e, portanto, gera uma enorme e contínua quantidade de biomassa, e assim como em outros países do mundo, converte essa energia química armazenada em combustíveis líquidos por meio de processos industriais (SANTOS, 2020).

2.2. PROCESSOS DE CORROSÃO

A corrosão é definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, pela ação química ou eletroquímica do meio no qual estão expostos podendo ser associada ou não a esforços mecânicos. Os processos de corrosão são espontâneos e irreversíveis, vistos como um processo inverso ao siderúrgico uma vez que a corrosão metálica oxida o ferro, liberando a energia requerida na conversão do minério em metal (SANTORO, 2022).

A corrosão é um processo natural no qual metais e ligas tentam retornar ao seu estado termodinâmico mais estável como resultado de ataque químico ou reatividade com o ambiente (ZAKERI; BAHMANI; AGHDAM, 2022). A corrosão pode ser extremamente danosa em diversas situações, sendo elas domésticas ou industriais, e pode provocar diversos problemas econômicos e ambientais (NORONHA; CUNHA, 2020).

O produto da corrosão Fe_2O_3 hidratado, conhecida popularmente como ferrugem, nada mais é do que a hematita, o óxido de ferro mais encontrado e explorado para produção de aço, indicando o retorno do metal a sua condição de menor energia (SANTORO, 2022).

Peres de Sousa *et al.*, (2019)., argumenta que monitorar o comportamento dos aços em meios agressivos, proporcionam ferramentas indispensáveis para evitar elevadas perdas econômicas devido à queda na produção decorrente da paralisação da planta, assim como acidentes graves que levam a impactos sociais e ambientais sérios, incluindo a perda de vidas humanas. No Brasil, os custos estimados das perdas relativas aos desgastes provocados pela corrosão atingem 3,5% do PIB, o que equivale, em 2016, a aproximadamente R\$ 219 bilhões.

No entanto, é imprescindível destacar que as estruturas de aço carbono têm sua integridade afetada quando expostos a ambientes agressivos, tais como meios salinos e ácidos, que é justamente o caso da indústria petroquímica, sendo a mais atingida pelos prejuízos da corrosão. Estima-se que cerca de 20% do aço produzido seja destinado a reposição de peças, partes de equipamentos e/ou trechos de instalações corroídas, ou seja, o equivalente a cerca de 400 mil toneladas, tendo como base a produção de aço mundial em 2021 (SANTORO, 2022).

É um problema reconhecido mundialmente que tem levado ao esgotamento dos recursos naturais, redução da eficiência e perdas econômicas. Portanto, prever e proteger materiais contra corrosão é uma questão importante para a indústria moderna. Para lidar com esses problemas, vários estudos experimentais e teóricos foram realizados nas últimas décadas (CHEN *et al.*, 2022; GURJAR *et al.*, 2021). O monitoramento da corrosão é realizado por meio de técnicas para detectar alterações no comportamento de materiais e componentes frente à corrosão, e assim facilitar a compreensão do processo corrosivo (NORONHA; CUNHA, 2020).

A corrosão é um processo de oxidação eletroquímica, no qual um metal transfere seu elétron para o ambiente e sofre uma mudança de valência de zero a um valor positivo. (GURJAR *et al.*, 2021).

De acordo KOBZAR e FATYEYEVA (2021)., os elétrons se movem através da estrutura metálica até a superfície e se combinam com oxigênio e água para formar íons hidroxila ou com prótons para produzir hidrogênio (evolução catódica de hidrogênio). Os íons Fe^{2+} são dissolvidos na solução circundante. Então, os íons Fe^{2+} reagem com os íons hidroxila para formar hidróxidos ferrosos. Hidróxidos ferrosos são ainda oxidados pelo ar produzindo óxidos férricos hidratados, ou seja, ferrugem vermelha. Como exposto a seguir de forma simplificada, a reação principal no cátodo do aço carbono depende do ambiente em que está inserido. Em meios ácidos forte ou ácidos fraco, neutro e alcalino desaerados:



Em meios fracamente ácidos aerados:



Em meios neutros e alcalinos aerados:



A reação anódica por sua vez é a seguinte:



ZORTÉA, (2020) cita PANOSSIAN, (1993), afirmando que as substâncias formadas pelas reações 1, 2, 3 e 4 podem permanecer dissolvidas no fluido ou formar produtos com diferentes solubilidades. Portanto, duas situações diferentes podem ocorrer durante o processo de corrosão do ferro: corrosão sem a interposição de precipitados na interface metal / meio e corrosão com a interposição de uma barreira na interface metal / meio. No primeiro caso, os produtos de corrosão do ferro são completamente dissolvidos no meio. No segundo caso, a taxa de corrosão dependerá da efetividade de proteção da camada de barreira na interface metal / meio, e a composição e estrutura do metal exibe pouca influência na velocidade de corrosão.

No caso de água neutra pura, de acordo com esta reação, íons hidroxila da reação do cátodo e íons ferrosos da reação do ânodo reagem para formar hidróxido ferroso (GENTIL, 2003):



De acordo com ZORTÉA, (2020)., o hidróxido ferroso, ou hidróxido de ferro II, possui alta solubilidade ($1,64 \cdot 10^{-3}$ g/L) quando puro. Se houver vestígios de oxigênio na água, o hidróxido sofrerá oxidação inicial e ficará da cor verde. No caso de deficiência de oxigênio, ocorrerá a formação de magnetita, conforme a equação a seguir:



No caso de haver oxigênio suficiente no meio, o hidróxido ferroso será oxidado em hidróxido férrico, de acordo com a seguinte reação:



ZORTÉA, (2020)., enfatiza as palavras de PONTE (2003)., que tanto o hidróxido ferroso, quanto o hidróxido férrico, compostos na superfície do metal constituirão uma barreira à difusão do oxigênio, sendo que o $4\text{Fe}(\text{OH})_3$ é mais eficaz devido à sua menor solubilidade. Normalmente, existe uma camada interna de hidróxido ferroso e uma camada externa de hidróxido férrico sob o metal. Bem como também ressalta as palavras de JAMBO & FÓFANO (2008), que a natureza dos produtos de corrosão descritos pertence ao sistema ferro/água aerada. Em diferentes condições, haverá outros compostos, produtos das reações com hidróxidos, cloretos, sulfatos, fosfatos etc. A eficácia dessas barreiras protetoras contra a difusão de oxigênio dependerá das propriedades e natureza desses produtos formados.

O método mais comum de prevenção da corrosão é a seleção de materiais, porém é importante ressaltar que para cada situação ocorrem inúmeros materiais adequados que podem ser indicados. Dentre os critérios de seleção de materiais, podemos citar: financeiro, disponibilidade, conformação e compatibilidade com o processo (NORONHA; CUNHA, 2020).

O desenvolvimento de novos materiais que resistam aos efeitos nocivos de ambientes corrosivos é importante para reduzir os custos gerais (KARAHAN; AMINIFAZL; GOLDEN,

2022). Portanto, fornecer materiais metálicos com proteção contra corrosão é uma tarefa urgente na pesquisa moderna (BERDIMURODOV *et al.*, 2021).

2.3. AGENTES ANTICORROSIVOS

A fim de evitar a corrosão em superfícies metálicas, algumas estratégias são utilizadas, como: as proteções, catódica e anódica, os inibidores de corrosão, a utilização de revestimentos orgânicos ou inorgânicos e o desenvolvimento de ligas metálicas de maior resistência química (SENISKI *et al.*, 2020). Uma das metodologias envolve inibidores de corrosão sintéticos que são considerados um dos melhores métodos devido ao seu custo-benefício e facilidade de aplicação na indústria (GURJAR *et al.*, 2021). Entretanto, muitos inibidores mostram-se agressivos ao meio ambiente por apresentarem cromatos e fosfatos de alta toxicidade, recebendo forte atenção de autoridades internacionais (PERES DE SOUSA *et al.*, 2019). Devido ao perigo ambiental e alta toxicidade, o uso de cromatos foi proibido nas indústrias e, neste caso, os sais de lantanídeos e extratos vegetais são usados como alternativa aos cromatos (CESAR DE OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Os mecanismos de atuação dos inibidores de corrosão estão baseados na formação de uma barreira ou filme na superfície do material, que impede ou retarda as reações de corrosão, e na alteração do meio corrosivo, tornando-o menos agressivo (MAINIER; SILVA, 2010).

A aceitação desses inibidores na linha industrial é justificada pelas excelentes propriedades anticorrosivas. Sua utilização pode ser vista em unidades de refino, tubulações de sistemas de resfriamento, caldeiras e em processos de produção de petróleo e gás (PERES DE SOUSA *et al.*, 2019). Os revestimentos orgânicos formam uma barreira entre o material a ser protegido e o meio (NORONHA; CUNHA, 2020).

Esses revestimentos mantêm a durabilidade da estrutura metálica, melhorando a sua resistência à umidade, à abrasão e aos ataques químicos. As propriedades de barreira também funcionam inibindo o deslocamento de íons até a superfície metálica (SENISKI *et al.*, 2020).

O uso de inibidores como modificadores do ambiente está hoje desempenhando um papel importante na supressão ou mitigação do processo de corrosão. O ambiente circundante pode ser um líquido, gás ou solo-líquido híbrido e é referido como um eletrólito devido à sua própria condutividade (GURJAR *et al.*, 2021).

Entre esses métodos, destacam-se os revestimentos orgânicos, principalmente pela facilidade de aplicação, ter um bom efeito de barreira ao acesso de contaminantes ao metal e, normalmente, um menor custo (SENISKI *et al.*, 2020). O inibidor de corrosão é um aditivo

químico, que pode efetivamente inibir a corrosão de metais em ambiente corrosivo. Comparado com outras tecnologias anticorrosivas, o inibidor de corrosão possui as características de nenhum equipamento especial, operação simples, baixo preço e uso conveniente (GAO *et al.*, 2022).

Atualmente, os inibidores de corrosão orgânicos (de baixo a alto peso molecular) são intensamente usados como inibidores de corrosão do aço em diferentes meios agressivos (KOBZAR; FATYEYEVA, 2021). No entanto, esses inibidores de corrosão orgânicos são geralmente altamente tóxicos e não são propícios para seu uso generalizado (GAO *et al.*, 2022). A maioria dos inibidores de corrosão são anfifílicos, ou seja, possuem uma cabeça polar e uma cauda apolar. A cabeça polar geralmente adsorve na superfície metálica, enquanto a cauda não polar é tipicamente um hidrocarboneto que promove proteção hidrofóbica à superfície do aço (HERNÁNDEZ-BRAVO *et al.*, 2022).

Geralmente, o desempenho desses inibidores tem sido avaliado usando medidas de perda de massa e técnicas eletroquímicas como curvas de polarização e impedância eletroquímica (DA ROCHA; GOMES, 2017).

Existem diversos métodos eletroquímicos, mas os principais são: medições de potencial, resistência de polarização linear e impedância eletroquímica. As medições de potencial são realizadas por meio de eletrodos e voltímetros, para se verificar o potencial de eletrodo do metal no meio. A resistência de polarização linear é derivada da extrapolação das curvas de Tafel, que utiliza técnicas de proteção anódica e catódica, desenvolvendo um gráfico que permite o cálculo da corrente de corrosão (NORONHA; CUNHA, 2020).

2.3.1 Tipos de Inibidores de Corrosão

A maneira mais comum de classificação dos inibidores de corrosão é dividi-los entre inibidores catódicos, anódicos e de adsorção (COSTA, 2019). O inibidor de corrosão pode ser definido como uma substância que, quando adicionada em quantidade adequada a um ambiente corrosivo, reduz significativamente a taxa de corrosão. A escolha do inibidor adequado para um determinado processo exige o conhecimento de suas propriedades, condições ideais de atuação e controle assim como seus mecanismos de ação (SANTORO, 2022).

2.3.1.1. Quanto ao mecanismo de proteção

2.3.1.1.1. Inibidores anódicos

Os inibidores anódicos atuam reprimindo reações anódicas, ou seja, retardam ou impedem a reação no anodo. Em geral, este tipo de inibidor funciona reagindo com o produto de corrosão inicialmente formado, dando origem a um filme aderente à superfície metálica extremamente insolúvel. Esta barreira física entre o metal e o meio diminui a incidência de corrente elétrica, reduzindo, assim a taxa de corrosão (SANTORO, 2022).

Por isso, são usualmente chamados de passivadores. Um efeito da atuação dos inibidores anódicos é a elevação do potencial de corrosão do metal, tornando-o mais nobre (SOUZA, 2022). Cromatos, nitritos e nitratos são exemplos típicos de substâncias oxidantes aplicadas como inibidores anódicos de corrosão. Contudo, vale ressaltar que o uso de inibidores a base de cromato é proibido devido à sua toxicidade, visto que os compostos de cromo hexavalente (Cr^{6+}) são de natureza carcinogênica (SANTORO, 2022).

2.3.1.1.2. Inibidores catódicos

Os inibidores catódicos são compostos insolúveis que envolvem a área catódica, de forma a impedir a difusão do oxigênio e a condução de elétrons, o que por consequência inibe o processo catódico. De forma simplificada, pode-se definir inibidores catódicos como sendo compostos que inibem as reações catódicas (COSTA, 2019).

Os sulfatos de zinco, sulfatos de magnésio e sulfatos de níquel são os principais exemplos de inibidores catódicos (COSTA, 2019). Os inibidores catódicos, por sua vez, interferem nas reações catódicas ao reagir com os íons hidroxila OH^- que se concentram nas proximidades destas regiões, formando compostos insolúveis. Tais compostos insolúveis bloqueiam as áreas catódicas da superfície metálica impedindo a difusão de oxigênio e a condução eletrônica, desenvolvendo, desta forma, uma menor taxa de corrosão (SANTORO, 2022).

2.3.1.1.3. Inibidores de adsorção

Os inibidores de corrosão indicados para proteção de peças em meio ácido são classificados como de adsorção, que formam uma camada sobre a superfície do metal, protegendo-o por impedir ou reduzir seu contato com o meio corrosivo. Apesar do bom desempenho, a maioria dos inibidores de corrosão existentes no mercado possuem algum grau de toxicidade no seu uso, podendo causar danos ambientais, tornando seu uso questionável e desvantajoso (DESSUPOIO FERNANDES; PRESSENTIN CARDOSO, 2023).

Em sua grande maioria os inibidores de adsorção são compostos orgânicos que possuem em sua estrutura os átomos de nitrogênio, oxigênio e enxofre (ALCANTARA et al., 2019). A adsorção pode ser física ou química, ocorrendo tanto em regiões anódicas como em regiões catódicas. A adsorção física é baseada na interação eletrostática entre a superfície metálica carregada e a molécula inibidora carregada. A adsorção química está relacionada com as interações doador-aceitador entre os pares de elétrons livres do inibidor e o orbital d vazio e de baixa energia do metal (SILVA et al., 2020).

A velocidade do fluido, volume, concentração do inibidor usado para tratamento, temperatura do sistema afetam a sua proteção. Substâncias orgânicas com grupos fortemente polares formam as películas de adsorção. Alguns inibidores só são eficazes em temperaturas adequadas, por exemplo: Cicloexilamina a 32°C, Ácido naftênico a 46°C, Ácido esteárico 88% (GARCIA, 2022).

O aspecto essencial é a existência de heteroátomos (S, N e O), elétrons em anéis aromáticos e vários grupos funcionais que interagem com a superfície do metal aumentando a resistência à corrosão da superfície do aço, o que significa que o inibidor apresenta melhor eficiência de inibição contra a superfície do metal em solução aquosa. A eficácia das interações metal-inibidor pode ser interpretada com base em grupos funcionais polares e outros centros ricos em elétrons por meio dos quais as moléculas do inibidor podem ser adsorvidas com eficácia (SILVA et al., 2020).

Sendo assim, uma das alternativas é utilizá-los a fim de retardar ou até mesmo isentar os materiais da reação corrosiva. Eles são aplicados sob o metal, garantindo sua proteção e sem mudar sua composição ou forma física, apenas aderindo-se, criando uma película protetora que atua como uma barreira contra substâncias agressivas ali presentes (GARCIA, 2022).

2.3.1.2. Quanto à sua natureza química

2.3.1.2.1. Inibidores inorgânicos

Os inibidores tradicionais são, por exemplo, cromatos inorgânicos, nitratos inorgânicos, molibdatos e nitratos orgânicos, carbonatos, silicatos, fosfatos e moléculas orgânicas, que possuem heteroátomos, como nitrogênio, enxofre, fósforo e oxigênio. Estes são utilizados em maior escala e, em sua maioria, possuem efeitos tóxicos e poluentes. O uso de muitos inibidores inorgânicos, particularmente aqueles contendo fosfatos e cromatos, está sendo gradualmente restringido ou banido por várias regulamentações ambientais por causa de sua toxicidade (POSSANI, 2021).

2.3.1.2.2. Inibidores orgânicos

Os inibidores orgânicos atuam por adsorção, cujas interações entre o adsorvente (superfície metálica) e o adsorvato (inibidor) podem ser de natureza física ou química. Quando as interações metal-inibidor são apenas do tipo van der Waals (dipolo-dipolo, dipolo-dipolo induzido, por exemplo), são chamadas de fisissorção (SANTORO, 2022).

Por meio do mecanismo de adsorção os inibidores orgânicos são adsorvidos à superfície metálica, promovendo sua passivação. Neste quesito os compostos orgânicos são mais vantajosos que os inorgânicos devido a maior uniformidade do filme passivo. Os inibidores inorgânicos, por exemplo, estão mais suscetíveis a formação de filmes porosos e frágeis, favorecendo a ocorrência de corrosão localizada (SANTORO, 2022).

Fatores como a velocidade do fluido, volume e concentração do inibidor usado, temperatura do sistema, tipo de substrato eficaz para adsorção do inibidor, tempo de contato entre o inibidor e a superfície metálica e a composição do fluido do sistema influenciam na eficácia das películas de proteção geradas pelos inibidores de adsorção (COSTA, 2019).

Este tipo de adsorção é facilmente reversível com o aumento da temperatura, devido aos parâmetros termoquímicos ($\Delta G > -20$ kJ/mol) que expressam sua menor espontaneidade. Já os inibidores que atuam por quimissorção possuem $\Delta G < -40$ kJ/mol, cuja adsorção tendem a ser irreversíveis devido a ligação química estabelecida entre metal-inibidor. Este tipo de adsorção é convenientemente explicado do ponto de vista da teoria ácido-base de Lewis, sendo o inibidor a espécie básica com elétrons disponíveis a serem transferidos para a superfície metálica, considerada ácido de Lewis devido aos orbitais d vazios dos átomos de ferro constituinte do aço, por exemplo (SANTORO, 2022).

2.3.1.2.2.1. Inibidores orgânicos sintéticos

Dentre os mais utilizados por indústrias estão os inibidores sintéticos, compostos capazes de realizar a adsorção necessária para inibir a corrosão de um sistema. Contudo seu uso é preocupante, pois apesar da grande eficiência garantida por eles, muitos possuem em sua base substâncias como cromatos e nitratos, que apresentam toxidez alta em pequenas concentrações, significativo fator poluente, além de elevado custo (CARVALHO *et al.*, 2020).

2.3.1.2.2.2. Inibidores orgânicos naturais ou inibidores verdes

Para superar as desvantagens devido aos inibidores orgânicos sintéticos, os extratos vegetais surgiram como inibidores seguros e potenciais devido às suas origens naturais e natureza não tóxica (GURJAR *et al.*, 2021). Os inibidores naturais são obtidos a partir de extratos de plantas ou de material biodegradável e acarretam a redução da intensidade de dissolução dos metais, diminuindo a sua taxa de corrosão (DA ROCHA; GOMES, 2017). Eles também podem ser obtidos a partir de líquidos iônicos, surfactantes, biopolímeros, aminoácidos, fármacos, extratos e óleos de plantas, assim como sais solúveis de metais de terras raras (SOUZA, 2022)

Existem muitos estudos utilizando produtos naturais como inibidores de corrosão, a maior parte deles referindo-se à corrosão do aço-carbono, pois este material é amplamente utilizado devido ao seu baixo custo, propriedades mecânica adequadas, facilidade de processamento e elevada disponibilidade (DA ROCHA; GOMES, 2017).

. Estes inibidores verdes são importantes porque são atóxicos, biodegradáveis, não contêm metais pesados e não geram resíduos poluentes em sua obtenção, uso ou descarte, portanto, são considerados ecologicamente corretos (POSSANI, 2021).

Além da eficiência e das características do próprio inibidor verde, é importante avaliar o custo-benefício e o impacto ambiental dos possíveis processos utilizados para produzi-lo, verificando se são ambientalmente adequados e de baixo custo. Tendo em vista essa avaliação, inibidores verdes oriundos de resíduos da indústria agropecuária são bastante promissores, porque além de não serem tóxicos fornecem uma destinação adequada para esses resíduos que seriam descartados, agregando valor à cadeia de produção do produto principal. Logicamente, faz-se necessário que o processo de obtenção do inibidor a partir desse resíduo também seja ambientalmente amigável (SOUZA, 2022).

2.4. ARGAMASSA

O aumento significativo da população mundial tem proporcionado também o aumento do número de construções e reformas e, conseqüentemente, o cimento tem se destacado pela sua utilização em grande escala, pois é considerado o principal aglutinante dos agregados. Além de ser considerado o material de construção mais utilizado no mundo (CORSO *et al.*, 2020).

A norma NBR 13281:2005 define a argamassa como uma “mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria”.

Em decorrência desse fato, há uma grande produção e utilização desse material, cerca de 71.000.000 toneladas por ano. Acredita-se que cerca de 7% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) provém da produção do cimento Portland. Cada tonelada de cimento gera aproximadamente entre 650 kg e 920 kg de CO₂ (CORSO *et al.*, 2020). A argamassa é o revestimento mais utilizado nas alvenarias de blocos cerâmicos e apresenta propriedades de endurecimento e aderência compatíveis às necessidades dos sistemas de vedações verticais (FILHO, 2019).

Por ser um material de grande importância na construção civil e afim de obter um aprimoramento das construções, nos últimos tempos, vem se buscando formas de melhorar, através da adição de diversos materiais orgânicos e inorgânicos, as propriedades da argamassa, como sua resistência e consistência, garantindo um melhor desempenho, qualidade e economia (MOTA *et al.*, 2020).

De acordo com FILHO (2019)., citando PANARESE, KOSMATKA e RANDALL (1991); GUIMARÃES (2002)., alternativamente às argamassas produzidas em obra, ou ainda, de origem industrial, comercializadas em sacos, prontas para o uso, a utilização de argamassas estabilizadas, fornecidas por centrais dosadoras, reduz a possibilidade de erro de dosagem, desperdício de materiais, além de aumentar consideravelmente a produtividade no canteiro. O emprego de aditivos estabilizadores de hidratação e incorporadores de ar na composição proporciona trabalhabilidade por períodos de tempos maiores, sem afetar suas propriedades fundamentais no estado endurecido.

O cimento Portland composto tem diversas possibilidades de aplicação e por isso é um dos cimentos mais utilizados no Brasil. Suas propriedades atendem desde estruturas em

concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, concreto massa e concreto para pavimentos (MOTA *et al.*, 2020).

Mesmo que o cimento Portland seja muito utilizado e tenha alta resistência à compressão, os valores de resistência à tração e à flexão são baixos, o que o torna frágil e com durabilidade reduzida, contribuindo para a formação de fissuras nas estruturas e, conseqüentemente, permitindo deformações (CORSO *et al.*, 2020).

Embora concretos e argamassas sejam os materiais construtivos mais consumidos do mundo, o conhecimento e a divulgação de práticas construtivas adequadas não acompanharam o crescimento de sua utilização no mercado da construção civil, conseqüentemente, as manifestações patológicas responsáveis pela degradação das estruturas construídas a partir destes, são frequentes e causam danos econômicos, ambientais e sociais, até mesmo irreversíveis (SOUZA *et al.*, 2018).

Essas deformações podem gerar patologias na construção, pois interferem nos agentes presentes no concreto, tais como água, CO₂ e cloreto. Para a melhoria das propriedades mecânicas é necessário o desenvolvimento de técnicas e uso de materiais que permitem a fabricação de produtos mais duráveis, redução da quantidade de cimento e a conseqüente redução de emissão de CO₂ no ambiente (CORSO *et al.*, 2020).

A deterioração do concreto e da argamassa resulta quase sempre da combinação de fatores externos e internos de processos químicos, físicos, mecânicos e biológicos, que alteram a capacidade dos materiais desempenharem suas funções preestabelecidas, afetando de modo direto na estética, conforto, segurança e durabilidade da obra. Manifestações patológicas como eflorescência, ataques por sulfatos, sais e ácidos, além das reações álcalisagregado, são extremamente nocivas a esses materiais e estão diretamente relacionadas à qualidade da água de amassamento utilizada nos seus processos produtivos (SOUZA *et al.*, 2018).

2.5. CONCRETO

Em toda construção civil, o concreto é o material de mais serventia e mais utilizado no mundo inteiro. É um material de alta resistência, denso, durável e fácil de ser fabricado (SCARI; SANTOS, 2021). A construção civil é considerada uma das principais atividades econômicas de um país, sendo responsável por um grande consumo de energia e extração de recursos naturais. O principal insumo deste setor é o concreto de cimento Portland, sendo considerado o material de construção mais consumido em escala mundial, e em relação aos materiais de consumo, é visto como o segundo mais desfrutado, ficando apenas atrás da água (LOPES; PEÇANHA; CASTRO, 2020).

O concreto é um material compósito composto de agregados finos e graúdos unidos por um cimento fluido que endurece com o tempo. Seu uso em todo o mundo, tonelada por tonelada, é o dobro do aço, madeira, plásticos e alumínio combinados. Por ser um material de fácil produção, que possibilita a moldagem em diversas formas e dimensões, apresentar boa resistência mecânica após endurecido (similar às rochas naturais), ser economicamente atrativo, entre outros motivos, o concreto é considerado o material mais importante da construção civil (LOPES; PEÇANHA; CASTRO, 2020).

A disseminação das estruturas baseadas em concreto podem ser observadas na maioria das construções erguidas na área urbana, evidenciando assim uma grande hegemonia em torno deste sistema construtivo (PEDRO SALOMÃO, ANDRÉ SANTOS; SANTIAGO, 2020). Relatório da consultoria norte-americana Grand View Research estima que até 2025 o mercado global da construção industrializada do concreto movimentará 130,11 bilhões de dólares por ano. Significa crescimento superior a 50 bilhões de dólares em comparação com o levantamento anterior, feito em 2016, quando a mesma empresa calculou que a industrialização do concreto já movimentava US\$ 78,44 bilhões de dólares (Massa Cinzenta, 2019).

Se o concreto receber manutenção constante e eficaz, pode-se considerar que ele poderá ter durabilidade, entretanto, ainda são encontradas manifestações patológicas em intensidade. As causas desta deterioração podem ser as mais diversas, tais como: materiais de má qualidade, falta de qualificação da mão-de-obra, erros no projeto, envelhecimento natural, acidentes, etc (SCARI; SANTOS, 2021). O concreto é um material heterogêneo e de comportamento complexo, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Diante disso, a dosagem desse material torna-se uma tarefa bastante importante e desafiadora para os profissionais responsáveis por esta atividade, visto que a dosagem do concreto consiste na determinação da

proporção ideal dos materiais constituintes (cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, água e, em alguns casos, aditivos e adições), de maneira a produzir uma mistura tecnicamente adequada e economicamente viável (LOPES; PEÇANHA; CASTRO, 2020).

Os erros de execução das estruturas podem ser de todo o tipo, podendo estar ligadas à fabricação, montagem e desmontagem das fôrmas e cimbramentos; corte, dobra e montagem das armaduras, dosagem, mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto, todas elas relacionadas, principalmente, ao emprego de mão-de-obra desqualificada ou falta de supervisão técnica (SCARI; SANTOS, 2021). Adições minerais e aditivos químicos são adicionados durante o processo de mistura com a finalidade de melhorar ou conferir propriedades especiais ao concreto, seja no estado fresco ou no estado endurecido, tornando-se componentes indispensáveis na produção dos concretos modernos.

A qualidade do concreto deve ser devidamente planejada, utilizando sempre a classe específica que seja adequada a cada tipo de armadura, com a devida resistência à compressão e à tração, além de calcular o parâmetro relativo à deformação do concreto quando submetido à ação de tensões (PEDRO SALOMÃO, ANDRÉ SANTOS; SANTIAGO, 2020). Com relação à dosagem do concreto, a proporção mínima de cimento deve ser aquela capaz de assegurar o perfeito envolvimento de todas as partículas pertencentes a mistura. Com o desenvolvimento da construção civil, juntamente com a engenharia de estruturas, surgiu a necessidade de utilizar concretos especiais, empregados por apresentarem características específicas, para atender às demandas das obras em que concretos convencionais não poderiam ser aplicados (LOPES; PEÇANHA; CASTRO, 2020).

2.5.1 Concreto armado

O concreto armado é um processo construtivo inventado na Europa em meados do século XIX. Ele consiste na combinação do concreto – uma pasta feita de agregados miúdos e graúdos, cimento, areia e água, conhecida desde a Antiguidade – com uma armadura de aço (SCARI; SANTOS, 2021).

O sucesso do projeto estrutural de concreto armado se inicia com a escolha correta dos principais componentes constituintes, observando sempre as particularidades relacionadas à escolha do cimento e seu armazenamento, a classificação correta quanto às dimensões dos agregados, o emprego correto da água e um controle rígido na qualidade dos aditivos a serem utilizados (PEDRO SALOMÃO, ANDRÉ SANTOS; SANTIAGO, 2020).

No Brasil, o concreto armado se difundiu principalmente através do técnico alemão Lambert Riedlinger que funda a firma “Companhia Construtora de Cimento Armado -L. Riedlinger” sendo a primeira firma em solo brasileiro exclusivamente dedicada ao cálculo, projeto e construções de obras em concreto armado (PEDRO SALOMÃO, ANDRÉ SANTOS; SANTIAGO, 2020). De todos os países deste mundo modernizado, o Brasil foi onde mais predominou a tecnologia do concreto armado. Ele é o material estrutural absolutamente hegemônico nas construções das cidades brasileiras, sejam elas de nível alto ou baixo padrão (SCARI; SANTOS, 2021).

O concreto é um material internamente poroso e os vazios são resultantes de água ou ar presentes na massa de concreto. Isso forma uma espécie de ligação com o exterior que é importante ao processo de transporte de gases, água e substâncias agressivas dissolvidas para o interior do concreto. Assim sendo, os mecanismos de degradação estão vinculados a esses poros (SILVA, 2018).

Devido à frequência com que ocorre e suas consequências danosas às estruturas, a corrosão em armaduras de concreto armado tem sido uma patologia considerada dominante (SILVA, 2018). Na maioria das vezes, a água é um dos principais agentes necessários para que ocorram os processos de corrosão. Com a sua presença ou se o ambiente estiver uma umidade relativa do ar de 60%, já há possibilidades de causar a formação de óxidos, esse processo é um fenômeno conhecido como eletroquímico (SCARI; SANTOS, 2021). A corrosão das armaduras está relacionada à porosidade do concreto, que por sua vez é relativa à quantidade de água utilizada na composição do concreto. Quanto maior for a relação água/cimento, maior será a porosidade do concreto, e caso a porosidade seja maior do que a admissível, as armaduras estarão mais expostas aos agentes corrosivos (GALLAS *et al.*, 2019).

A durabilidade, a vida útil e a segurança são os principais aspectos que garantem a qualidade nas estruturas de concreto armado, mas são os mais atingidos pelo problema da corrosão. É o concreto que protege o aço desse problema, pois é isso que vai garantir a durabilidade do conjunto, entre outros fatores, como a qualidade do concreto, por exemplo (SILVA, 2018). Outros fatores que devem ser levados em conta são o cobrimento mínimo de concreto, que garanta a proteção das armaduras, a resistência característica do concreto adotada no projeto, bem como o lançamento, adensamento e cura adequados do concreto (GALLAS *et al.*, 2019).

De acordo com Silva, (2018)., a armadura de aço, ao sofrer a corrosão, sofre perda de seção na região anódica, devido à dissolução do ferro. Ocorre uma perda de aderência aço/concreto, uma redução na capacidade estrutural da peça e o surgimento de manchas com a

coloração marrom alaranjada. corrosão de armaduras devido ao ingresso de cloretos é um dos problemas mais sérios e intensos que pode ocorrer em estruturas de concreto, podendo também provocar uma maior deterioração, e, refletindo-se na limitação da vida útil de serviço.

Esse tipo de corrosão das armaduras é caracterizado por suceder devido à agressividade do macroclima e microclima. Regiões onde o ambiente de maior agressividade é a atmosfera salina, pela ação da maré ou névoa salina, entre outros. O fenômeno da corrosão é desencadeado quando os íons cloretos penetram no concreto através de mecanismos de transporte de massa até atingir a armadura (SILVA, 2018).

2.6. COMPONENTES DA ARGAMASSA E DO CONCRETO

2.6.1. Cimento Portland

O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água, e depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, não se decompõe mais. A sua composição é de clínquer e de adições, sendo o clínquer o principal componente presente em todos os tipos de cimento e que tem como matérias-primas básicas o calcário e a argila (PEDRO SALOMÃO, ANDRÉ SANTOS; SANTIAGO, 2020).

De acordo com BRONHOLO, (2013)., citando METHA E MONTEIRO (1994)., a Hidratação do cimento é admitida como sendo uma série de reações químicas que ocorrem pela combinação da água livre presente nos macro-poros, atuando como reagente de fase, tornando-se água quimicamente ligada como uma fase do produto. O processo de hidratação se apresenta, desde o nível macroscópico, como uma reação química em que a água livre, na fase reativa, se combina com o cimento, para formar como produto, água combinada nos hidratos.

2.6.2. Análise dos Agregados

As características dos agregados são de extrema importância para a tecnologia e um bom desempenho do concreto, elas derivam-se da composição mineralógica da rocha matriz, entre essas características incluem a porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma, textura, resistência e módulo de elasticidade. Para a dosagem do concreto é necessário obter a massa específica, composição granulométrica e teor de umidade com esses dados determinam as propriedades dos concretos no estado fresco (PEDRO SALOMÃO, ANDRÉ SANTOS; SANTIAGO, 2020).

2.6.3. Papel da Água na Composição

Na construção civil a água é considerada como um dos insumos mais utilizados para os diversos serviços que englobam esse setor, seja como componente constituinte de argamassas e concretos ou como ferramenta de limpeza, resfriamento e compactação de terrenos. A água de amassamento apresenta-se como um material fundamental nos diversos elementos construtivos presentes em uma obra, e influencia diretamente na qualidade e segurança da mesma (SOUZA *et al.*, 2018).

A água é necessária no concreto para possibilitar as reações químicas do cimento, chamada reações de hidratação, que irão garantir as propriedades de resistência e durabilidade do concreto. Tem também a função de lubrificar as demais partículas para proporcionar o manuseio do concreto (PEDRO SALOMÃO, ANDRÉ SANTOS; SANTIAGO, 2020). Diante de sua importância, a água utilizada na produção de concretos e argamassas, que ganha o nome de água de amassamento, deve obedecer às prescrições das normas técnicas vigentes passando por avaliações de qualidade, de modo que seja utilizada na quantidade apropriada e esteja isenta de substâncias prejudiciais ao desempenho desses materiais (SOUZA *et al.*, 2018).

2.6.4. O uso de Aditivos

Para promover maior trabalhabilidade e diminuir a exsudação a argamassa estabilizada recebe em sua composição aditivo incorporador de ar, o que também proporciona maior retenção de água (JANTSCH *et al.*, 2021). Indústrias de argamassas pré-fabricadas têm utilizado aditivos retentores de água, plastificantes e incorporadores de ar nas argamassas, de forma a melhorar suas características mecânicas e de durabilidade, no estado fresco e endurecido. O uso dos aditivos retentores de água busca melhorar a capacidade de retenção de água das argamassas de revestimento e assentamento, aumentar a coesão e a aderência, além de melhorar a trabalhabilidade e o processo de hidratação do cimento (SOUZA; CARVALHAIS; DOS SANTOS, 2019).

Segundo Pedro Salomão, André Santos & Santiago (2020)., é recomendado um controle rígido na qualidade dos aditivos para que se tenha um excelente aproveitamento final na mistura do concreto e para que se obtenha os resultados a que se propõe a utilização dos aditivos, dentre estes: a) Acréscimo de resistência; b) Aumento da durabilidade; c) Melhora na impermeabilidade; d) Melhora na trabalhabilidade; e) Possibilidade de retirada

de fôrmas em curto prazo; f) Diminuição do calor de hidratação (retardamento ou aceleração da pega); g) Diminuição da retração; h) Aditivos plastificantes e superplastificantes; i) Aditivos incorporadores de ar. A combinação dos aditivos incorporadores de ar e estabilizador de hidratação, bem como seus efeitos sobre a argamassa fresca e endurecida, vem sendo tema frequente de estudos. A aplicação e a dosagem desses aditivos, cada vez mais, requerem uma análise conjunta considerando as bases químicas empregadas, o tipo de cimento, a granulometria do agregado e as características da mistura, entre outros fatores (JANTSCH *et al.*, 2021).

As propriedades mecânicas das argamassas não são influenciadas de forma significativa pela adição desses aditivos. Além das argamassas de revestimento, esses bloqueadores de umidade, como também são chamados, demonstraram ser eficazes na redução dos níveis de umidade superficial em tijolos, na interface tijolo-argamassa e em argamassas de assentamento (JANTSCH *et al.*, 2021).

2.7. PROCESSO DE CURA DA ARGAMASSA E DO CONCRETO

A cura de concretos e argamassas, é um processo técnico utilizado para desacelerar a evaporação da água de amassamento e permitir a completa hidratação do cimento. A cura adequada é fundamental para que concretos alcance seu melhor desempenho, tornando-se menos poroso e mais durável. A cura pode aumentar a resistência do concreto em cerca de 30% além de diminuir a incidência de trincas e fissuras que podem comprometer a estabilidade da edificação (SOUZA *et al.*, 2019).

Para SOUZA *et al.*, (2019), os principais tipos de cura citados nas diversas literaturas são: cura úmida; cura imersa; cura química e cura térmica. A cura úmida, consiste em proporcionar a inserção de água em contato com a superfície da argamassa deixando-a úmida, e assim evitar a evaporação de água.

A cura submersa ou imersa mantém a superfície da argamassa parcialmente ou totalmente imersa em água para evitar a evaporação da mesma e proporcionar uma influência positiva em concreto pois corresponde ao meio mais adequado para promover as reações de hidratação. Já a cura química é aquela que faz uso de produtos que formam uma película que não permite a evaporação da água de amassamento. E a cura térmica é o processo que utiliza câmaras aquecidas

A cura do concreto constitui uma medida adotada para evitar a evaporação da água utilizada no amassamento do concreto e assim garantir que os componentes do cimento se

hidratem. Ou seja, o processo de cura é importante porque evita a perda de água utilizada fornecendo ou liberando a água de amassamento no processo de hidratação do cimento, que é um processo lento (SOUZA *et al.*, 2019).

2.8. AÇO CARBONO

Atualmente, o aço é um dos materiais mais utilizados no mundo. O aço é utilizado como material de construção em diferentes áreas, nomeadamente na indústria farmacêutica, medicina, centrais térmicas, hídricas e atômicas, refinarias de petróleo, indústrias de galvanização, automóveis, indústria aeroespacial, etc (KOBZAR; FATYEYEVA, 2021).

O aço é um dos bens mais desejados pela sociedade, pois somente em 2019 a produção mundial de aço bruto foi de 1391 milhões de toneladas. Mas o aço corrói quando exposto a inúmeras condições, incluindo a atmosfera externa. Fatores que afetam a taxa de corrosão incluem propriedades metálicas, temperatura, fatores mecânicos, diferença de potencial elétrico, pH e condições ambientais (GURJAR *et al.*, 2021; KOBZAR; FATYEYEVA, 2021).

Portanto, após tomar conhecimento sobre as variáveis envolvidas no processo corrosivo, como o meio corrosivo, a forma e a causa da corrosão, faz-se necessário determinar a melhor maneira de proteger o material contra a corrosão (NORONHA; CUNHA, 2020).

Em função destes principais fenômenos identificados, há diversos estudos envolvendo as formas de proteção superficial de metais para aumentar a sua vida útil, diminuindo a sua taxa de corrosão (SENISKI *et al.*, 2020).

Devido sua versatilidade em aplicações, este material muitas vezes é utilizado em condições de exposição atmosférica, podendo ser facilmente encontrado em grandes estruturas como pontes, viadutos, tubulações em estações de tratamento de água e componentes de máquinas (PERES DE SOUSA *et al.*, 2019). Esses materiais são amplamente utilizados para tubos metálicos na indústria química. Isso se deve à sua relação custo-benefício e fácil operabilidade mecânica (BERDIMURODOV *et al.*, 2021).

O processo inexorável de corrosão pode ser minimizado por estratégias adequadas como projeto adequado, seleção adequada de amostras, uso de revestimentos protetores etc. que reduzem a agressividade do meio ambiente (GURJAR *et al.*, 2021).

Para GURJAR *et al.* (2021) a corrosão de metais é um problema proeminente, pois os metais são amplamente utilizados para fins industriais. Além disso, o reparo e a substituição de peças e equipamentos danificados agregam custos e falhas na entrega programada. Assim,

formulações contendo inibidores ou agentes antibacterianos têm sido utilizadas, separadamente ou misturadas, para controlar a corrosão (HERNÁNDEZ-BRAVO *et al.*, 2022).

Com a preocupação ambiental presente na atualidade, surge então a necessidade de criar tecnologias limpas direcionadas aos inibidores de corrosão, já que eles vêm sendo usados como um dos métodos eficazes para a proteção anticorrosiva (NORONHA; CUNHA, 2020).

2.9. O QUE É O BIODIESEL

O crescimento populacional e a demanda crescente de novas alternativas facilitadoras no dia a dia dos seres humanos em decorrência da industrialização acarretaram diretamente no aumento dos veículos. Dessa forma a procura por fontes de energias alternativas que não agredissem ao meio ambiente motivou a inserção do biodiesel na matriz energética brasileira, visando à substituição dos combustíveis advindos do petróleo (CARDOSO *et al.*, 2020).

O biodiesel é uma forma de combustível diesel derivado de plantas ou animais e consiste em ésteres de ácidos graxos de cadeia longa. É tipicamente feito pela reação química de lipídios, como gordura animal, com um álcool, produzindo um éster metílico, etílico ou propílico pelo processo de transesterificação. O biodiesel é um biocombustível *drop-in*, o que significa que é compatível com os motores a diesel existentes e com a infraestrutura de distribuição. A preocupação global com as mudanças climáticas vem sendo discutida ao longo dos anos em todos os países do mundo, sendo os combustíveis fósseis responsáveis associados a grande parte da degradação ambiental e conseqüentemente aquecimento global (NETO; SUSSI; OLIVEIRA, 2022a).

Dessa forma, o uso do biodiesel oferece um ganho ambiental de grande importância, diminuindo as emissões de grande parte dos gases nocivos e balanceando a quantidade de dióxido de carbono emitido na atmosfera, que é absorvido no crescimento de culturas agrícolas utilizadas como fonte de matéria-prima na produção do biocombustível (CARDOSO *et al.*, 2020).

Na atualidade mais de 95% de biodiesel produzido no mundo é feito a partir de óleos virgens refinados, fato que tem sido debatido recentemente, devido a que o espaço de terras férteis necessárias para a produção de alimentos tem sido utilizado para produção de biocombustíveis, inflacionando os preços dos alimentos básicos (SALTARIN *et al.*, 2023).

O Brasil possui um diferencial para a produção de biocombustíveis devido à sua vasta área territorial destinada ao cultivo de oleaginosas, bem como a diversidade destas espécies agrícolas, tendo a soja como matéria-prima protagonista detentora de 66,27 % do perfil nacional

das matérias primas consumidas para produção de biodiesel, de acordo com o informativo divulgado em fevereiro de 2020 pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), (ROVERE; RODRIGUES; TELEKEN, 2020).

Em termos de custo de produção, há também três aspectos que de vem ser considerados: o custo do processo de transesterificação; a recuperação do glicerol; e a recuperação do álcool. Estes três aspectos influem de forma direta no custo do biodiesel final e a sua incidência depende do jeito em como sejam administrados (SALTARIN *et al.*, 2023).

Devido à instabilidade do preço do barril de petróleo nos últimos anos, atrelado a demanda ambiental devido a liberação de monóxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis, pesquisadores estão em busca de fontes alternativas de combustíveis, visando mitigar a dependência sobre o consumo de combustíveis produzidos a partir de fontes não renováveis. Os biodieseis apresentam-se como um produto de caráter *ecofriendly*, uma vez que podem ser produzidos de fontes renováveis de matéria-prima, tal como óleos vegetais e gorduras animais, além de apresentar a glicerina como coproduto do processo que pode ser utilizado em seguimentos da indústria química, petroquímica, farmacêutica e de alimentos (ROVERE; RODRIGUES; TELEKEN, 2020). Uma tonelada de biodiesel utilizada representa uma redução de 2,5 toneladas de dióxido de carbono presentes na atmosfera, diminuindo as consequências do efeito estufa.

Nos últimos anos, pesquisadores tem demonstrado que os gargalos do desenvolvimento na produção do biodiesel não são de problemas técnicos, mas sim problemas de gestão de processos, como acontecem na cadeia de suprimentos dos fornecedores de matérias-primas aos produtores de biodiesel (SALTARIN *et al.*, 2023).

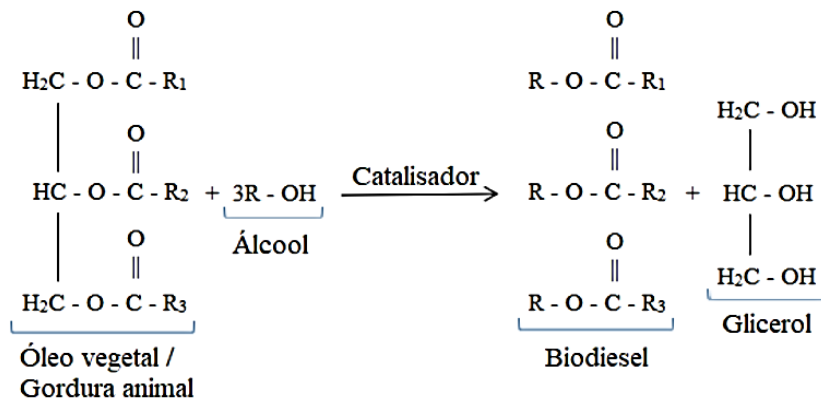
Segundo CARDOSO e AVIZ (2020) a escolha da matéria-prima para produção de biodiesel depende largamente de fatores geográficos. O Brasil, por ser detentor de uma grande extensão territorial, apresenta uma ampla diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel. A indústria do biodiesel tem mostrado um enorme crescimento nos últimos anos. No Brasil a sua produção tem sido encorajada por leis governamentais com porcentagens crescentes deste biocombustível à matriz energética brasileira, visando substituir gradativamente o óleo diesel de origem fóssil (RODRIGUES *et al.*, 2021).

Nesse contexto, o biodiesel vem tendo destaque no cenário mundial por ser um combustível ambientalmente correto e oriundo de muitas fontes renováveis, de modo que pode ser produzido partir de diversas plantas oleaginosas (NETO; SUSSI; OLIVEIRA, 2022b).

A principal rota de produção do biodiesel é através da reação de transesterificação de triacilgliceróis contidos em óleos vegetais, tais como: óleo de milho, soja, girassol, entre outras (PEREIRA, 2019).

Reação entre um triacilglicerol e um álcool de cadeia curta (comumente metanol e etanol), que sob ação de um catalisador ácido ou básico, resulta em uma mistura de ésteres que é constituída de biodiesel e glicerina, o segundo, um coproduto que em altas concentrações no biodiesel pode provocar problemas de armazenamento, formação de depósitos, entupimento de bicos injetores do motor e emissões de aldeídos (ROVERE; RODRIGUES; TELEKEN, 2020). A figura 01 a seguir deixa mais clara as informações de forma geral de como obter o biodiesel e o glicerol, como subproduto.

Figura 1 - Reação química geral da obtenção do biodiesel.



R₁, R₂, R₃ = longas cadeias de hidrocarbonetos
 R = -CH₃ (metanol), -CH₂CH₃ (etanol)

Fonte: Autor (2023).

2.10. GLICERINA E SEU PAPEL DENTRO DO CONTEXTO DA PESQUISA

O biodiesel é produzido a partir de várias matérias-primas diferentes. Todos os compostos que possuem triglicerídeos em sua composição podem ser utilizados na produção de biodiesel (CARDOSO *et al.*, 2020). O biodiesel além de ser proveniente de uma produção renovável, devido à grande variedade de plantas oleaginosas como fontes de matéria prima, ele também ajuda a reduzir impactos ambientais causados pelos combustíveis fósseis, como a emissão de gases poluentes responsáveis pelo efeito estufa (NETO; SUSSI; OLIVEIRA, 2022b).

Com esse cenário, o mercado de glicerol movimentava anualmente bilhões de dólares: no ano de 2021, movimentou mundialmente U\$\$ 2,5B. A estimativa é que apresente taxa de

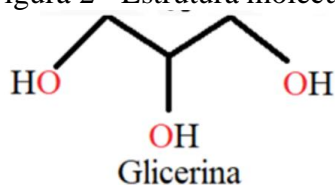
crescimento anual composta de 6.4% entre 2021 em 2027, chegando a movimentar U\$\$ 3,7B em 2028. O aumento da oferta de glicerol deve-se principalmente ao biodiesel, que em 2020 gerou 59,5% da receita do produto (OLIVEIRA JÚNIOR, 2022).

A glicerina bruta, por diversas vezes chamada de glicerol bruto, é o termo usado para o resíduo obtido na produção do biodiesel. A partir da glicerina bruta, através de um processo de neutralização do catalisador e remoção dos ácidos graxos, pode se obter a glicerina loira, que possui cerca de 80% de glicerol, além de água, álcool e sais dissolvidos. A glicerina de grau técnico deve possuir cerca de 88-98% de teor de glicerol podendo ser usada como matéria-prima para a indústria, como na produção de materiais poliméricos. Com teor acima de 99,5% de glicerol, essa glicerina é considerada apta para uso na indústria farmacêutica e cosmética; e acima de 99,7%, tem-se uma glicerina usada como aditivo na indústria alimentícia (CUSTÓDIO *et al.*, 2022).

É um líquido viscoso, incolor e inodoro, de sabor doce e não tóxico. A espinha dorsal do glicerol é encontrada em lipídios conhecidos como glicerídeos. Apesar das amplas aplicações de glicerol puro na indústria farmacêutica, alimentar e cosmética, a sua purificação gera custo, especialmente para os pequenos e médios produtores de biodiesel, pois a ampla demanda de glicerol fez o custo de venda baixar nos últimos anos (ADAMES *et al.*, 2021).

De acordo com MOTA, SILVA e GONÇALVES, (2009)., o termo glicerol aplica-se somente ao componente químico puro 1,2,3-propanotriol. O termo glicerina aplica-se aos produtos comerciais purificados, normalmente, contendo pelo menos 95% de glicerol. Para PEREIRA (2019), o glicerol (1,2,3-propanotriol) é um álcool trihidroxilado, líquido, translúcido e viscoso, totalmente solúvel em etanol e em água, pouco solúvel em solventes orgânicos como acetato de etila e insolúvel em hidrocarbonetos.

Figura 2 - Estrutura molecular da glicerina.



Fonte: Autor (2023).

A baixa solubilidade do GL em ácido graxo dificulta fortemente a esterificação que tradicionalmente requer um ácido como catalisador, bem como alta temperatura para promover o processo de reação (ZONG *et al.*, 2022). Os óleos vegetais são os mais usados para produzir

biodiesel, devido ao fato de serem constituídos por triacilglicerídeos, originados pela esterificação de ácidos graxos com glicerol (NETO; SUSSI; OLIVEIRA, 2022b).

A composição da glicerina bruta irá depender, além da origem do biodiesel produzido, da qualidade e dos tipos de óleo utilizados, do tipo de catalisador e razão entre óleo e álcool. Atualmente, há uma busca por novos métodos para o tratamento da glicerina bruta, como a tecnologia de separação por membranas, que estão sendo bastante pesquisadas, mas que ainda são pouco viáveis operacional e economicamente. O método por purificação química ainda é o mais utilizado sendo possível realizar um processo em pequena ou grande escala. Esse método consiste, de maneira geral, em uma combinação de etapas, a saber: neutralização, destilação, filtração e centrifugação, adsorção por troca iônica ou com carvão ativado (CUSTÓDIO *et al.*, 2022).

A produção crescente de biodiesel tem elevado também a produção do coproduto desta reação, o glicerol bruto (GB). Estima-se que para cada 100 kg de biodiesel produzidos são gerados 10 kg de glicerol bruto (RODRIGUES *et al.*, 2021). Cerca de 10% em massa/massa do produto da reação de transesterificação é referente ao glicerol, sendo no efluente industrial um composto impuro que pode apresentar contaminantes como: água, metanol ou etanol, resíduo do catalisador e sabões (PEREIRA, 2019).

Tabela 1 - Evolução do Biodiesel da produção de Glicerina.

| Ano | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---------------------------------------|------|--------|---------|-----------|-----------|---------|
| Biodiesel Produzido (m ³) | 736 | 69.002 | 404.329 | 1.167.128 | 1.607.838 | 320.238 |
| Glicerina gerada (t) | 74 | 69.000 | 40.433 | 116.713 | 160.784 | 32.024 |

Fonte: Adaptado de Santos e Mazzonetto (2022).

O grande volume de glicerina oriunda da produção de biodiesel, tanto no Brasil, como no mundo, será uma fonte abundante e barata de uma matéria-prima renovável nos próximos anos. Portanto, é necessário utilizar princípios criativos, e principalmente discernimento para realizar estudos e aplicações economicamente viáveis e que possam beneficiar toda a sociedade (SANTOS; MAZZONETTO, 2021)

De acordo com OLIVEIRA JÚNIOR, (2022)., o total de glicerina no Brasil em 2021 foi em torno de 630 mil toneladas, das quais estima-se que 487 mil (77%) foram exportadas. Além disso, desse total, 297 mil toneladas foram destinadas a China (61%), sendo 83% desse valor na forma bruta. Dessa maneira, de toda a glicerina produzida, 23% vão parar o mercado interno e cerca de 39% é exportada na forma de glicerina bruta para a China, sendo, portanto, este um

destino muito importante a ser avaliado na discussão acerca viabilidade da produção de biodiesel. A exportação de glicerina se estabeleceu como um dos pilares da economia brasileira, contribuindo significativamente para o comércio internacional do país. Com uma ampla gama de aplicações, a glicerina se tornou um item essencial em várias indústrias em todo o mundo.

Tabela 2 - Principais aplicações da glicerina.

| Aplicações | % |
|--|-------------|
| Desenvolvimento de outros compostos químicos a partir da glicerina | 25% |
| Produção de aditivos para gasolina e novos combustíveis | 16% |
| Purificação de glicerina | 13% |
| Controle de poeira e anticongelante | 8% |
| Produção de Biogás | 7% |
| Utilização como plastificante | 6% |
| Extração de petróleo | 4% |
| Uso da glicerina bruta como suprimento na ração de animais | 4% |
| Combustão da glicerina como fonte energética em plantas de biodiesel | 4% |
| Utilização da glicerina para produção de compostos polímeros | 4% |
| Outros | 2% |
| Utilização da glicerina na compostagem | 2% |
| Comparação entre o glicerol puro e derivado de biodiesel | 1% |
| Pelotização de minérios de ferro | 1% |
| Identificação tecnológica para glicerina | 1% |
| Produção de antioxidantes | 1% |
| Total | 100% |

Fonte: Adaptado de Santos e Mazzone (2022).

A glicerina bruta apresenta uma clara tendência de desvalorização, que pode ser justificada por sua alta disponibilidade no mercado devido à contínua produção de biodiesel. A glicerina bidestilada que é consideravelmente mais cara não apresentou a mesma tendência de desvalorização, uma vez que se trata da glicerina bruta que recebeu um tratamento prévio para que seu grau de pureza fosse superior a 99,8% (SIMÃO; BENIGNO, 2017). Além do baixo valor de venda desse coproduto, outro fator que pode dificultar ou inviabilizar sua exportação são questões logísticas. Por questões de localização geográfica, algumas produtoras são muito afetadas por custos de transporte. Em alguns casos, essas empresas estocam parte da glicerina

excedente, o que pode até paralisar a produção de biodiesel em razão da escassez de capacidade em tanques utilizados para armazenamento de glicerina (OLIVEIRA JÚNIOR, 2022).

Tabela 3 - Preço médio por tonelada de glicerina.

| Produto | Preço Médio por Tonelada (Dólares/Tonelada) |
|-----------------------|---|
| Glicerina Bruta | US\$ 211,92 |
| Glicerina Bidestilada | US\$ 491,79 |

Fonte: Adaptado de Simão e Benigno (2017).

OLIVEIRA *et al.*, (2021) afirma que o aumento na produção de biodiesel levou a um excesso de glicerol bruto como subproduto, tornando um obstáculo na cadeia de produção de biodiesel, o que criou novos desafios para seu uso sustentável. SANTOS e MAZZONETTO, (2021)., enfatiza que há uma grande preocupação do segmento de biodiesel é encontrar soluções que melhor aproveitem a glicerina de biodiesel. Alguns estudos para o aproveitamento da glicerina são apresentados, no entanto, vale destacar que a maioria destes estudos está sendo realizado em laboratório.

Tabela 4 - Pesquisa em andamento com Glicerina

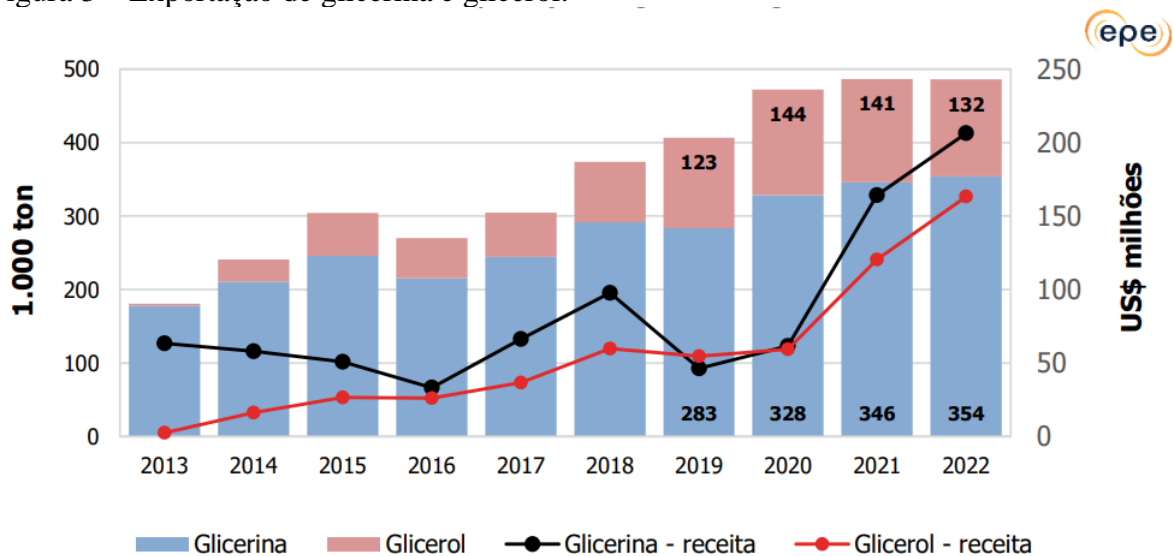
| Local | Pesquisas |
|---------------------|--|
| EUA | - Uso da glicerina bruta como suprimento na ração de galinhas, galletos e porcos. - Preparo de 1,3propanodiol a partir da glicerina por via microbiológica. |
| Alemanha | - Processo de obtenção de acroleína. Serve como gás teste para máscaras de gás. Em altas concentrações tem uso militar |
| Portugal | - Produção de aditivos químicos para gasolina, transformando glicerina em éter. |
| Bahia | - Biogás a partir da glicerina bruta na presença de microrganismos em ambiente anaeróbico. |
| Curitiba | - Produção de aditivos plásticos a partir da glicerina pura. |
| Rio de Janeiro | - Produção de aditivos para gasolina a partir da transformação da glicerina em etanol - Transformação da glicerina em propeno para uso em plásticos, substituindo aditivos de petróleo. |
| Rio Grande do Norte | - Produção de combustível sustentável de aviação (SAF, na sigla em inglês) |

Fonte: Adaptado de Santos e Mazzonetto (2022).

A exportação de glicerina bruta é importante para manter a sustentabilidade da produção de biodiesel, mas não garante que a crescente oferta será suprida, sendo necessário o desenvolvimento de novas tecnologias para a valorização do glicerol (OLIVEIRA JÚNIOR, 2022).

O glicerol é uma classificação para a glicerina refinada, que tem melhores preços no mercado internacional que a glicerina bruta. Em 2022, estima-se que tenham sido produzidas 630 mil toneladas. Já a sua exportação total foi de 354 mil toneladas, ligeiramente superior (2,3%) ao ano anterior. Já a receita obtida com a exportação de glicerina bruta foi de 206,4 milhões de dólares, 25,6% maior do que foi obtido em 2021, devido ao crescimento da demanda no mercado, o que provocou aumento no preço internacional deste produto (EPE, 2023). A figura a seguir demonstra o perfil dos valores de exportação e receitas em dólares que o Brasil obteve com o glicerol e a glicerina.

Figura 3 – Exportação de glicerina e glicerol.



Fonte: Adaptado da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2023).

O número de usinas que estão instalando equipamentos para sua purificação, visando melhores receitas, tem aumentado continuamente. A exportação de glicerol que vinha crescendo desde 2013, decresceu 6,2% em 2022, totalizando 132,1 mil toneladas. A receita somou 163,2 milhões de dólares, 36% superior a 2021 com base nos dados do Ministério da Economia (EPE, 2023).

Tabela 5 - Compilação de alguns trabalhos correlatos

| Título da pesquisa | Autor | Resultados | Lacunhas encontradas |
|---|------------------------------|--|---|
| “Análise e recuperação de falhas executivas em peças de concreto armado fabricadas para torres eólicas” | Dantas, 2022. | Permitiu a compreensão de quais as maiores dificuldades na fabricação desse tipo de torre e a identificação das deficiências executivas, levantando questões para análise de formas de mitigação das falhas encontradas. | <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver uma metodologia que aborde de forma mais detalhada as falhas executivas específicas encontradas nas peças de concreto armado para torres eólicas. • Realizar uma análise mais minuciosa para evitar problemas como a concretagem de peças com insertos em posição inadequada e peças com baixo cobrimento. |
| “Utilização da areia marinha para produção de concreto: estudo de viabilidade” | Cardoso, <i>et al.</i> 2021. | Os ensaios de avaliação da profundidade de carbonatação e da presença de cloretos nos corpos de prova mostraram que nos concretos moldados com areia de mar foi maior a presença de cloretos na forma combinada. | <ul style="list-style-type: none"> • Necessária realização de ensaios complementares visando avaliar a maior eficiência dos insumos em condições mais diversas. • Além do aprimoramento nas etapas de coleta dos insumos de modo a tornar seu uso industrialmente aplicável. |
| “Avaliação do extrato de <i>Morinda citrifolia</i> L. como inibidor de corrosão do aço carbono ASTM A178 em meios ácidos” | Santos, 2020. | Mostraram-se que inibidor verde possui potencial como inibidor de corrosão para o aço carbono ASTM A178 em meios ácidos. Os dados obtidos foram analisados e comparados com um inibidor comercial, benzotriazol. | <ul style="list-style-type: none"> • Realizar estudos comparativos entre o extrato de <i>Morinda Citrifolia</i> L. e outros inibidores naturais para avaliar sua eficácia e viabilidade • Investigar se o inibidor verde mantém sua eficácia em diferentes condições de teste. |
| “Avaliação preliminar de inibidores verdes no controle da corrosão de aço carbono em meio ácido” | Silva, <i>et al.</i> 2018. | A ação inibidora ocorreu tanto no ramo anódico e catódico, demonstrando que os extratos aquosos atuaram como inibidores mistos. | <ul style="list-style-type: none"> • Avaliar a ação inibidora dos extratos estudados não somente em HCl, mais em outros diferentes concentrações e meios. • Testar outros extratos para analisar o comportamento. |

Fonte: Autor (2023).

3. ESTADO DA ARTE

O estudo de Dantas em 2022 focou nas dificuldades encontradas na fabricação de torres eólicas de concreto armado. Ele identificou deficiências executivas e propôs questões para mitigar as falhas. As lacunas apontadas incluem o desenvolvimento de uma metodologia detalhada para abordar as falhas específicas e uma análise mais rigorosa para evitar problemas como posicionamento inadequado de insertos e cobrimento insuficiente nas peças de concreto.

A pesquisa de Cardoso *et al.* 2021., que avaliou o uso de areia marinha na produção de concreto, trouxe à tona importantes considerações sobre a eficiência e a viabilidade desse insumo. Os testes revelaram uma maior presença de cloretos combinados nos concretos com areia marinha, o que pode ter implicações significativas para a durabilidade e a resistência do concreto. Isso sugere que, embora a areia marinha possa ser uma alternativa potencialmente sustentável à areia de rio na produção de concreto, é necessário um entendimento mais profundo de suas propriedades e impactos. As lacunas destacadas na pesquisa indicam a necessidade de ensaios complementares para avaliar a eficiência dos insumos em condições variadas. Além disso, é crucial aprimorar a coleta dos insumos para garantir que a areia marinha possa ser usada de maneira eficaz e segura na indústria do concreto.

Os estudos de Santos (2020) e Silva e colaboradores (2018) abordam uma área de pesquisa importante: o uso de inibidores verdes na prevenção da corrosão do aço carbono em ambientes ácidos. Ambos os estudos destacam o potencial dos inibidores verdes como uma alternativa sustentável aos inibidores comerciais. O estudo de Santos (2020) focou no extrato de *Morinda citrifolia* L. e descobriu que ele tem potencial como inibidor de corrosão. No entanto, o estudo também aponta para a necessidade de mais pesquisas, incluindo estudos comparativos com outros inibidores naturais e testes em diferentes condições para verificar a eficácia do inibidor.

Da mesma forma, o estudo de Silva *et al.* 2018., também analisou inibidores verdes, descobrindo que os extratos aquosos atuam como inibidores mistos, afetando tanto os processos anódicos quanto catódicos. Este estudo também sugere a necessidade de avaliar os extratos em diferentes concentrações e ambientes, além de testar outros extratos para análise comportamental. Esses estudos destacam a importância da pesquisa contínua nesta área. A corrosão do aço carbono é um problema significativo em muitas indústrias, e a descoberta de inibidores de corrosão eficazes e ecologicamente corretos pode ter um impacto substancial. No entanto, também é claro que mais pesquisas são necessárias para entender completamente o potencial e as limitações desses inibidores verdes.

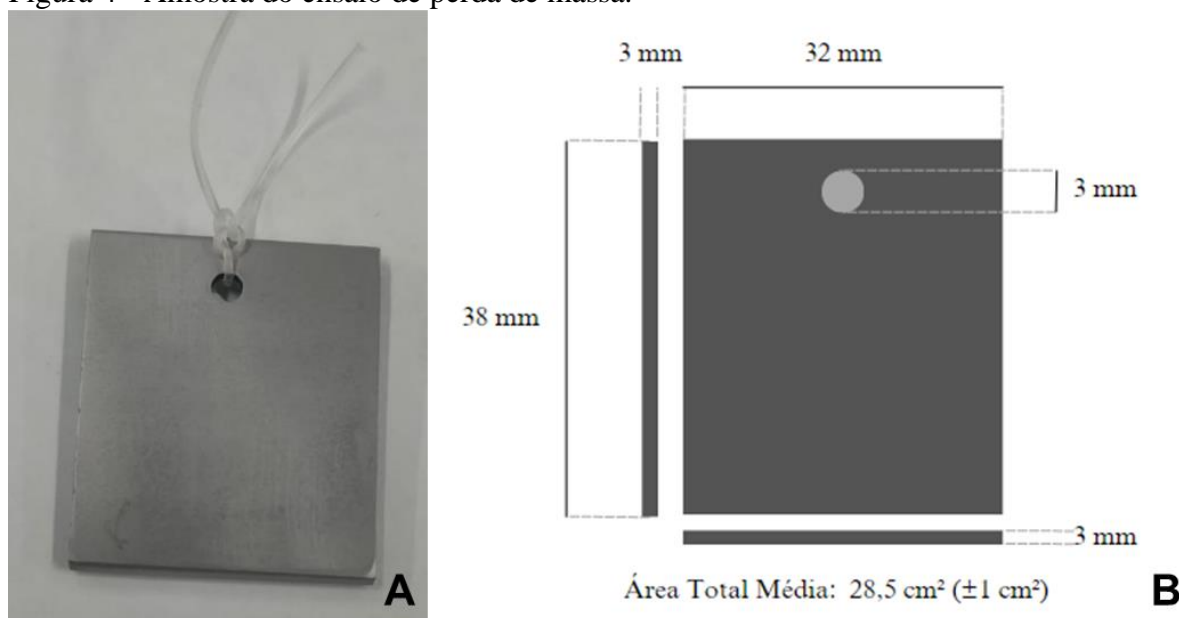
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. PREPARO DOS CORPOS DE PROVA METÁLICOS

Os corpos de prova (CP's) utilizados foram preparados no Laboratório de Materiais, LMAT do Instituto Federal do Ceará - *Campus* de Maracanaú e no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal do Ceará - *Campus* de Fortaleza.

As amostras confeccionadas para o ensaio de perda de massa foram preparadas no Laboratório de Materiais, LMAT, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - *Campus* de Maracanaú. As amostras foram cortadas usando uma serra de fita vertical automatizada e posteriormente lixadas na seguinte ordem de tamanho de grão: 100, 220, 320, 400 e 600 mesh. Utilizando uma furadeira e uma broca de 3 mm de diâmetro, foi realizado um furo no canto superior central de cada corpo de prova. Esse furo foi feito com o propósito de permitir a fixação de um fio de nylon, que seria utilizado para amarrar os corpos de prova em um suporte, mantendo-os suspensos na solução durante a realização do ensaio de perda de massa (Figura 4).

Figura 4 - Amostra do ensaio de perda de massa.



Legenda: (A) Amostra metálica real; (B) Dimensões. Fonte: Autor (2023).

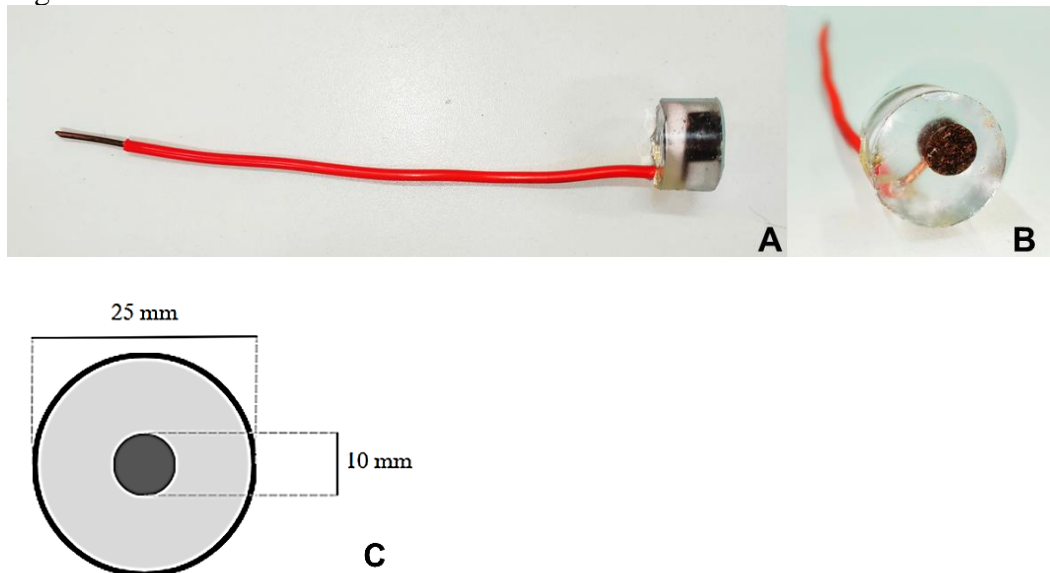
No processo de obtenção dos eletrodos de trabalho para os ensaios eletroquímicos, foi realizado o corte transversal em uma barra cilíndrica de aço carbono SAE 1020 utilizando uma cortadeira metalográfica da marca Teclago. A partir dessa seção da amostra, foram obtidas

peças circulares com uma área aproximada de $0,5 \text{ cm}^2$, que seriam utilizadas como corpos de prova nos ensaios.

As componentes em questão foram meticulosamente acopladas a um condutor de cobre revestido, empregando um molde de formato cilíndrico e uma resina epóxi, enriquecida com a introdução de um catalisador. O aprimoramento da superfície foi efetuado utilizando abrasivos de variadas granulometrias, seguindo a sequência específica: 100, 220, 320, 400 e 600 mesh.

A delimitação da área superficial do metal destinada aos testes eletroquímicos foi estabelecida através da aplicação de um verniz incolor na intersecção entre a resina e o metal. A Figura 5 ilustra um dos eletrodos de trabalho empregados neste estudo científico.

Figura 5 - Eletrodo de trabalho.



Legenda: (A) Vista lateral; (B) Vista Frontal; (C) Dimensões. Fonte: Autor (2023).

O ensaio de composição química da amostra de aço foi feito por meio de espectrometria de emissão óptica, este é um método amplamente utilizado para determinar a composição química de amostras metálicas. O aço SAE 1020 apresenta notória aplicação nas mais variadas atividades e setores do dia a dia da construção civil e da indústria em geral como um todo. O aço apresenta uma ótima relação de custo benefício, além de excelentes propriedades cruciais para este tipo de material, tais como plasticidade e soldabilidade (COSTA, 2019).

4.2. PREPARO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS CIMENTÍCIOS

Os corpos de prova utilizados nos ensaios de resistência a compressão e de penetrabilidade de íons cloretos foram preparados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - *Campus* de Fortaleza. A preparação da argamassa foi desenvolvida como parte de um processo padronizado que se resume à mistura dos ingredientes água, cimento, areia para as amostras controle (branco) e amostras com água, cimento, areia com a adição de glicerina 5%.

Os moldes são feitos de aço e são quimicamente inertes aos componentes da argamassa ou do concreto. O ângulo formado pela base é de $(90 \pm 0,5)^\circ$. Quanto à moldagem e cura, a norma prescreve um procedimento específico para a moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto. Isso inclui a preparação do concreto, o adensamento, a preparação do molde com óleo mineral ou lubrificante, o rasamento da superfície da amostra no molde, e a colocação da amostra no molde com uma concha em U.

O processo de fabricação das amostras foi realizado de acordo com as normas NBR 5738: e NBR 7215:2019, onde os corpos de prova cilíndricos têm 28 dias de cura (secagem) e dimensões 100 mm de altura e 50 mm de diâmetro. Após o período de secagem o ensaio de resistência a compressão, carbonatação e penetrabilidade de íons foram executados.

Para o ensaio de penetrabilidade de íons cloretos os corpos de prova cilíndricos devem ficar submersos em solução salina de NaCl 3,5% por mais 7 dias, as amostras posteriormente foram cortadas longitudinalmente e, em seguida, foi aplicada uma solução de nitrato de prata (AgNO_3) 0,1 mol/L para verificar a penetrabilidade dos íons patológicos.

Figura 6 - Corpos de prova cilíndricos cimentícios.



Fonte: Autor (2023).

4.3. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

4.3.1. Determinação da granulometria do agregado miúdo (NBR 17054/2022)

A granulometria é uma característica fundamental dos agregados miúdos, que pode influenciar significativamente o comportamento dos materiais de construção. Depois do tratamento inicial, a amostra é peneirada em uma série de peneiras de malha quadrada, com aberturas de tamanho conhecido, dispostas em ordem decrescente de tamanho. A NBR 17054 especifica as aberturas das peneiras a serem usadas.

Amostras do agregado foram coletadas conforme NBR 16915:2021, umedecidas e cuidadosamente misturadas, e testadas em duas amostras distintas, sendo que cada uma atendeu aos valores especificados na norma. As duas amostras foram secas em estufa, depois resfriadas à temperatura ambiente, e valores das massas m_1 e m_2 foram medidas. O processo começa com a colocação da amostra na peneira superior de um conjunto de peneiras.

Em seguida, o conjunto é agitado para que o agregado possa passar pelas peneiras. À medida que o ensaio prossegue, o material que fica retido em cada peneira é pesado. Esses pesos são registrados para cada peneira, permitindo o cálculo da massa da amostra retida. O mesmo procedimento descrito foi realizado na segunda amostra. Com esses dados, é possível elaborar o gráfico da curva granulométrica. Para a confecção do gráfico, a porcentagem em massa de material retido em cada peneira é calculada em relação à massa total da amostra. Assim, é possível correlacionar a distribuição de tamanhos dos grãos na amostra.

Figura 7 - Insumos para caracterização do agregado miúdo



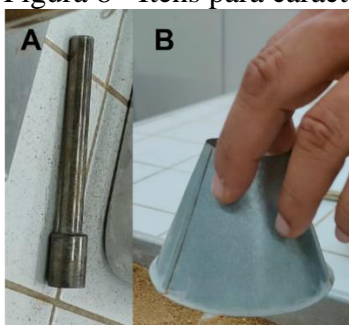
Legenda: (A) Bandeja com o agregado miúdo; (B) Conjunto de peneira normatizadas. Fonte: Autor (2023).

4.3.2. Determinação da massa unitária do agregado miúdo (NBR 16972/2021)

A massa unitária é o peso do material por unidade de volume, incluindo os espaços vazios entre as partículas. É uma característica importante, pois influencia diretamente na quantidade de material que será necessária para uma determinada obra, além de afetar a resistência e a durabilidade do concreto ou argamassa produzidos com esse agregado.

O ensaio para determinar a massa unitária é feito da seguinte forma, o material é colocado em um recipiente de volume conhecido, sem compactá-lo. O recipiente é preenchido até a borda e em seguida, o recipiente cheio é pesado e o peso do recipiente vazio é subtraído para obter a massa do agregado. Por fim, a massa do agregado é dividida pelo volume do recipiente, obtendo-se assim a massa unitária. Para fazer o método compactado, o tronco de cone normatizado, foi despejado o material na altura determinada e com a haste foi aplicado golpes para que o agregado miúdo pudesse atingir o fundo do recipiente e adensar em torno do tronco de cone.

Figura 8 - Itens para caracterização do agregado miúdo



Legenda: (A) Haste para compactação; (B) Tronco de cone. Fonte: Autor (2023).

4.3.3. Determinação da massa específica agregado miúdo (NBR 16916/2021)

A massa específica, também conhecida como densidade, é a relação entre a massa de uma quantidade de material e o volume que essa quantidade ocupa. Este ensaio tem como objetivo garantir a qualidade do material, a economia na construção e a durabilidade e resistência das estruturas construídas com esse material. Logo, sua finalidade é determinar a densidade do material, que é uma característica importante para o cálculo da quantidade de material necessário para uma obra, para o dimensionamento de misturas de concreto ou argamassa, e para a verificação da qualidade do material.

Antes de cada ensaio utilizando as duplicatas foram separadas, com massas de 500,35g e 500,06g de amostra de agregado respectivamente para cada uma das duas baterias do ensaio. Em seguida para o ensaio, foram pesadas duas amostras de areia, cada uma pesando 50 gramas, a qual foram pré-secadas em estufa pelo período de 24 horas. Encheu-se o picnômetro até o limite onde há o menisco com água e fazendo a retirada das bolhas de ar. Mediu-se a massa de água do conjunto picnômetro-água. Para finalizar o procedimento, fez-se a retirada da água do frasco, e posteriormente colocou-se a amostra de areia nele, fez-se a retirada das bolhas de ar e em seguida a medição da massa final do conjunto picnômetro-água-areia (Figura 9).

Figura 9 - Etapas das pesagens do picnômetro



Fonte: Autor (2023).

Diferente da massa unitária, a massa específica não considera os espaços vazios entre as partículas do material. O ensaio para determinar a massa específica é feito da seguinte maneira: Primeiro, uma amostra do material é colocada em um recipiente de volume conhecido, que é então preenchido com água. Em seguida, o recipiente é pesado e o peso do recipiente vazio e da água são subtraídos para obter a massa do agregado. Por fim, a massa do agregado é dividida pelo volume do recipiente, obtendo-se assim a massa específica.

4.3.4. Determinação de teor de material pulverulento (NBR 16973/2021)

O material pulverulento é composto por partículas muito finas que podem estar presentes no agregado miúdo. Essas partículas podem afetar a qualidade do concreto ou da argamassa, pois podem alterar a quantidade de água necessária para a mistura, a resistência e a durabilidade do material.

Vários fatores podem afetar esse comportamento do solo, inclusive a quantidade de material pulverulento. De acordo com a NBR 7219, materiais pulverulentos são partículas minerais com tamanho inferior a 0,075 mm presentes em agregados, incluindo materiais solúveis em água. Os materiais em pó reduzem a adesão dos agregados à pasta ou à argamassa,

afetando diretamente a resistência e a instabilidade dimensional da argamassa ou do concreto produzido com alto teor de materiais em pó.

Para determinar o teor de material pulverulento, uma amostra do material é passada por uma malha de uma peneira específica para separar as partículas pulverulentas. Em seguida, as partículas que passaram pela peneira são pesadas. Por fim, o peso das partículas pulverulentas é dividido pelo peso total da amostra, obtendo-se assim o teor de material pulverulento.

4.3.5. Determinação de teor de argilas e torrões (NBR 7218/2010)

Argilas e torrões são partículas indesejáveis presentes nos agregados miúdos pois, podem afetar a qualidade e a resistência do concreto ou da argamassa produzidos com esses materiais. Essas partículas podem causar problemas como redução da trabalhabilidade, diminuição da resistência mecânica e aumento da absorção de água. De maneira simples para esse ensaio é executado de maneira em que uma amostra do agregado miúdo é peneirada em uma malha específica para separar as partículas de argilas e torrões. As partículas retidas na peneira são pesadas. E o peso das partículas de argilas e torrões é dividido pelo peso total da amostra, obtendo-se assim o teor de argilas e torrões.

Fez-se a secagem prévia do material em estufa (105 ± 5 °C), foi determinado a composição granulométrica conforme NBR 17054/2022. Logo, o agregado miúdo que passou na peneira 4,8 mm e ficou retido na 1,2 mm, é amostra necessária para dar continuidade ao ensaio referente a NBR 7218 de 2010 (para cada amostra separou-se uma massa de 200 gramas do material) dessa maneira o mesmo foi executado duas vezes para garantir a média entre eles. Na sequência, espalhou-se a massa de amostra em bandejas apropriadas, de maneira a formar uma camada fina.

Na sequência identificou-se as partículas com aparência de torrões de argila ou materiais friáveis e fez-se pressionar entre os dedos, de modo a desfazer (quebrar). Em seguida, transferiu-se a massa de amostra, as bandejas para as peneiras com abertura indicadas na tabela da norma. Procedeu-se ao peneiramento para remoção das partículas de argila e materiais friáveis, agitando com as mãos cuidadosamente sem perder parte da amostra.

4.3.6. Determinação de impurezas orgânicas (NBR NM 49/2001)

A presença de impurezas orgânicas em argamassas ou concretos pode ter um impacto significativo em suas propriedades e desempenho. As impurezas orgânicas, como resíduos de óleos, gorduras, ácidos graxos e outros compostos, podem afetar a aderência, a resistência e a durabilidade desses materiais.

Por exemplo, a presença de impurezas orgânicas pode reduzir a aderência entre a argamassa ou o concreto e outros materiais, como o aço, comprometendo a integridade estrutural. Além disso, essas impurezas podem causar eflorescência, manchas e até mesmo a deterioração prematura do material.

Portanto, a realização de ensaios para detectar e quantificar impurezas orgânicas é essencial para garantir a qualidade e a durabilidade das argamassas e concretos, bem como para prevenir problemas futuros em estruturas e construções.

Esse ensaio estabelece o método para determinação de impurezas orgânicas em areias para argamassa e concreto, na qual é baseado na comparação da cor de uma solução extraída da areia com a de uma série de padrões de cor. A amostra de areia seca em estufa a uma temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ até atingir massa constante. Após a secagem, a amostra é resfriada e pesada.

Preparou-se as soluções (Solução de hidróxido de sódio a 3% e Solução padrão de ácido tânico a 2%) com antecedência e em quantidade suficiente para vários ensaios. As soluções foram devidamente identificadas e estocadas em frascos de vidro escuro e em local protegido da luz antes de realizar os ensaios.

As amostras de areia seca são colocadas em um frasco de vidro de 250 ml. Adiciona-se 100 ml de solução preparada e agitou-se vigorosamente durante 2 minutos. Em seguida a solução é deixada em repouso por 24 horas.

Após o período de repouso, a cor da solução é comparada com a de uma série de padrões de cor. A cor da solução indica a presença e a quantidade de impurezas orgânicas na amostra de areia.

4.3.7. Determinação do inchamento de agregado miúdo (NBR 6467/1987)

Um procedimento utilizado para avaliar a expansão volumétrica de agregados miúdos quando submetidos à ação da água. Importante para verificar a estabilidade dimensional dos agregados e sua capacidade de resistir a mudanças de volume. A capacidade de reter água é características que o agregado miúdo tem, por isso, ao preparar argamassas e concretos tem-se essa preocupação com esse detalhe, em que o agregado é representado por volume, é importante considerar o inchamento causado pela absorção de água em função da granulometria, que pode variar de 20 a 40%.

O inchamento varia com a umidade e, conhecendo a curva de inchamento (inchaço em função da umidade), basta determinar a umidade para obter essa característica. De um modo geral, a tensão superficial do filme de água aumenta a bolha, os grãos de areia se separam. Após uma certa umidade, a água tomará conta e os grãos cairão por consolidação.

4.6.8. Confeção dos corpos de prova de argamassa para o ensaio da NBR 7215/2019

Os corpos de prova utilizados foram preparados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - *Campus* de Fortaleza.

O processo de fabricação das amostras foi realizado de acordo com a norma NBR 7215:2019, que define os parâmetros adequados para controlar a resistência à compressão do cimento Portland em uma mistura de argamassa. Este ensaio é realizado em laboratório, onde são preparados corpos de prova cilíndricos que são submetidos a uma carga de compressão até que ocorra a ruptura.

A resistência à compressão é então calculada dividindo a carga máxima suportada pelo corpo de prova pela área de seção transversal sobre a qual a carga foi aplicada. O método consiste em determinar a resistência de corpos de prova cilíndricos medindo 100 mm de altura e 50 mm de diâmetro. Para a realização das amostras, foram necessários uma balança com resolução de 0,1 g, agitação mecânica, moldes, bico, óleo antiaderente e acessórios completos em forma de espátulas e escovas.

A preparação da argamassa foi desenvolvida como parte de um processo padronizado que se resume à mistura dos ingredientes água, cimento, areia para as amostras controle (branco) e amostras com água, cimento, areia mais a adição de glicerina. A resistência à compressão é uma das propriedades mais importantes do concreto e da argamassa, pois é a

partir dela que se determina a capacidade da estrutura de suportar as cargas a que será submetida.

Foram preparadas quatro argamassas diferentes, as três primeiras com um teor de adição 5%, 10% e 15% do volume de cimento de glicerina respectivamente, denominada de argamassas modificadas, e uma outra com um teor de 0% do volume de cimento de glicerina, denominada de argamassa controle. Para cada tipo de argamassa foram preparados quatro corpos de prova para o ensaio. Para confecção da areia normal utilizada nesse ensaio foram misturadas quatro frações de areais com diferentes granulometrias de acordo com a tabela da norma NBR 7215:2019. Segue a tabela abaixo.

Tabela 6 - Composição das frações de material para confecção de areia normal.

| Areia Normal | |
|---------------------------|---------------------------------|
| Material | Massa para a mistura (g) |
| Areia Fração Grossa | 468 ± 0,3 |
| Areia Fração Média Grossa | 468 ± 0,3 |
| Areia Fração Média Fina | 468 ± 0,3 |
| Areia Fração Fina | 468 ± 0,3 |

Fonte: Autor (2023).

A mistura das argamassas foi realizada conforme a norma e a mistura da glicerina na pasta foi de forma mecânica, direto na mistura úmida da argamassa (areia, cimento e água). Segue a baixo a tabela com o quantitativo de insumos presentes nas argamassas.

Depois de preparadas as argamassas, os corpos de provas foram moldados conforme as normativas para o ensaio. Após 28 dias de cura, no estado endurecido, foram realizados os testes de determinação da resistência à compressão no equipamento de prensa hidráulica modelo EEQ9275 Eduotec.

Tabela 7 - Composição da argamassa de referência e a argamassa modificada.

| Tipo da argamassa | Cimento (g) | Água (g) | Areia (g) | Gliceirina (%) |
|--------------------------|--------------------|-----------------|------------------|-----------------------|
| Controle | 624 | 300 | 1872 | 0 |
| Modificada 01 | 624 | 300 | 1872 | 5 |
| Modificada 02 | 624 | 300 | 1872 | 10 |
| Modificada 03 | 624 | 300 | 1872 | 15 |

Fonte: Autor (2023).

4.4. ENSAIO DE PERDA DE MASSA

O ensaio de perda de massa seguiu os procedimentos normatizados para preparo de amostras, remoção de produtos de corrosão e determinação da massa final e taxa de corrosão. As dimensões dos corpos de prova foram de, aproximadamente, 50 mm x 25 mm x 3 mm, de acordo com a norma ASTM G31(2021). O procedimento foi realizado em balança analítica. As medidas foram realizadas em triplicata e o valor médio foi considerado como a massa inicial da amostra.

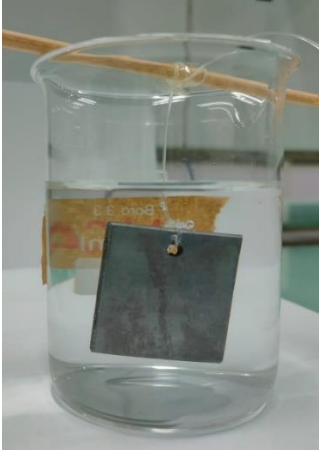
A perda de massa foi avaliada de forma gravimétrica, utilizando-se uma balança analítica de alta precisão com uma resolução de 0,0001 g da marca Radwag. Os ensaios foram conduzidos em triplicata, ao longo de um período total de análise de 240 horas. A cada intervalo de 24 horas, os corpos de prova foram removidos da solução e submetidos a uma limpeza mecânica, na qual suavemente escovamos a superfície metálica com uma escova de cerdas flexíveis para remover quaisquer produtos de corrosão incrustados. Em seguida, as amostras foram submetidas a uma limpeza química, por meio da imersão em uma solução de Clark (HCl, Sb₂O₃ e SnCl₂) durante 20 segundos.

Após esse processo, as amostras foram lavadas com água e álcool P.A, secas com jato de ar quente, pesadas novamente e imersas novamente nas soluções em estudo. A limpeza química tem como objetivo a remoção de materiais presentes na superfície da amostra por dissolução em uma solução química adequada, utilizando solventes como acetona e álcool para remover óleos, graxas ou resinas que possam estar presentes na superfície das amostras.

A fim de evitar que os corpos de prova entrassem em contato com o fundo do recipiente, eles foram suspensos em uma linha de náilon, que foi fixada em um suporte de madeira, conforme exemplificado na Figura 10. Para minimizar as perdas por evaporação e manter o volume da solução praticamente constante ao longo do ensaio, o sistema montado foi envolvido com filme PVC. O cálculo do volume das soluções foi realizado de acordo com a norma ASTM G31, que estabelece uma proporção mínima de 0,20 mL de solução por mm² de área da amostra.

Foi realizada uma avaliação do efeito inibidor da glicerina em três meios corrosivos distintos: HCl (0,1 mol.L⁻¹), H₂SO₄ (0,1 mol.L⁻¹) e NaCl (3,5%), em condições de temperatura ambiente. Os corpos de prova foram submersos em béqueres contendo aproximadamente 500 mL das soluções em análise, tanto na ausência quanto na presença (5%) de glicerina.

Figura 10 - Ensaio de perda de massa.



Fonte: Autor (2023).

A perda de massa relativa (Δm), foi calculada a partir da Equação 08.

$$\Delta m (\%) = [(m_i - m_f) / m_0] \times 100 \quad \text{Eq. (08)}$$

Considerando m_i como o valor da massa do corpo de prova no início do teste ($t = 0$ h) e m_f como o valor da massa após um determinado período de imersão, podemos observar a variação das massas ao longo do tempo.

A determinação da taxa de corrosão (TC) foi realizada seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma ASTM G1 (2021), utilizando a Equação 09 para o cálculo:

$$TC = (K \times W) / (A \times T \times D) \quad \text{Eq. (09)}$$

A determinação da constante K para a taxa de corrosão depende da unidade desejada para a medição. Nesse contexto da pesquisa que utilizaremos será de milímetro por ano (mm/y), K é uma constante que leva em consideração o tempo de exposição (T) em horas, a área (A) em centímetros quadrados, a perda de massa (W) em gramas e a densidade (D) em gramas por centímetro cúbico. No caso específico do aço carbono, a densidade (D) é igual a 7,86 g/cm³.

Para calcular a eficiência de inibição (IE), foi utilizada a Equação 10 (Fernandes, 2016):

$$IE (\%) = [(TC_0 - TC) / TC_0] \times 100 \quad \text{Eq. (10)}$$

A diferença entre TC_0 e TC representa as taxas de corrosão, respectivamente, na ausência e na presença de um inibidor durante o mesmo intervalo de tempo.

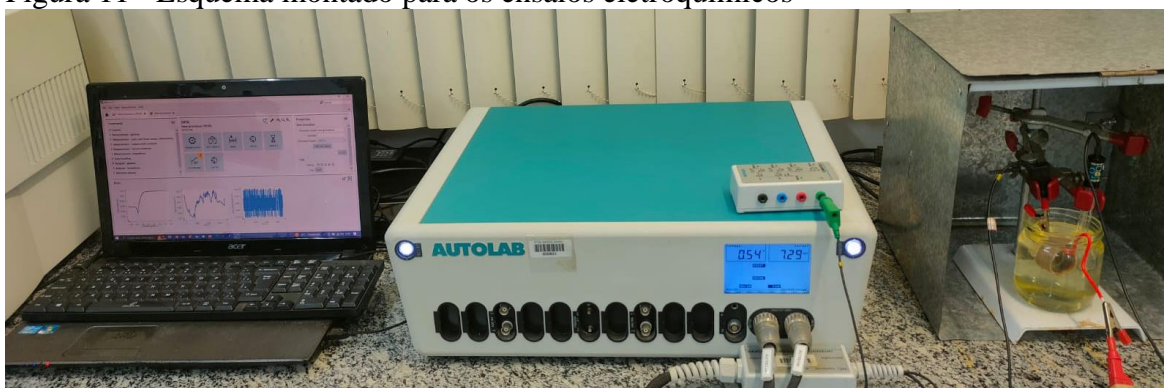
4.5. ENSAIOS ELETROQUÍMICOS

4.5.1. Preparação das soluções

A solução padrão de NaCl 3,5% é utilizada para determinar a resistência de um material à corrosão localizada em condições semelhantes às da água do mar, já as soluções de H₂SO₄ e HCl 0,1 M respectivamente enquanto o uso de soluções NaCl 3,5%, H₂SO₄ 0,1 M e HCl 0,1 M ambas com adição de 5% de glicerina objetivou verificar o comportamento do aditivo como inibidor de corrosão para os ensaios de perda de massa.

Para os ensaios de perda de massa e os ensaios eletroquímicos, todas as soluções foram preparadas no Laboratório de Química Analítica e Microbiologia Ambiental – LAQAMB do Instituto Federal Do Ceará *Campus* Maracanaú (LAQAMB -IFCE) e o local da realização dos ensaios eletroquímicos de potencial de circuito aberto (OCP), polarização potenciodinâmica e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) foram no Laboratório de Inspeção e Análise de Falhas – LIAF do Instituto Federal Do Ceará *Campus* Maracanaú (LIAF-IFCE).

Figura 11 - Esquema montado para os ensaios eletroquímicos

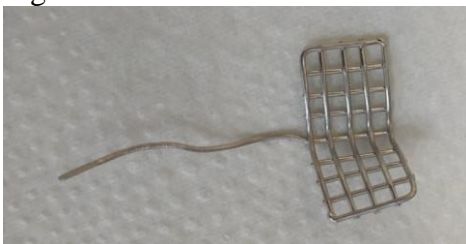


Fonte: Autor (2023).

Os ensaios eletroquímicos experimentos foram realizados utilizando um potenciostato / galvanostato Autolab modelo PGSTAT128N da Metrohm ® e o software Nova®2.1.5 para obtenção e análise dos dados e para aumentar a confiabilidade dos resultados da análise, foram realizadas em triplicata em temperatura ambiente (25°C).

Para os ensaios foi utilizado uma célula convencional de três eletrodos. Como eletrodo de referência foi utilizado um eletrodo Ag/AgCl_{sat} e como contra eletrodo uma tela de platina com área cerca de três vezes maior do que a área do eletrodo de trabalho.

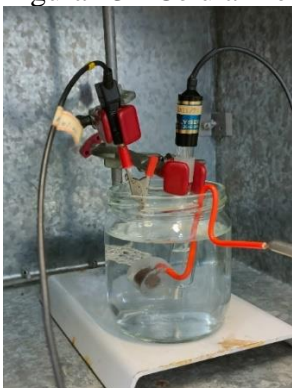
Figura 12 – Contra Eletrodo de Platina



Fonte: Autor (2023).

O eletrodo de trabalho escolhido foi o aço carbono SAE 1020, que foi preparado de acordo com o procedimento mencionado anteriormente (item 4.1). O eletrodo foi lixado utilizando um equipamento politriz da Arotec® com lixa d'água de granulometrias variando de 100 a 600. Em seguida, foi lavado com água corrente, álcool e seco com um jato de ar quente. Por fim, o eletrodo foi imerso na célula eletroquímica (Figura 13).

Figura 13 - Célula Eletroquímica.



Fonte: Autor (2023).

4.5.2. Ensaio de potencial de circuito aberto (OCP)

O Ensaio de Potencial de Circuito Aberto (OCP, do inglês Open Circuit Potential) é um método utilizado para medir o potencial elétrico de um eletrodo que não está conectado a nenhum circuito. Em outras palavras, é o potencial elétrico de um eletrodo em um estado de equilíbrio, onde não há corrente fluindo para o eletrodo.

O potencial de circuito aberto pode fornecer informações sobre a taxa de corrosão de um metal e a eficácia de inibidores de corrosão. O OCP é medido deixando o eletrodo em questão em contato com o eletrólito (a solução na qual o eletrodo está imerso) por um período de tempo até que o potencial se estabilize.

4.5.3. Polarização potenciodinâmica

O ensaio eletroquímico de polarização potenciodinâmica é uma técnica usada para avaliar a resistência à corrosão de materiais metálicos. Ele envolve a aplicação de corrente elétrica e variação controlada do potencial elétrico para medir a taxa de corrosão do material em diferentes condições. Essa técnica é importante para determinar a resistência à corrosão dos materiais em ambientes agressivos e para avaliar a eficácia de inibidores de corrosão.

O ensaio é amplamente utilizado na indústria para avaliar a eficácia de revestimentos protetores, como pinturas e galvanização, na prevenção da corrosão. Ele também é útil para estudar a influência de diferentes parâmetros, como pH, temperatura e concentração de íons, na corrosão de metais. Com base nos resultados obtidos, é possível tomar medidas preventivas para proteger os metais contra a corrosão e prolongar sua vida útil.

4.5.4. Ensaio de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE)

Esta técnica baseia-se em um princípio de identificação e determinação de parâmetros, onde tais parâmetros pertencem a um modelo elaborado, baseado na resposta de frequência do sistema eletroquímico estudado. Nestes experimentos, geralmente é utilizado um potenciostato acoplado a interface eletroquímica, onde este mede a resposta da corrente do sistema, conforme a frequência de um sinal de entrada é alterado (COSTA, 2019).

Esta técnica permite simular a formação da dupla camada eletroquímica e avaliar a cinética de corrosão, bem como os fenômenos interfaciais que ocorrem no metal quando este se encontra em contato com o meio eletrolítico. Nesta técnica, o valor de impedância (Z) é representado por um número complexo, isto é, formado por uma parte real (Z') e uma parte imaginária (Z'') (LIMA, 2020). A determinação da eficiência de inibição (IE) foi realizada utilizando a Equação 11 fornecida.

$$\%IE = [(R_{ct}^i - R_{ct}^0) / R_{ct}^i] \times 100 \quad \text{Eq. (11)}$$

Os valores da resistência à transferência de carga na presença (R_{ct}^i) e na ausência (R_{ct}^0) do inibidor foram utilizados para o cálculo da eficiência de inibição. Além disso, a capacitância da dupla camada (C_{dl}) foi determinada por meio da seguinte equação 12:

$$C_{dl} = 1 / (2\pi f_{max} R_{ct}) \quad \text{Eq. (12)}$$

A frequência na qual a componente imaginária da impedância atinge seu valor máximo é representada por f_{max} .

4.5.5. Parâmetros e condições dos ensaios eletroquímicos

Antes de cada experimento de polarização e espectroscopia de impedância eletroquímica, o eletrodo de trabalho ficava imerso nas soluções para garantir a estabilidade do sistema, um procedimento implementado em 3600 segundos para realizar a medida do potencial de circuito aberto (OCP). No teste de impedância, a frequência aplicada varia de 100000 Hz a 0,0025 Hz com amplitude de perturbação de 10 mV (RMS), 10 pontos/década. Posteriormente a montagem do circuito equivalente é gerada em um software portátil com o aparelho, e em seguida os valores obtidos no experimento são transferidos para o software Origin® para processamento e análise estatística.

A varredura teve início no potencial de corrosão de cada aço até atingir os potenciais de transpassivação (E_{trans}) ou potencial de (E_{pite}). Para testes de polarização potenciodinâmica sob a influência do fluxo, uma taxa de varredura aplicada de $1 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ e sobretensões anódica e catódica de +200 e -200 mV, respectivamente, foram correlacionadas com o OCP obtido em cada experimento. As curvas de polarização foram obtidas a partir da varredura do potencial de OCP à temperatura de $\pm 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, levando em consideração a variação da densidade de corrente durante o procedimento.

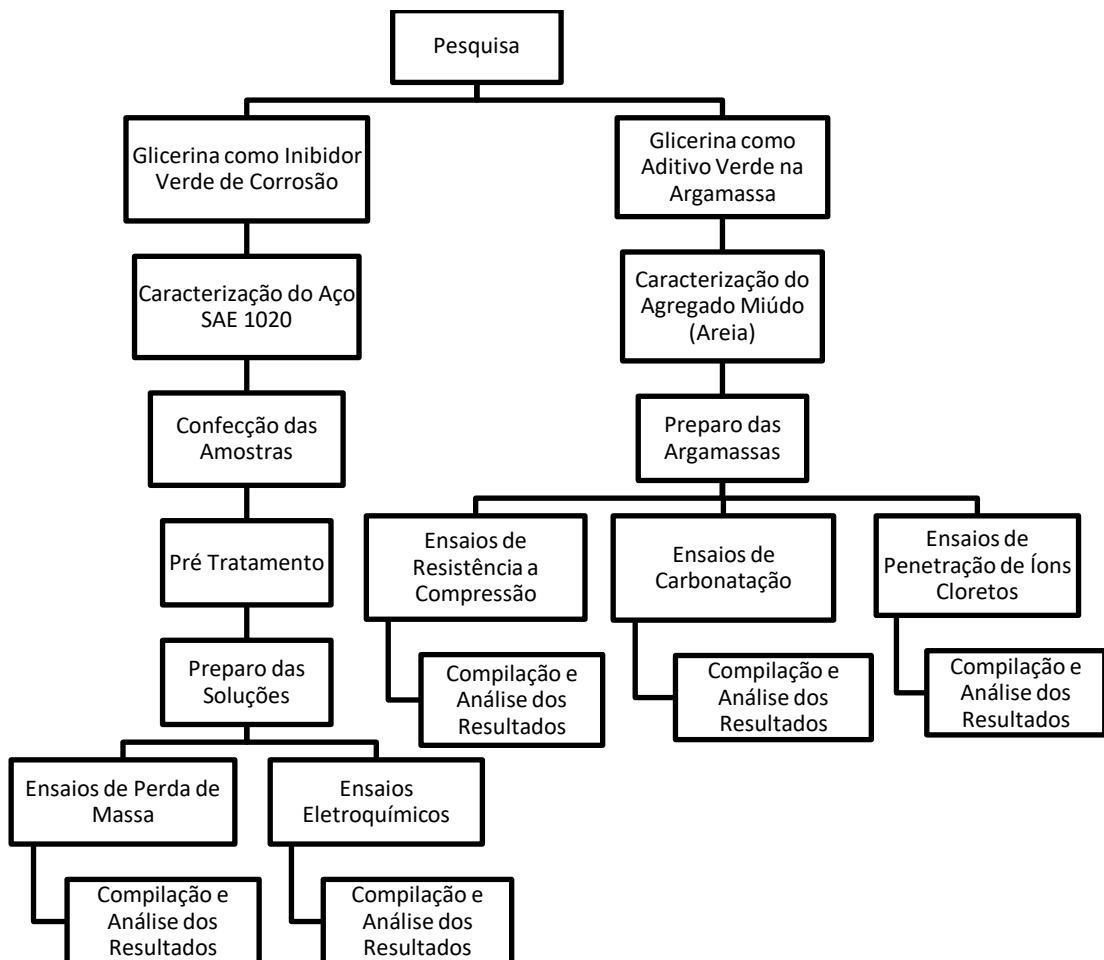
Para evitar a contaminação química da solução durante o experimento devido à possível dissolução de alguns materiais, toma-se o cuidado de utilizar materiais que não influenciam nos resultados, bem como todos os cuidados no manuseio dos equipamentos durante todo o ensaio que ficam em contato com o eletrólito. Para assegurar a reprodutibilidade, cada ensaio foi realizado três vezes. Além disso, todos os potenciais mencionados neste estudo são expressos em relação ao eletrodo $\text{Ag}/\text{AgCl}_{\text{sat}}$.

A metodologia adotada nesta pesquisa envolveu diversas etapas, conforme apresentado no fluxograma. Inicialmente, foi realizado o estudo da glicerina como inibidor de corrosão em aço SAE 1020, incluindo a caracterização do material metálico. Em paralelo, foi feita a caracterização do agregado miúdo (areia) para posterior uso em argamassas. Após a etapa de caracterização, foram confeccionadas as amostras e realizado o pré-tratamento necessário. Em

seguida, foram preparadas as soluções a serem utilizadas nos ensaios, considerando as especificações de cada teste a ser realizado.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão, carbonatação, penetração de íons cloretos, perda de massa e ensaios eletroquímicos de potencial de circuito aberto, polarização potenciodinâmica e impedância eletroquímica. Ao final de cada ensaio, os resultados foram compilados e analisados minuciosamente, a fim de avaliar o desempenho da glicerina como inibidor de corrosão e aditivo na argamassa. Essa abordagem metodológica permitiu uma avaliação abrangente e detalhada dos efeitos da glicerina nos materiais estudados, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre o uso sustentável de aditivos e inibidores na construção civil.

Figura 14 - Fluxograma das metodologias.



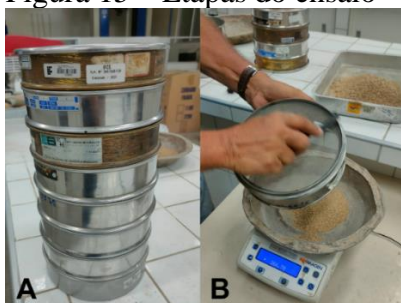
Fonte: Autor (2023).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1.1. Determinação da granulometria do agregado miúdo (NBR 17054/2022)

Para o agregado miúdo a dimensão máxima característica da amostra para uma pesagem de 1000 gramas deve ser menor ou igual a 5%. Verificou-se que as duas amostras têm as mesmas características de até 4,75 mm de tamanho e não diferem em massa em mais de 5% e está dentro dos parâmetros da norma. Segue a abaixo a Tabela 8 dos valores obtidos no ensaio para melhor compreensão.

Figura 15 – Etapas do ensaio



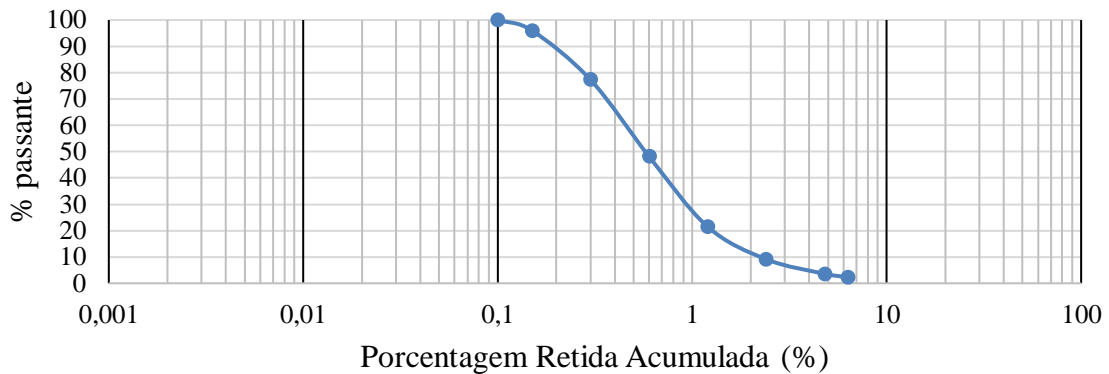
Legenda: (A) Peneiramento manual; (B) limpeza das peneiras e pesagem da amostra. Fonte: Autor (2023).

Tabela 8 - Coleta de dados para comprovação dos parâmetros da norma

| Abertura da Peneira (mm) | Massa Retida (g) | | Porcentagem Retida Individual (%) | | | Porcentagem Retida Acumulada (%) |
|--------------------------|------------------|--------|-----------------------------------|--------|-------------|----------------------------------|
| | M1 | M2 | M1 | M2 | MD | |
| 6,3 | 30,02 | 16,23 | 3,006239 | 1,623 | 2,314619398 | 2,314619398 |
| 4,8 | 13,27 | 12,83 | 1,328874 | 1,283 | 1,305936856 | 3,620556254 |
| 2,4 | 55,04 | 55,13 | 5,511772 | 5,513 | 5,512385799 | 9,132942053 |
| 1,2 | 119,38 | 127,83 | 11,95486 | 12,783 | 12,36892817 | 21,50187023 |
| 0,6 | 266,42 | 266,95 | 26,67962 | 26,695 | 26,68730913 | 48,18917936 |
| 0,3 | 287,02 | 295,1 | 28,74253 | 29,51 | 29,12626348 | 77,31544284 |
| 0,15 | 186,98 | 186,65 | 18,7244 | 18,665 | 18,6947007 | 96,01014354 |
| Fundo | 40,46 | 39,28 | 4,051713 | 3,928 | 3,989856458 | 100 |
| Total | 998,59 | 1000 | | | | |

Fonte: Autor (2023).

Figura 16 - Gráfico da curva granulométrica.



Fonte: Autor (2023).

As amostras foram satisfatoriamente representativas, e o comportamento da curva acentuada demonstrada na Figura 16 indica uma distribuição granulométrica estreita, ou seja, a maioria das partículas são de um tamanho similar, logo a amostra foi caracterizada como areia fina por estar dentro do intervalo dos parâmetros de 1,55 e 2,20 determinado pela norma.

5.1.2. Determinação da massa unitária do agregado miúdo (NBR 16972/2021)

De acordo com a metodologia da norma, os valores iniciais para a análise foram obtidos para o peso unitário no estado a granel e no estado compacto. Para o ensaio do agregado no estado a granel, primeiramente foi-se obtido o peso e o volume do recipiente, com peso equivalente a 3,415 kg e volume com valor de 0,01079 m³. Para encontrar a unidade de massa de areia, a qual pegamos um recipiente cilíndrico, medindo 22 cm de diâmetro ou 11 cm de raio, 28,2 cm de altura, foi totalmente preenchido com material, a areia.

O ensaio foi realizado três vezes, alisou-se cuidadosamente a superfície superior do recipiente para registrar a massa correspondente à quantidade de areia contida no volume determinado. Segue abaixo a Tabela 9 com os valores para facilitar a compressão do cálculo.

Tabela 9 - Dados do ensaio para determinação da massa unitária.

| | |
|--------------------------------------|----------|
| Volume do Cilindro (m ³) | 0,010719 |
| Massa do cilindro vazio (kg) | 1,585 |
| Massa 01 do cilindro + agregado (kg) | 17,25 |
| Massa 02 do cilindro + agregado (kg) | 17,20 |
| Massa 03 do cilindro + agregado (kg) | 17,15 |

Fonte: Autor (2023).

$$\rho = \frac{M_{ar} - M_r}{V} \quad \text{Eq. (13)}$$

Onde:

ρ é a massa unitária em kg/m^3

M_{ar} é a massa do agregado + recipiente em kg

M_r é a massa do recipiente em kg

V é volume em m^3

A média dos valores dos resultados obtidos para ρ é $1456,76 \text{ kg/m}^3$. Segundo MEIER (2011), as palavras de BASÍLIO (1995) e SIQUEIRA (2008) a maioria dos agregados miúdos que produzem concretos normais (com massa específica de aproximadamente 2.400 kg/m^3) possui massa unitária próxima a 1.500 kg/m^3 . Em situações especiais onde concretos convencionais não podem ser utilizados, pode-se utilizar agregados leves, com massa unitária menor que 1.120 kg/m^3 , ou agregados pesados, com massa unitária superior a 2.080 kg/m^3 . Esses valores são utilizados para o cálculo do consumo do material por metro cúbico de concreto.

5.1.3. Determinação da massa específica agregado miúdo (NBR 16916/2021)

É importante notar que a densidade média de um agregado miúdo é determinada pela massa das partículas de agregado dividida pelo volume total que essas partículas ocupam (não incluindo o volume de vazios entre as partículas).

Para efeitos de dosagem é necessário que se conheça o espaço ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros dentro das partículas e excluindo-se os vazios entre elas. Para encontrar esse valor calcula-se a massa específica do agregado que segundo MEIER, (2011) apud Metha e Monteiro (2008) varia entre 2600 e 2700 kg/m^3 para as rochas mais comumente utilizadas. Para facilitar a compreensão das pesagens a Tabela 10 e os cálculos seguintes mostram os valores obtidos das etapas citadas acima e os resultados desse ensaio.

Tabela 10 - Pesagem das amostras do ensaio da massa específica agregado miúdo.

| Pesagens para o ensaio | Massa (g) |
|---|------------------|
| Cápsula 01 vazia | 13,32 |
| Cápsula 02 vazia | 13,19 |
| Cápsula 03 vazia | 15,48 |
| Cápsula 04 vazia | 13,83 |
| Cápsula 01 (vazia + agregado úmido) | 63,32 |
| Cápsula 02 (vazia + agregado úmido) | 63,19 |
| Cápsula 03 (vazia + agregado úmido) | 65,48 |
| Cápsula 04 (vazia + agregado úmido) | 63,83 |
| Cápsula 01 (vazia + agregado seco) | 63,15 |
| Cápsula 02 (vazia + agregado seco) | 63,00 |
| Cápsula 03 (vazia + agregado seco) | 65,15 |
| Cápsula 04 (vazia + agregado seco) | 63,46 |
| Peso picnômetro seco A | 280,62 |
| Peso picnômetro seco B | 273,38 |
| Picnômetro + agregado úmido (m1) A | 780,78 |
| Picnômetro + agregado úmido (m1) B | 773,35 |
| Picnômetro + agregado úmido + água (m2) A | 1074,53 |
| Picnômetro + agregado úmido + água (m2) B | 1076,91 |

Fonte: Autor (2023).

$$H = \frac{M_{bu} - M_{bs}}{M_{bs} - M_c} \times 100 \quad \text{Eq. (14)}$$

Onde:

H é a percentagem de umidade higroscópica;

M_{bu} é a massa bruta úmida em g;

M_{bs} é a massa bruta seca em g;

M_c é a massa da cápsula em g.

A primeira média obtida da percentagem de umidade higroscópica é de 0,36% e a média obtida da percentagem de umidade higroscópica da segunda bateria de ensaio é de 0,70%, logo a média geral entre elas é 0,53%.

$$V_a = \frac{M_2 - M_1}{\rho_a} \quad \text{Eq. (15)}$$

Onde:

ρ_a é a densidade da água em g/cm^3

V_a é o volume da água deslocado em cm^3 ;

M_1 é a massa do picnômetro mais agregado úmido em g;

M_2 é a massa do Picnômetro, agregado úmido mais água em g.

O primeiro valor obtido para o volume da água deslocado é de $293,75 \text{ cm}^3$ e segundo obtido é $303,56 \text{ cm}^3$, portanto a média geral entre eles é $298,65 \text{ cm}^3$.

$$\rho = \frac{M_s}{V - V_a} \quad \text{Eq. (16)}$$

Onde:

ρ é a densidade do agregado em g/cm^3

M_s é a massa do agregado em g

V é o volume do picnômetro em cm^3

V_a é o volume da água deslocado em cm^3

A média da massa específica do agregado é $2,48 \text{ g/cm}^3$ ou 2480 kg/m^3 . A norma NBR NM 52 da ABNT estabelece o método de determinação da massa específica e da massa específica aparente dos agregados miúdos destinados a serem usados em concreto. No entanto, a norma não especifica um valor para a densidade média do agregado miúdo. A densidade ou massa específica de um agregado miúdo pode variar dependendo de vários fatores, incluindo o tipo de material, a granulometria, entre outros.

Figura 17 - Compactação do agregado miúdo no tronco de cone



Fonte: Autor (2023).

A densidade de 2480 kg/m^3 apresentada nos ensaios denota a característica desse material, logo, a densidade média do agregado miúdo pode variar dependendo da amostra específica que está sendo testada. De acordo com MEIER, (2011) enfatizando as palavras de concreto METHA e MONTEIRO, (2008) a absorção é o aumento da massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis por água. O entendimento deste fenômeno é fundamental para a compreensão das características da massa específica e massa unitária, pois se o agregado utilizado nos ensaios estiver úmido os valores obtidos serão diferentes dos obtidos com o agregado previamente seco em estufa, podendo acarretar em erros de cálculo de volume e dosagem.

5.1.4. Determinação de teor de material pulverulento (NBR 16973/2021)

O ensaio foi realizado com o agregado miúdo que passou através da peneira $75 \mu\text{m}$ por lavagem, conforme procedimento de ensaio estabelecido na ABNT NBR NM 46, esse procedimento foi executado duas vezes, separando duas amostras distintas e em seguidas as mesmas foram lavadas, para este processo foi repetido até obterá água visivelmente límpida, depois as amostras foram deixadas em recipientes dentro de estufa ($105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) por 24 horas para retirar toda a umidade para posteriormente fazer o cálculo da porcentagem existente de material pulverulento presente nesse agregado miúdo.

A norma diz que a diferença obtida nas duas determinações com relação à média não deve ser maior que 0,5% para agregado graúdo e 1,0% para agregado miúdo. As massas obtidas no ensaio estão indicadas na tabela abaixo.

Tabela 11 - Pesagem das amostras para confecção dos cálculos do ensaio.

| Ensaio | Massa Inicial (g) | Massa Final (g) |
|------------------|--------------------------|------------------------|
| Ensaio 01 | 500,01 | 489,77 |
| Ensaio 02 | 500,03 | 489,44 |

Fonte: Autor (2023).

$$m = \frac{Mi - Mf}{Mi} \times 100 \quad \text{Eq. (17)}$$

$$m_1 = \frac{500,01 - 489,77}{500,01} \times 100$$

$m_1 = 2,04$ % de material pulverulento

$$m_2 = \frac{500,03 - 489,44}{500,03} \times 100$$

$m_2 = 2,12$ % de material pulverulento

Onde:

m = Porcentagem de massa de material mais fino que passa pela peneira 75 μ m por lavagem;

Mi = Massa inicial do material seco;

Mf = Massa final do material seco, após a lavagem

De acordo MEIER (2011)., por exercer considerável influência na trabalhabilidade, resistência e durabilidade, o agregado miúdo deve ser inerte e livre de substâncias deletérias. As propriedades físicas e químicas dos agregados e das argamassas, tanto de assentamento quanto de revestimentos de alvenarias, são essenciais para a vida útil das obras em que são utilizadas.

A Média das massas é 2,08%, portanto a diferença obtida nas duas determinações com relação à média entre elas é 0,8%, ficando inferior ao estabelecido pela norma, de 1%. Esse ensaio é importante porque caso houvesse uma grande quantidade de material onde as partículas são muito pequenas, essa situação não favorece a hidratação do cimento, devido a sua maciez e grande área superficial, necessitando de mais água para hidratar todas as partículas, o que aumenta constantemente a relação água-cimento e reduz a resistência da argamassa ou do concreto.

5.1.5. Determinação de teor de argilas e torrões (NBR 7218/2010)

A argila pode estar presente no agregado miúdo sob a forma de películas superficiais que prejudicam a aderência entre o agregado e a pasta de cimento. Estas substâncias, em quantidades excessivas, aumentam a necessidade de água devido a sua finura e grande área superficial, alterando assim a trabalhabilidade da argamassa para uma mesma relação a/c (água/cimento), podendo ainda alterar a resistência do concreto ou argamassa devido a necessidade de uma maior adição de água (MEIER, 2011).

De acordo com a norma para agregado miúdo, a amostra deve apresentar o limite máximos de teor de argila ou materiais friáveis em relação à massa do material é 3,0 %. Os dados a seguir demonstram os valores obtidos nos dois ensaios. A massa inicial para amostra 01 é de 200,07 gramas e após o procedimento de destorroamento a massa obtida é 198,50 gramas. Já para a amostra 02 a massa inicial é 200 gramas e após obtida depois do destorroamento é equivalente a 198,90 gramas.

$$m = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad \text{Eq. (18)}$$

$$m_1 = \frac{200,07 - 198,50}{200,07} \times 100$$

$$m_1 = 0,78\% \text{ de argilas ou torrões;}$$

$$m_2 = \frac{200 - 198,90}{200} \times 100$$

$$m_2 = 0,55\% \text{ de argilas ou torrões;}$$

Onde:

m = Porcentagem de teor de massa de argilas ou torrões presente na amostra;

M_i = Massa inicial do material antes do destorroamento da amostra;

M_f = Massa final do material após o destorroamento da amostra.

De acordo com LOPES *et al.*, (2020)., enfatizando as palavras de Mehta e Monteiro (2014), que torrões de argila e materiais friáveis, alteram as características granulométricas dos agregados graúdos e geram prejuízo na resistência do próprio agregado e do concreto com ele fabricado. Ainda além, a presença de torrões de argila e materiais friáveis altera a aparência do concreto aparente, podendo ocasionar manchas em sua superfície. Para esse ensaio os resultados de 0,78% e 0,55% de argilas e torrões nas amostras estudadas foram satisfatórios, apresentando dados dentro dos limites estipulados pela norma NBR 7218 (2010), que é no máximo 3%.

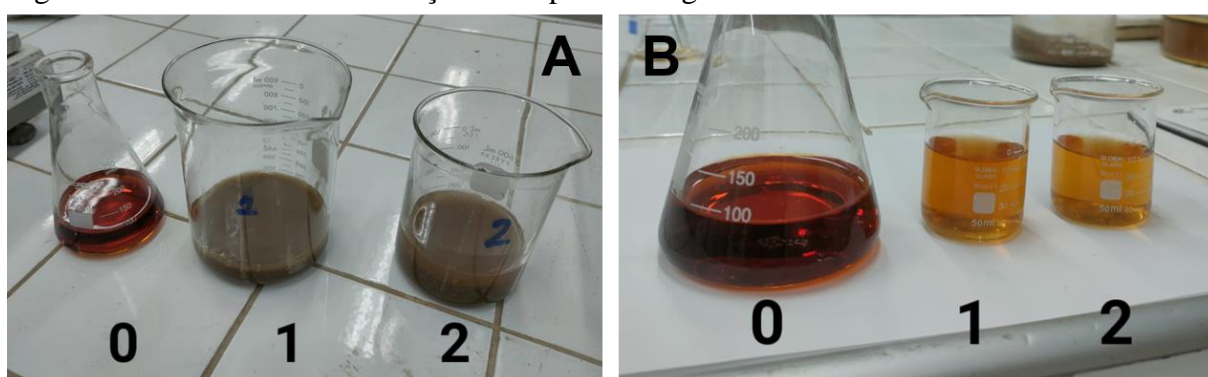
A presença de aglomerados de argila e materiais frágeis no agregado miúdo pode ter efeitos significativos na qualidade estética e estrutural do concreto ou da argamassa. A presença de argila pode aumentar a retenção de água no concreto, levando a problemas de durabilidade devido à expansão e contração associadas à umidade. Além disso, a presença de materiais frágeis pode resultar em vazios no concreto ou na argamassa, comprometendo sua resistência mecânica. Portanto, é crucial realizar uma seleção criteriosa dos agregados miúdos, garantindo a qualidade e a durabilidade do concreto, especialmente em aplicações onde a estética e a durabilidade são de extrema importância.

5.1.6. Determinação de impurezas orgânicas (NBR NM 49/2001)

As impurezas orgânicas, normalmente resultantes da decomposição de vegetais, prejudicam a pega e o endurecimento das argamassas e concretos podendo ocasionar perda de resistência, patologias relacionadas à sua expansão e desagregação do agregado miúdo devido a má aderência da pasta de cimento ao agregado (MEIER, 2011).

Para os ensaios fez a adição 200,04 g e 200,06 g, cada pesagem em um Erlenmeyer distinto de agregado miúdo seco e adicionou-se 100 cm³ da solução de hidróxido de sódio, fez a agitação vigorosamente e deixou em repouso durante 24 horas em ambiente escuro. Segue a figura abaixo para facilitar a compreensão do resultado do antes e depois das análises.

Figura 18 – Ensaio de determinação de impurezas orgânicas.



Legenda: (A) antes das 24 h; (B) após 24 h; (0) solução padrão; (1, 2) amostras. Fonte: Autor (2023).

Findo o período de repouso, filtrou-se as duas soluções que esteve em contato com os agregados miúdos, empregando o uso de papel de filtro e fazendo o recolhimento em beques distintos, a qual obteve-se um resultado em que pela colocação mais clara apresentada inferior ao da solução padrão, o resultado demonstra que existe pouca impureza orgânica nas amostras.

As impurezas encontradas nos agregados interferem nas propriedades dos revestimentos e na qualidade do concreto, dificultando a hidratação do cimento e sua aderência aos grãos de areia. Essas impurezas podem causar patologias como desagregação dos agregados, e na presença de umidade podem provocar eflorescência e corrosão da armadura (MEIER, 2011).

5.1.7. Determinação do inchamento de agregado miúdo (NBR 6467/1987)

MEIER, (2011) apud BASÍLIO (1995), ressalta que o fenômeno de variação do volume do agregado miúdo, provocado pela adição de água, denomina-se inchamento. Assim se variarmos a quantidade de água contida na areia, seu volume também variará. MEIER, (2011) cita SIQUEIRA, (2008)., que como nas obras a maior parte dos agregados são utilizados na forma em que são recebidos dos areais, as betonadas de argamassa e concreto podem sofrer variações, se a dosagem for feita em volume, podendo resultar em argamassas com diferentes índices de trabalhabilidade e resistência.

As amostras do agregado miúdo foram coletadas e secas em estufa a uma temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ até atingir peso constante. Em seguida, as amostras foram resfriadas em temperatura ambiente. Posteriormente secas, passaram por uma série de peneiras com aberturas padronizadas, de acordo com a NBR 7211, para separar as partículas de diferentes tamanhos, para gerar os dados iniciais (Tabela 12), os aspectos da amostra (Tabela 13) e por fim obter elementos suficientes (

Tabela 14) dentro ensaio para poder-se determinar o gráfico do coeficiente de inchamento.

Encontrar o valor do coeficiente de inchamento de agregado miúdo de acordo com a NBR 6467 é fundamental para garantir a qualidade e o desempenho adequado dos materiais utilizados na construção, bem como para evitar possíveis falhas ou problemas durante a execução das obras.

Tabela 12 - Dados iniciais para o ensaio do inchamento de agregado.

| | |
|---|--------------|
| Massa (g) | 522,6 |
| Altura (cm) | 12 |
| Comprimento (cm) | 23 |
| Largura (cm) | 15 |
| Volume (cm³) | 4140 |
| Massa Inicial Recip. Amostra (g) | 6831,4 |
| Ys (g/cm³) | 1,537704071 |

Fonte: Autor (2023).

Tabela 13 - Aspectos iniciais para o ensaio do inchamento de agregado.

| PEN (%) | MRA (g) | N° CAP | Mc (g) | Mi (g) | Mf (g) |
|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0,50 | 6226,6 | 64 | 14 | 64 | 63,55 |
| 1,00 | 5920,1 | 4 | 14,6 | 64,6 | 64,14 |
| 2,00 | 5643,3 | 56 | 13,2 | 63,2 | 62,28 |
| 4,00 | 5526,7 | 87 | 13,2 | 63,2 | 61,8 |
| 5,00 | 5455,5 | 66 | 13,4 | 63,4 | 61,6 |
| 7,00 | 5435,1 | 88 | 13,8 | 63,8 | 61,17 |
| 9,00 | 5538,0 | 70 | 13,3 | 63,3 | 59,85 |
| 12,00 | 5739,2 | 333 | 15,7 | 65,7 | 61,08 |

(PEN) Porcentagem Ensaio da Norma; (MRA) Massa Recipiente + Amostra; (Mc) Massa Capsula Vazia; (Mi) Massa Capsula + Amostra Úmida; (Mf) Massa Capsula + Amostra Seca; (H) - Umidade em porcentagem. Fonte: Autor (2023).

Figura 19 - Amostras do agregado miúdo com diferentes porcentagens de umidade



Fonte: Autor (2023).

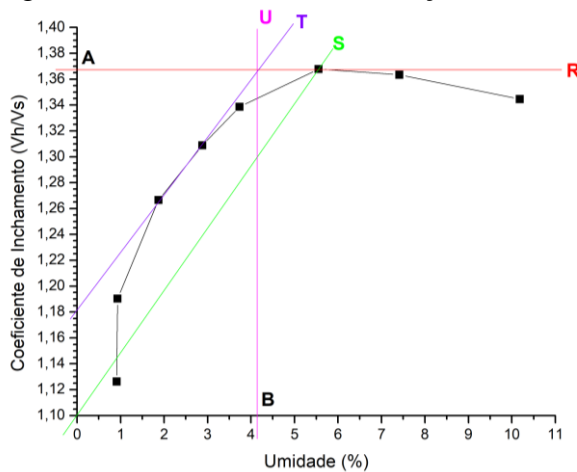
Tabela 14 - Averiguações baseada nos cálculos do ensaio de inchamento de agregado.

| PEN (%) | H (%) | Yh | Vh/Vs |
|----------------|--------------|-------------|--------------|
| 0,50 | 0,908173562 | 1,377777778 | 1,126211438 |
| 1,00 | 0,928542592 | 1,303743961 | 1,190404216 |
| 2,00 | 1,874490628 | 1,236884058 | 1,266511747 |
| 4,00 | 2,880658436 | 1,208719807 | 1,308822826 |
| 5,00 | 3,734439834 | 1,191521739 | 1,338732355 |
| 7,00 | 5,552037154 | 1,186594203 | 1,367845864 |
| 9,00 | 7,411385607 | 1,211449275 | 1,363382919 |
| 12,00 | 10,18069634 | 1,260048309 | 1,344593728 |

Fonte: Autor (2023).

Para construção do gráfico abaixo são passadas quatro retas, sendo elas, a linha R paralela ao eixo das umidades, a qual a mesma deve tangenciar o ponto mais alto da curva. A segunda reta é a linha S, ela surge na origem zero do gráfico e tangencia também o ponto mais alto da curva, já a terceira reta é a linha T, é paralela a linha S da qual tangencia a curvatura do gráfico, e pôr fim a quarta reta a linha U, ela marca o cruzamento entre a linha R e T, arcando assim a umidade crítica no gráfico no eixo das umidades (ponto B).

Figura 20 – Gráfico da determinação do coeficiente de inchamento.



Fonte: Autor (2023).

Para encontrarmos o coeficiente de inchamento de acordo com a Figura 20 acima mostrado, basta fazer a média aritmética entre o ponto A e o ponto B (Umidade crítica), logo o resultado obtido para o coeficiente de inchamento é 2,78125.

A necessidade de encontrar o valor do coeficiente de inchamento está relacionada à caracterização e classificação dos agregados utilizados na construção civil. O coeficiente de inchamento é uma medida que indica a variação de volume que ocorre quando o agregado miúdo é submetido à umidade.

Esse valor é importante para determinar a quantidade de água que o agregado absorve e retém, o que pode afetar as propriedades do concreto ou argamassa produzidos com esse material. O coeficiente de inchamento também influencia a dosagem e a trabalhabilidade do concreto, além de poder causar problemas como segregação e retração.

5.1.8. Ensaio de resistência à compressão do cimento Portland (NBR 7215/2019)

Após o rompimento dos CP's os resultados advindos do ensaio foram observados uma variação existente de diferença significativa entre os resultados do ensaio de resistência a compressão nos corpos de prova das argamassas de Controle e Modificadas. A tabela abaixo deixa nítido o aumento positivo da resistência nas amostras com a adição de 5% de glicerina.

Figura 21 - Ensaio de resistência a compressão.



Legenda - (1) conferência do tamanho da amostra, (2) encaixe da amostra na prensa, (3) execução do ensaio, (3) rompimento da amostra após o ensaio. Autor (2023).

Tabela 15 - Resultados do ensaio de resistência a compressão nos corpos de prova.

| Séries de Ensaio | Amostra | Comp. (MPa) | Comp. (MPa) | Comp. (MPa) | Comp. (MPa) |
|------------------|---------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | Glicerina - 0% | Glicerina - 5% | Glicerina - 10% | Glicerina - 15% |
| Série 1 | 1 | 26,32 | 32,78 | 23,84 | 22,30 |
| | 2 | 25,11 | 30,23 | 22,21 | 19,98 |
| | Média | 25,72 | 31,51 | 23,03 | 21,15 |
| Série 2 | 3 | 20,11 | 25,39 | 17,66 | 17,02 |
| | 4 | 17,64 | 22,25 | 15,85 | 12,65 |
| | Média | 18,88 | 23,82 | 16,76 | 14,84 |

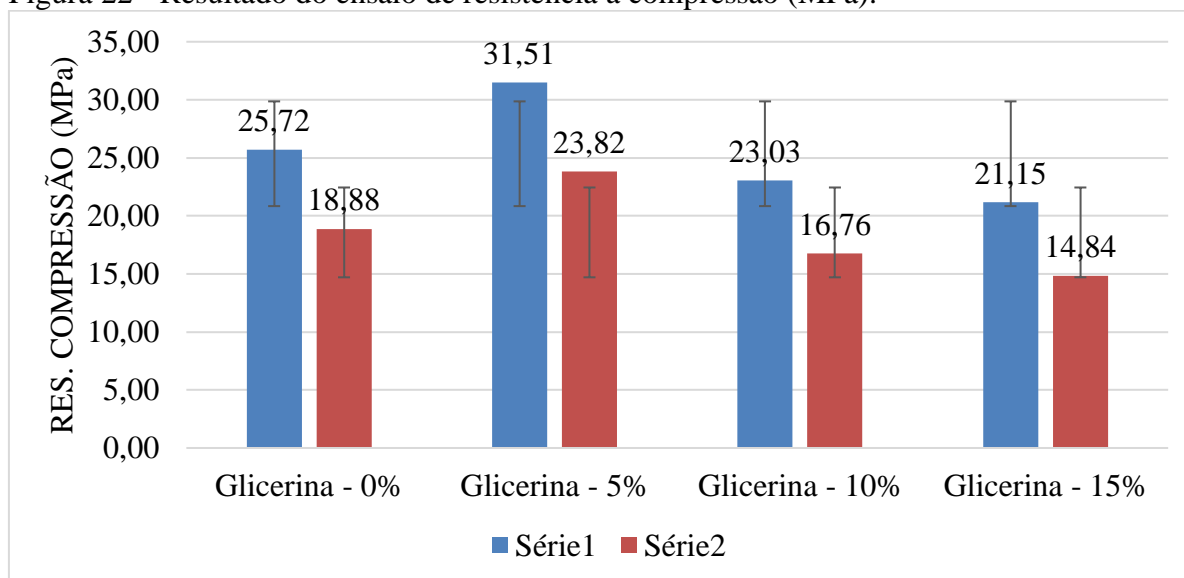
Fonte: Autor (2023).

Em contraste com a argamassa sem aditivo de glicerina e a argamassa contendo 5% de glicerina, as argamassas com adição de 10% e 15% de glicerina, respectivamente, apresentaram maior dificuldade na montagem do corpo de prova. Esta dificuldade pode ser atribuída à quantidade de glicerina incorporada na mistura, resultando em uma argamassa mais viscosa e, conseqüentemente, dificultando o processo de compactação dentro do molde.

Esta observação pode ser um indicativo do resultado final do ensaio de compressão, onde as amostras de cada argamassa com 10% e 15% de glicerina demonstraram menor resistência em comparação à argamassa com 5% de glicerina e a argamassa controle, que não continha glicerina.

A glicerina pode estar agindo em conjunto com água facilitando a interação água-cimento, aumentando a maleabilidade da argamassa, mas em excesso, pode estar interferindo na formação de ligações fortes entre os componentes da argamassa, resultando em um material mais fraco. Com base nos dados coletados da Tabela 15 a Figura 22 utiliza as médias dos resultados da resistência a compressão das amostras em estudo pra fazer o comparativo entre uma série e outra.

Figura 22 - Resultado do ensaio de resistência a compressão (MPa).



Fonte: Autor (2023).

Em altas concentrações de glicerina, a mistura glicerina-água pode se tornar viscosa e formar uma solução mais espessa. A glicerina é um composto viscoso por natureza, e sua adição em concentrações elevadas pode aumentar a viscosidade da mistura. Em altas concentrações a glicerina pode estar agindo reduzindo a resistência à compressão e à flexão da argamassa, tal resultado foi demonstrado no ensaio quando se utilizou as quantidades de 10% e 15% respectivamente em comparação com a argamassa controle e a argamassa com o adicional de 5% de glicerina. Isso ocorre porque a glicerina pode interferir na formação de ligações químicas entre as partículas de cimento, resultando em uma matriz menos coesa e menos resistente.

Outro aspecto importante é que a glicerina em concentrações mais elevadas pode afetar a porosidade da argamassa. Estudos mostraram que a adição de glicerina pode aumentar a porosidade da argamassa, o que pode comprometer sua durabilidade e resistência à penetração de agentes agressivos, como água e sais.

No entanto, é importante ressaltar que a adição de glicerina em baixas concentrações, como é caso em estudo demonstrado no ensaio (adição de 5% de glicerina na argamassa) pode ter efeitos mínimos nas reações químicas da água-cimento. Em baixas concentrações, a glicerina é miscível em água, o que significa que ela se dissolve completamente na água, formando uma solução transparente.

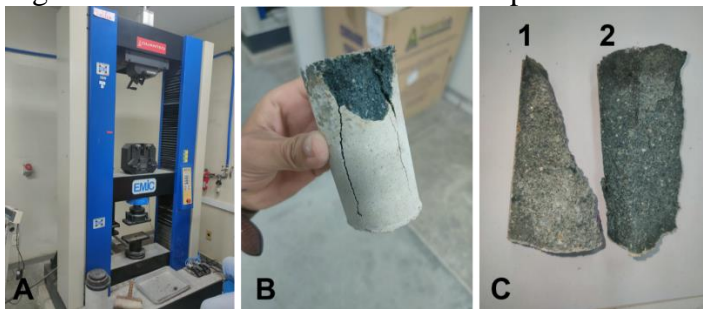
Nesse caso, a glicerina não tem um efeito significativo nas propriedades físicas da água, como ponto de ebulição, ponto de congelamento ou densidade. Além disso, a literatura também sugere que a combinação de glicerina com outros aditivos pode levar a resultados diferentes, dependendo das proporções e interações entre os componentes.

Com base nos resultados positivos atingidos acima, pra revalidar os mesmos, foi executado uma nova série de ensaio utilizando somente as concentrações de zero e cinco por cento respectivamente de glicerina, bem como um outro equipamento, a Máquina Universal de Ensaio modelo QUANTEQ EMIC DL 30000. Os dados desse ensaio podem ser observados na

Tabela 16 e na Figura 24.

Ao executar o rompimento no ensaio de compressão em todas as três séries, as amostras que continham glicerina apresentaram um tom esverdeado em comparação com as amostras controle. Demonstrando homogeneidade total e reação desconhecida com a mistura água, cimento e agregado miúdo da argamassa (Figura 23). Esse mesmo resultado do tom esverdeado também foi apresentado no ensaio de carbonatação.

Figura 23 - Ensaio de resistência a compressão.



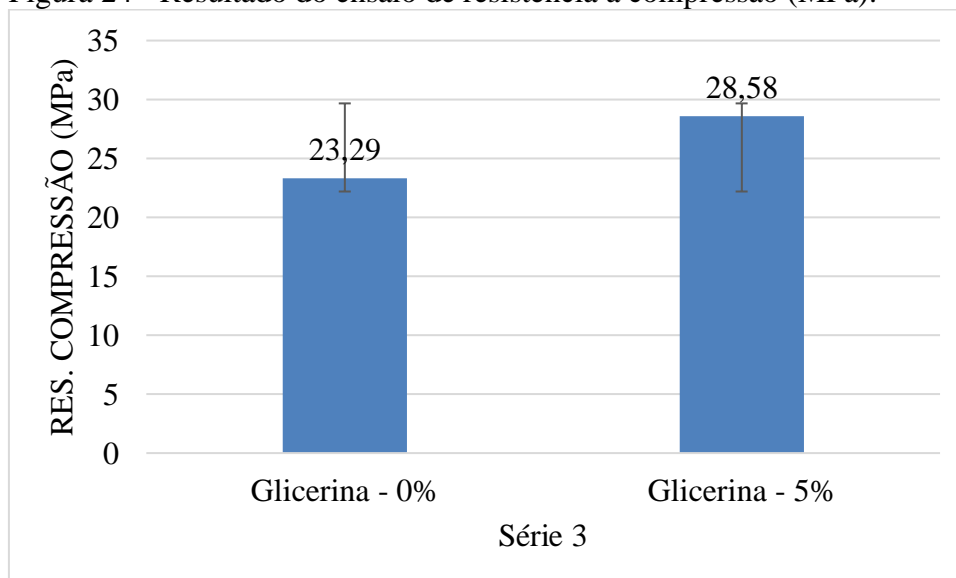
Legenda - (A) prensa hidráulica automática, (B) rompimento da amostra após o ensaio, (C1) pedaço da amostra sem glicerina em comparação com o (C2) pedaço da amostra com glicerina. Autor (2023).

Tabela 16 - Resultados do ensaio de resistência a compressão nos corpos de prova.

| Séries de Ensaio | Amostra | Comp. (MPa) | |
|------------------|---------|----------------|----------------|
| | | Glicerina - 0% | Glicerina - 5% |
| Série 3 | 1 | 22,23 | 27,03 |
| | 2 | 24,35 | 30,12 |
| | Média | 23,29 | 28,58 |

Fonte: Autor (2023).

Figura 24 - Resultado do ensaio de resistência a compressão (MPa).



Fonte: Autor (2023).

Aproveitando a oportunidade após os rompimentos das amostras, foi executado o ensaio de carbonatação com base na NBR 9778/2018. Essa norma estabelece o método para determinar a profundidade de carbonatação em amostras de argamassa e concreto utilizando a fenolftaleína como indicador ácido-base. Ela descreve os procedimentos de preparação das amostras, a aplicação do indicador, a observação das mudanças de cor e a medição da profundidade de carbonatação.

O ensaio de carbonatação em amostras de argamassa e concreto tem como finalidade principal avaliar a profundidade de penetração do dióxido de carbono (CO_2) na matriz do material. Esse ensaio é realizado para determinar a resistência do material à carbonatação, que é um processo químico no qual o CO_2 presente no ar reage com o hidróxido de cálcio (presente na pasta de cimento) para formar carbonato de cálcio.

A carbonatação pode afetar negativamente a durabilidade e a vida útil das estruturas de concreto, pois reduz a alcalinidade da matriz e pode levar à corrosão das armaduras metálicas. Portanto, o ensaio de carbonatação é importante para avaliar a capacidade de resistência do material à penetração do CO_2 e, conseqüentemente, para estimar sua vida útil em condições de exposição ao ambiente.

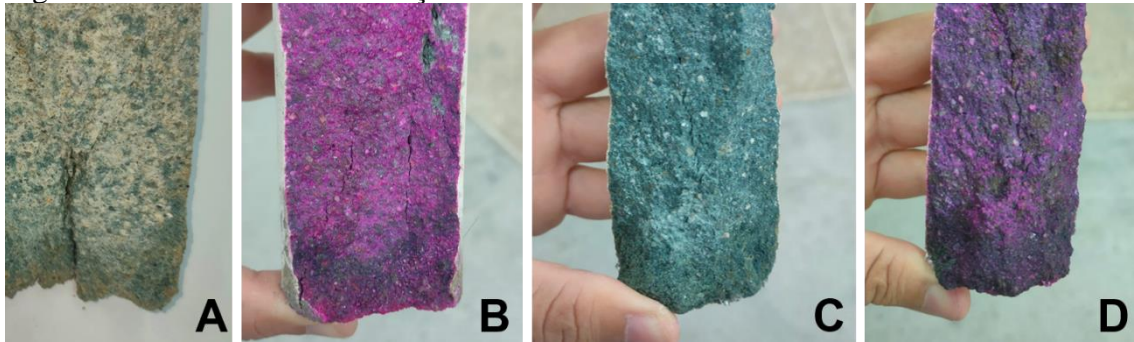
Durante o ensaio, as amostras são expostas a uma atmosfera ambiente e, posteriormente, são analisadas para determinar a profundidade de carbonatação. Isso é feito por meio de técnicas como a utilização de indicadores químicos ou a medição do pH da superfície do material. Isso é feito por meio de técnicas como a utilização de indicadores químicos ou a medição do pH da

superfície do material. Com base nos resultados obtidos, é possível avaliar a qualidade do material e tomar medidas preventivas para garantir sua durabilidade e desempenho adequados. O teste de carbonatação foi realizado através da aplicação de solução de fenolftaleína ($C_{20}H_{16}O_4$) 0,5% (m/v).

Para o ensaio de carbonatação, foram utilizados corpos de prova cilíndricos que permaneceram em ambiente de laboratório (AUGUSTO; SOFIA, 2021)., seguindo as recomendações da norma DIN EN 14630 (2007), utilizou-se indicador de pH, que consiste em uma mistura de 1g de fenolftaleína dissolvida em 50g álcool etílico diluídos em 50g de água, formando uma solução que quando aspergida no concreto torna-se incolor em pH inferior a 8,3 que indica a parte carbonatada e rosa ou vermelho-carmim para valores superiores a 8,3 que indicam a parte não carbonatada, sendo que o pH normal do concreto fica entre 12,5 a 14 (CIPRIANO DE FARIAS; DA SILVA, 2013).

A coloração magenta representa ambiente básico, ou seja, essa região está protegida da presença de CO_2 da atmosfera (que não sofreu carbonatação), substância responsável pela carbonatação. A coloração magenta revela a área com pH básico, adequada à proteção das armaduras (S. CARDOSO *et al.*, 2021).

Figura 25 - Ensaio de carbonatação



Legenda - (A) amostra sem glicerina sem indicador ácido-base e (B) com indicador ácido-base; (C) amostra com glicerina sem indicador ácido-base e (D) com indicador ácido-base. Fonte: Autor (2023).

Após realizar o ensaio de carbonatação, constatou-se que as amostras não apresentaram redução do pH. Além disso, foi observado que a profundidade da carbonatação na amostra foi inexistente. Esta profundidade foi obtida através de um indicador de pH, fenolftaleína, que apresenta coloração diferente em concreto carbonatado e não carbonatado (CIPRIANO DE FARIAS; DA SILVA, 2013).

Após a aspersão da solução de fenolftaleína, aguardou-se 10 minutos para a secagem das amostras para então prosseguir com a análise do ensaio (AUGUSTO; SOFIA, 2021).

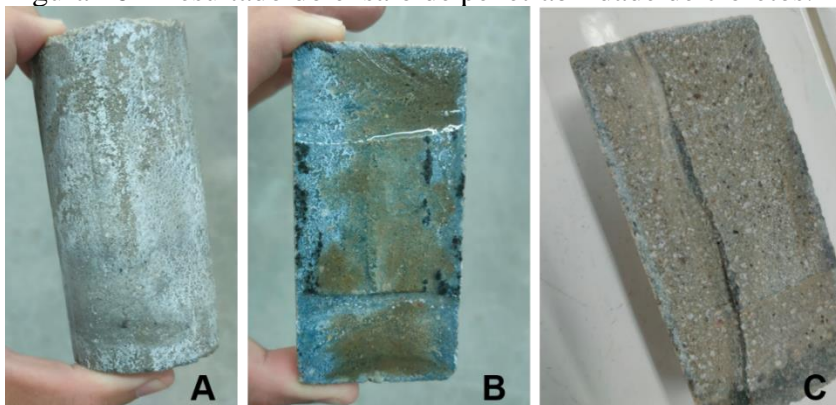
Decorrido o tempo, as amostras já secas a coloração não mudou. Para a concentração da glicerina de 5% realizada nesse estudo, demonstra a eficiência a carbonatação após 28 dias de cura. É importante salientar que esses pontos brancos cristalizados apresentados na Figura 25 são os grãos do agregado miúdo.

5.1.9. Ensaio Penetrabilidade de íons cloretos da Norma Europeia UNI 1603925/2019

A avaliação da penetração de cloretos no corpo de prova foi realizada de acordo com a norma europeia UNI 1603925 (2019). De acordo com TEIXEIRA et al., (2021) a solução de cloretos produzida a partir da dissolução de cloreto de sódio (NaCl) em água a uma concentração de 3,5 %, valor também foi adotado por outros autores como PAGE et al. (2002) e VIEIRA (2003) e simulando, portanto, a salinidade total média dos oceanos. Salientou que outros autores como ANTOLINI (2015) e COLETTI (2017), também utilizaram essa metodologia para avaliar a penetração de cloretos em concretos.

Após um período de imersão de 7 dias em água do mar (solução de cloreto de sódio 3,5%), o corpo de prova foi cuidadosamente seccionado longitudinalmente. Em seguida, a solução de nitrato de prata (AgNO_3) 0,1 mol/L foi aplicada sobre a superfície. Como resultado essa solução reagiu com os íons cloretos presentes, resultando na formação de um precipitado branco de cloreto de prata nas amostras de argamassa controle (Figura 26 B), já nas amostras com a adição de 5% de glicerina (Figura 26 C) houve reação apenas nos limites da borda da amostra onde aconteceu o corte longitudinal, indicando que o aditivo da glicerina foi eficaz no combate da penetração de íons cloretos nos corpos de prova estudados.

Figura 26 - Resultado do ensaio de penetrabilidade de cloretos.



Legenda - (A) parte externa das amostras; (B) parte interna da amostra controle; (C) parte interna da amostra com glicerina.

Fonte: Autor (2023).

Com a reação do nitrato de prata com os íons de cloreto livres, espera-se a ocorrência de um precipitado de coloração branca, caso a coloração seja marrom, isso indica que os cloretos presentes nos corpos de prova estão na forma combinada (S. CARDOSO *et al.*, 2021).

De acordo GONÇALVES, (2021) reforçando as palavras de MALHEIRO (2008), é de grande importância conhecer os fatores que influenciam o transporte de cloretos para que se possa controlar este transporte de acordo com os materiais escolhidos e com as condições de exposição a que as estruturas serão provavelmente submetidas.

Existem vários fatores determinantes no transporte de cloretos, de entre os quais destacam-se a orientação do vento, a existência de proteção à água da chuva, a existência e a quantidade de agentes agressivos no ambiente. Por exemplo, as estruturas localizadas em zonas costeiras que se encontrem expostas aos ventos encontram-se sujeitas a uma maior deposição de cloretos na superfície (GONÇALVES, 2021).

5.1.10. Caracterização do aço carbono SAE 1020

A espectrometria de emissão óptica permite identificar e quantificar os elementos presentes na amostra de aço. Isso é crucial para determinar as propriedades do aço, como resistência, ductilidade e resistência à corrosão. Este ensaio é uma ferramenta essencial para o controle de qualidade na produção de aço. Ele garante que o mesmo atenda às especificações necessárias e seja adequado para o uso pretendido. Com isso os resultados obtidos por meio desse ensaio da composição química do aço escolhido podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17 - Composição Química do aço carbono

| Elemento | C | Si | Cu | Ni | Si | Mn | P | S | Mo | Cr | Fe |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Composição (%) | 0,20 | 0,13 | 0,15 | 0,08 | 0,13 | 0,62 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,07 | 98,65 |

Fonte: Autor (2023).

5.1.11. Análises do pH das soluções

Com a intenção de verificar se houve alguma alteração relevante no sistema montado para análise do ensaio de perda de massa em relação ao pH, foi feito as medições das soluções no marco zero e depois de concluído o ensaio, após as 240 horas. Segue os dados abaixo.

Tabela 18 - Resultados da variação do pH no ensaio com soluções de NaCl.

| Soluções de NaCl | pH Inicial (0 horas) | pH Final (240 horas) |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Sem Glicerina (Branco) | 6,52 | 6,15 |
| Com Glicerina | 6,32 | 5,80 |

Fonte: Autor (2023).

Para o ensaio utilizando o cloreto de sódio, a variação do pH inicial e final é 0,37 menor em relação ao início para as soluções branco e 0,52 menor para as soluções que tinham a glicerina como aditivo, entre o início e o fim do ensaio. Dessa maneira não houve conversão brusca durante o ensaio.

Tabela 19 - Resultados da variação do pH no ensaio com soluções de H₂SO₄.

| Soluções de H₂SO₄ | pH Inicial (0 horas) | pH Final (240 horas) |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Sem Glicerina (Branco) | 0,92 | 3,67 |
| Com Glicerina | 1,07 | 3,58 |

Fonte: Autor (2023).

Já em relação as soluções a qual se trabalhou o ácido sulfúrico, a solução controle (branco) teve variação do pH de acréscimo de 2,75 quando se comparado ao início. E 2,51 a mais para as soluções que continham glicerina. Ambas as soluções parte de um perfil muito mais ácido para um perfil de menor acidez.

Tabela 20 - Resultados da variação do pH no ensaio de soluções de HCl.

| Soluções de HCl | pH Inicial (0 horas) | pH Final (240 horas) |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Sem Glicerina (Branco) | 1,19 | 1,56 |
| Com Glicerina | 1,28 | 1,26 |

Fonte: Autor (2023).

Ao se trabalhar com ácido clorídrico a diferença inicial e final para soluções branco e as soluções com aditivo de glicerina a diferença é menor. Tendo um acréscimo de 0,37 para as soluções branco e uma diminuição de 0,02 como resultado entre o início e o final para soluções de glicerina. Vale notar que para esse ensaio a solução que continha glicerina manteve o pH estável durante o início até a conclusão do ensaio.

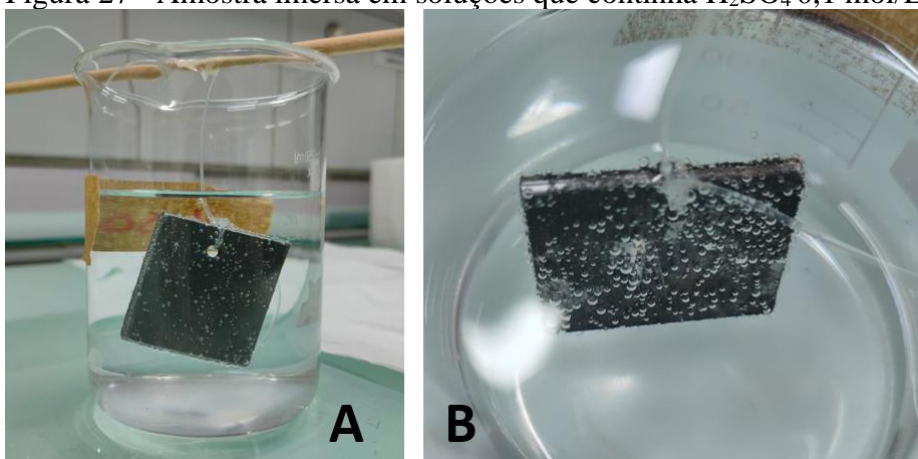
5.1.12. Ensaio de perda de massa

Realizou-se uma avaliação do potencial de inibição da glicerina em um ambiente agressivo simulado, representando uma solução salina de NaCl 3,5% a temperatura ambiente, bem como em ambiente ácido, representado em soluções distintas de HCl e H₂SO₄. Os corpos de prova foram imersos em béqueres contendo cerca de 500 mL das soluções em estudo, na presença de solução de NaCl 3,5%, solução de HCl 0,1 M e solução de H₂SO₄ 0,1 M quanto na presença de glicerina (solução de NaCl 3,5% + Glicerina 5%, solução de HCl 0,1 M + Glicerina 5% e solução de H₂SO₄ + Glicerina 5%).

4.1.12.1. Ensaio de perda de massa com soluções contendo H₂SO₄

Observou-se fortes reações ao início do ensaio (zero horas), nas soluções controle que continha H₂SO₄ 0,1 molar bem como nas soluções com inibidor (Glicerina 5%), sendo elas, grande formação de gás e escurecimento da amostra (Figura 27). Reflexo da ação da solução do ácido sulfúrico com o metal imerso (Equação 19).

Figura 27 - Amostra imersa em soluções que continha H₂SO₄ 0,1 mol/L.



Legenda: (A) Vista frontal; (B) Vista superior com zoom da amostra. Fonte: Autor (2023).

Entre as 24 e 48 horas do ensaio houve uma diminuição na formação de gás para as amostras imersas em ambas as soluções. O meio em estudo na qual continha somente o ácido sulfúrico apresentou coloração levemente amarelada, o que indica formação de um particulado. Somente após 72 horas, a solução que contém um aditivo da glicerina apresentou partículas bem menores em relação a solução branco.

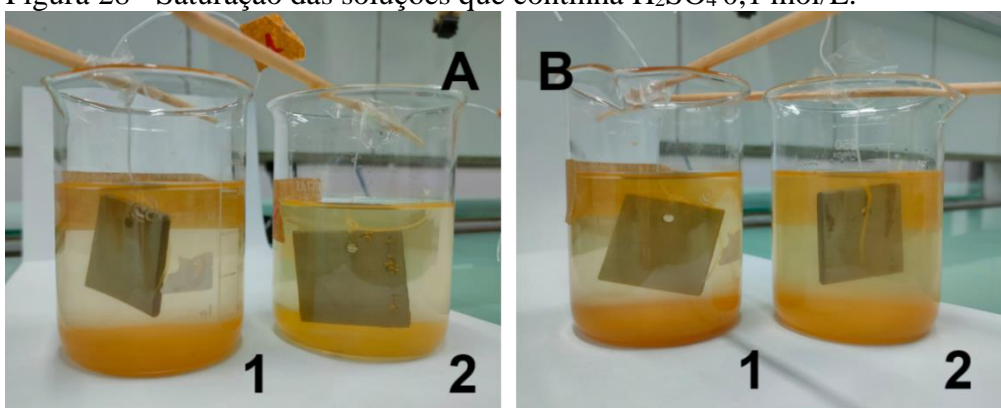
Quando os aços-carbono entram em contato com o ácido sulfúrico concentrado, ocorre ataque imediato pelo ácido, formando uma camada protetora na superfície metálica, constituída de sulfato ferroso (FeSO_4), de acordo com a reação:



As taxas de corrosão são muito elevadas no início da exposição, no entanto devido à formação da camada protetora, as taxas de corrosão diminuem assumindo valores praticamente constantes (PANOSSIAN, 2012).

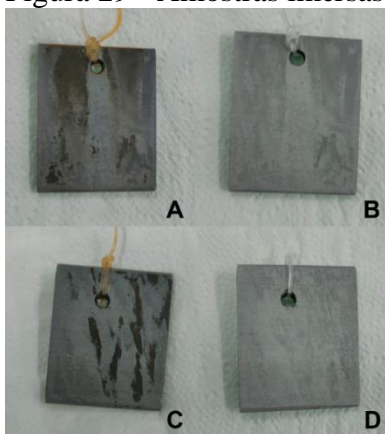
A solução com o inibidor apresentou tonalidade muito mais nítida e clara em relação a solução que contém somente o ácido, evidenciando uma reação da glicerina no meu estudo no combate da formação do particulado. A partir das 120 horas de imersão, a solução com glicerina atingiu a mesma tonalidade amarelada em relação a solução branco e esse perfil se manteve até a conclusão do ensaio (Figura 28).

Figura 28 - Saturação das soluções que continha H_2SO_4 0,1 mol/L.



Legenda: (A) Diferença de saturação das soluções; (B) Saturação iguais em ambas as soluções; (1) Solução com H_2SO_4 0,1 M; (2) Solução com H_2SO_4 0,1 M + Glicerina 5%. Fonte: Autor (2023).

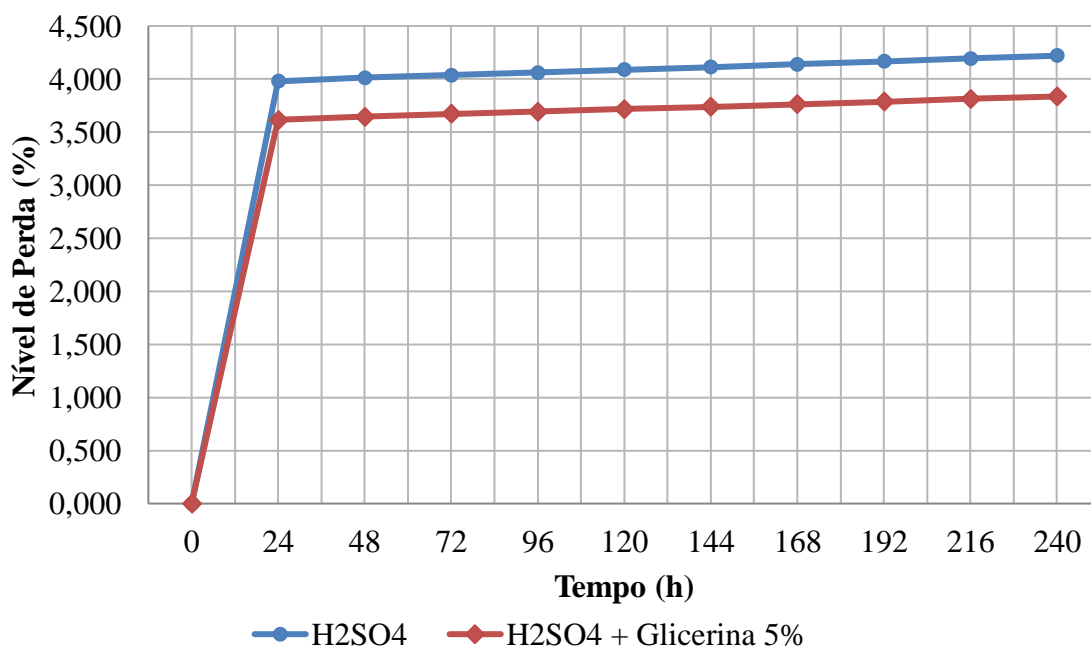
Figura 29 - Amostras imersas em 240 horas nas soluções com e sem glicerina em H_2SO_4



Legenda: Amostras em solução sem glicerina (A) antes da limpeza e (B) após a limpeza em solução de Clark; Amostras em solução com glicerina (C) antes da limpeza e (D) após a limpeza em solução de Clark; Fonte: Autor (2023).

Pela Figura 30 mostrada abaixo, quando dado início ao ensaio com as soluções usando H_2SO_4 , é notório a queda brusca nas primeiras 24 horas em ambas as soluções. Para a amostra metálica imersa na solução branco o valor é de 3,98 gramas e na solução que contém o inibidor (glicerina) o valor é 3,61 gramas. Durante o restante do ensaio de acordo com os dados, a perda é constante, a partir das 24 horas até a conclusão do ensaio (240 horas) a média de queda é 4,10 gramas para a solução controle e de 3,70 gramas para solução que continha o aditivo da glicerina.

Figura 30 – Gráfico da perda de massa entre as soluções de H_2SO_4 (branco) e glicerina (5%).



Fonte: Autor (2023).

Tabela 21 - Parâmetros de perda de massa em amostras imersas em H₂SO₄ 0,1 mol/L.

| Tempo de Imersão (horas) | Solução Sem Glicerina (Branco) | | Solução com Glicerina 5% | | % IE |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|------|
| | % Δm | TC (mm/y) | % Δm | TC (mm/y) | |
| 24 | 3,979022715 | 6,45E-07 | 3,614537407 | 5,97E-07 | 7,55 |
| 48 | 4,013016512 | 3,25E-07 | 3,645459743 | 3,01E-07 | 7,55 |
| 72 | 4,035695305 | 2,18E-07 | 3,672386142 | 2,02E-07 | 7,39 |
| 96 | 4,060678199 | 1,65E-07 | 3,692066038 | 1,52E-07 | 7,47 |
| 120 | 4,086691719 | 1,33E-07 | 3,717946373 | 1,23E-07 | 7,41 |
| 144 | 4,111925071 | 1,11E-07 | 3,737585936 | 1,03E-07 | 7,49 |
| 168 | 4,138357845 | 9,59E-08 | 3,760901068 | 8,87E-08 | 7,51 |
| 192 | 4,165733167 | 8,45E-08 | 3,787379863 | 7,82E-08 | 7,47 |
| 216 | 4,194141947 | 7,56E-08 | 3,81290508 | 6,99E-08 | 7,48 |
| 240 | 4,219571945 | 6,85E-08 | 3,835345469 | 6,33E-08 | 7,50 |

Legenda: % Δm: Perda de massa relativa; TC: Taxa de corrosão; %IE: Eficiência do inibidor. Fonte: Autor (2023).

Para esse tipo de meio corrosivo, a avaliação da eficiência de inibição da corrosão no metal em estudo foi baixa (Tabela 21), o que denota a pouca ação do inibidor em relação ao meio empregado. Isso porventura seja reflexo da inexistência da formação de um filme protetor envolto da peça metálica ou da reação do aditivo dissolvido na solução que combatesse a ação corrosiva do meio em estudo.

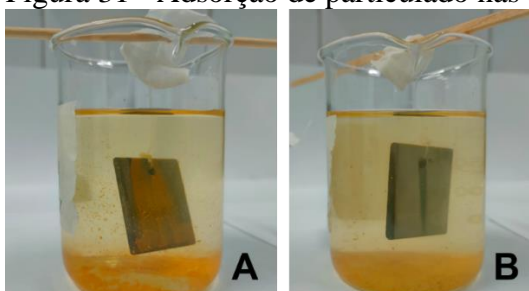
4.1.11.2. Ensaio de perda de massa com soluções contendo NaCl

Para o ensaio de imersão de solução de cloreto de sódio 3,5%, o meio que continha somente o sal em poucos instantes após a imersão das amostras de metais apresentou a tonalidade levemente amarelada, semelhante a solução utilizada no ensaio em meio ácido (H₂SO₄).

O meio salino que continha a glicerina, só veio apresentar uma tonalidade levemente amarelada após as 24 horas e a solução salina sem utilização do inibidor apresentou a formação de particulado mais densas, tornando a solução no tom amarelado mais forte. O decantamento no fundo do béquer com formação do particulado foi presente em todo o tempo decorrido do ensaio.

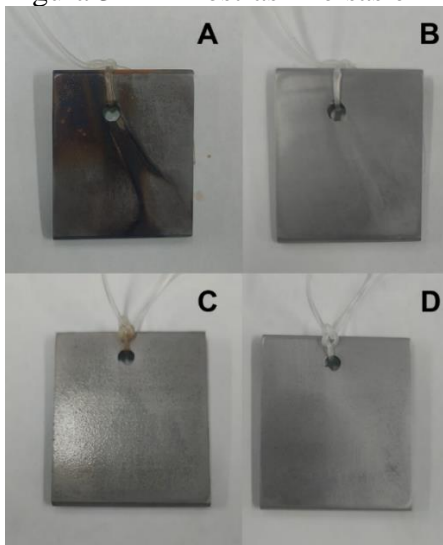
As amostras em estudo imersas em solução com o aditivo, no decorrer do ensaio após as 96 horas, apresentaram-se uma formação escurecida sobre a peça principalmente nas bordas, que eram facilmente retiradas após a imersão na solução de Clark. Esse comportamento se manteve até o final do ensaio. A solução que continha glicerina apresentou partículas bem menores em relação a solução que continha somente o cloreto de sódio, bem como menor adsorção a superfície do metal para as amostras em solução com inibidor. (Figura 31).

Figura 31 - Adsorção de particulado nas amostras.



Legenda: (A) solução sem glicerina; (B) solução com glicerina. Fonte: Autor (2023).

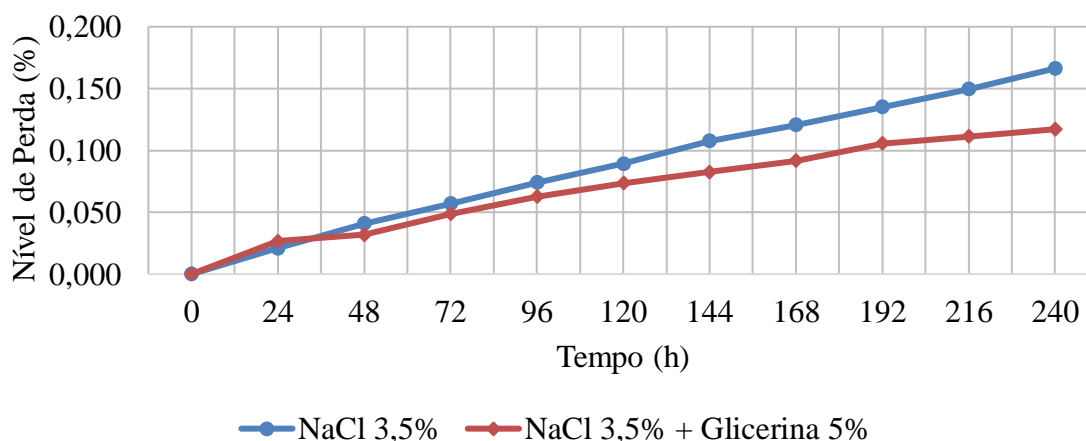
Figura 32 - Amostras imersas em 240 horas nas soluções com e sem glicerina em NaCl.



Legenda: Amostras em solução sem glicerina (A) antes da limpeza e (B) após a limpeza em solução de Clark; Amostras em solução com glicerina (C) antes da limpeza e (D) após a limpeza em solução de Clark; Fonte: Autor (2023).

Esse comportamento pode estar relacionado com a interação da glicerina com o metal na solução em estudo. Tal comportamento pode ser refletido no gráfico que apresenta o resultado da perda de massa. De acordo com os dados essa concentração de glicerina de cinco por cento apresentou um resultado levemente positiva a partir das 96 horas de análise, onde durante esse processo houve uma redução na perda de massa do aço.

Figura 33 - Gráfico da perda de massa entre as soluções de NaCl (branco) e glicerina (5%).



Fonte: Autor (2023).

Em decorrência dos valores alcançados com esse ensaio gravimétrico de imersão, a glicerina em meio salino apresentou oscilação de eficiência em diferentes períodos do ensaio. Em 48 horas 24,58% de eficiência, mostrando-se eficaz nas 144 horas com 25,8%, acima de 26% após as 168 horas e atingindo o pico máximo de 31,8% de eficiência após as 240 horas de análise. A tabela a seguir pode mostrar em detalhes a eficiência apresentada a cada 24 horas de ensaios realizados em 10 dias consecutivos.

Tabela 22 - Parâmetros de perda de massa em amostras imersas em NaCl 3,5%.

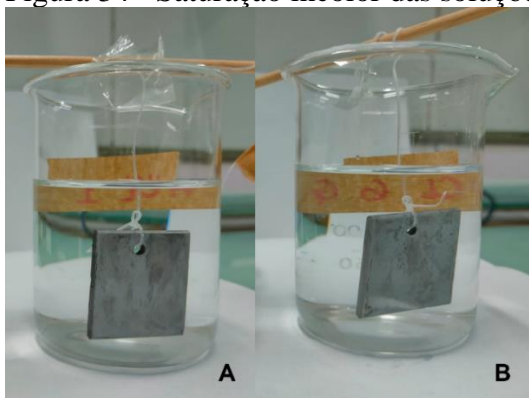
| Tempo de Imersão (horas) | Solução Sem Glicerina (Branco) | | Solução com Glicerina 5% | | % IE |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------|
| | % Δm | TC (mm/y) | % Δm | TC (mm/y) | |
| 24 | 0,02100 | 3,53177E-09 | 0,02663 | 4,33593E-09 | -22,77 |
| 48 | 0,04097 | 3,44582E-09 | 0,03192 | 2,5987E-09 | 24,58 |
| 72 | 0,05698 | 3,19505E-09 | 0,04863 | 2,63973E-09 | 17,38 |
| 96 | 0,07411 | 3,11636E-09 | 0,06265 | 2,55037E-09 | 18,16 |
| 120 | 0,08925 | 3,00264E-09 | 0,07339 | 2,3901E-09 | 20,40 |
| 144 | 0,10773 | 3,02022E-09 | 0,08258 | 2,24112E-09 | 25,80 |
| 168 | 0,12063 | 2,89888E-09 | 0,09159 | 2,1305E-09 | 26,51 |
| 192 | 0,13521 | 2,84308E-09 | 0,10573 | 2,15204E-09 | 24,31 |
| 216 | 0,14956 | 2,79531E-09 | 0,11132 | 2,0141E-09 | 27,95 |
| 240 | 0,16625 | 2,79649E-09 | 0,11715 | 1,90755E-09 | 31,79 |

Legenda: % Δm : Perda de massa relativa; TC: Taxa de corrosão; %IE: Eficiência do inibidor. Fonte: Autor (2023).

4.1.11.2. Ensaio de perda de massa com soluções contendo HCl

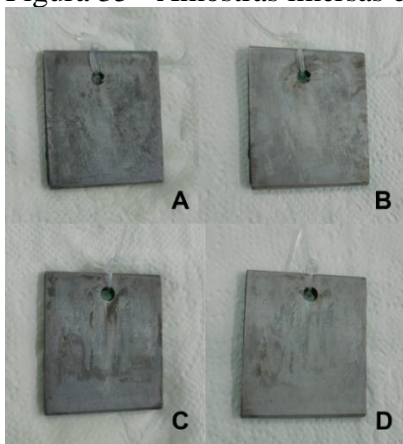
Para o ensaio de imersão utilizando o ácido clorídrico, nas primeiras 24 horas houve formação de bolhas, mas sem alteração da tonalidade da solução em ambos os casos, tanto no branco quanto na com adição de glicerina. A partir das 72 horas de ensaio as soluções em estudos não apresentaram mais formação de gás e a tonalidade incolor das soluções se mantiveram exatamente iguais desde o início até o final análise. Para os dados coletados a tabela a seguir pode mostrar em detalhes a eficiência apresentada a cada 24 horas de ensaios realizados em 10 dias consecutivos.

Figura 34 - Saturação incolor das soluções que continha HCl após 240 horas



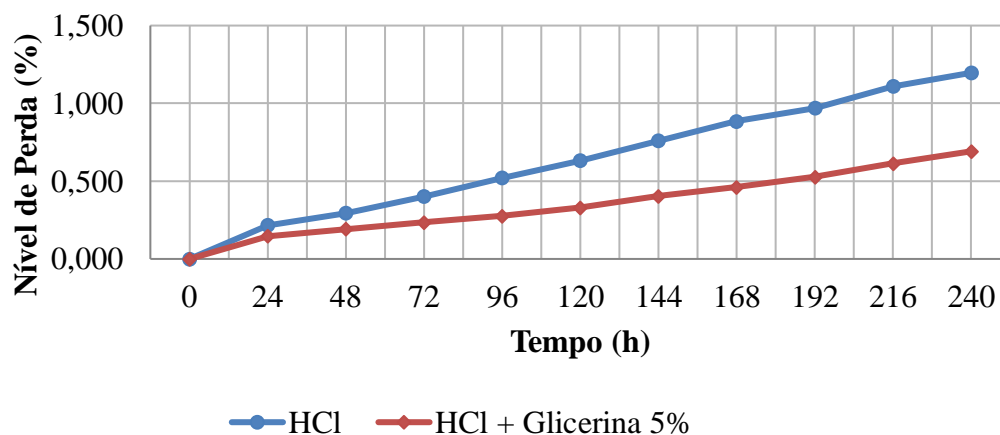
Legenda: (A) solução sem glicerina e (B) solução com glicerina; Fonte: Autor (2023).

Figura 35 - Amostras imersas em 240 horas nas soluções com e sem glicerina em HCl



Legenda: Amostras em solução sem glicerina (A) antes da limpeza e (B) após a limpeza em solução de Clark; Amostras em solução com glicerina (C) antes da limpeza e (D) após a limpeza em solução de Clark; Fonte: Autor (2023).

Figura 36 - Perda de massa entre as soluções de HCl (branco) e glicerina (5%).



Fonte: Autor (2023).

Tabela 23 - Parâmetros de perda de massa em amostras imersas em HCl 0,1 mol/L.

| Tempo de Imersão (horas) | Solução Sem Glicerina (Branco) | | Solução com Glicerina 5% | | % IE |
|--------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|-------|
| | % Δm | TC (mm/y) | % Δm | TC (mm/y) | |
| 24 | 0,215938725 | 3,56E-08 | 0,147010637 | 2,42E-08 | 32,12 |
| 48 | 0,295353119 | 2,44E-08 | 0,192322493 | 1,58E-08 | 35,07 |
| 72 | 0,402422931 | 2,21E-08 | 0,235163681 | 1,29E-08 | 41,73 |
| 96 | 0,520427649 | 2,15E-08 | 0,275738177 | 1,13E-08 | 47,17 |
| 120 | 0,63273255 | 2,09E-08 | 0,329321624 | 1,08E-08 | 48,10 |
| 144 | 0,760586559 | 2,09E-08 | 0,404745297 | 1,11E-08 | 46,94 |
| 168 | 0,885917144 | 2,09E-08 | 0,460563227 | 1,08E-08 | 48,16 |
| 192 | 0,970382168 | 2,00E-08 | 0,526914124 | 1,08E-08 | 45,86 |
| 216 | 1,109490754 | 2,03E-08 | 0,613027733 | 1,12E-08 | 44,91 |
| 240 | 1,196148235 | 1,97E-08 | 0,691511684 | 1,14E-08 | 42,36 |

Legenda: % Δm : Perda de massa relativa; TC: Taxa de corrosão; %IE: Eficiência do inibidor. Fonte: Autor (2023).

Um dos meios mais agressivos para os metais é a solução ácida de ácido clorídrico, que é utilizada em diversas aplicações industriais, como limpeza, decapagem e extração de petróleo. Nesse meio, os metais sofrem uma dissolução rápida e intensa, que pode comprometer sua integridade e funcionalidade. A glicerina tem a capacidade de aderir na superfície metálica e formar uma camada protetora que impede o contato do metal com o meio corrosivo. As concentrações das soluções utilizadas nesse ensaio com glicerina como inibidor de corrosão em solução ácida foram promissoras.

Observou-se uma significativa redução na taxa de corrosão das amostras imersas com glicerina em comparação com as amostras da solução controle. Este efeito inibidor da glicerina foi evidenciado pela diminuição da perda de massa das amostras e pelos dados gerados evidenciando as porcentagens das taxas de eficiência na proteção contra a corrosão em ambientes agressivos.

Os valores alcançados no ensaio gravimétrico, a glicerina em meio ácido mostrou eficiência superior aos ensaios com ácido sulfúrico e cloreto de sódio em todos períodos dos testes. Nas 24 horas o inibidor em meio ácido apresentou 32,12% de eficiência, mostrando-se eficaz com valores acima da eficiência máxima obtida com a solução de NaCl que foi de 31,79% ao final do tempo decorrido de 240 horas. A solução de glicerina em meio de H₂SO₄ em todo o período do ensaio, sua eficiência não ultrapassou 7,55%. O pico máximo de 48,16% de eficiência do inibidor em meio ácido foi observado às 168 horas de análise.

Além disso, a análise da superfície das amostras tratadas com glicerina revelou uma menor presença de sinais de corrosão (Figura 35), demonstrando a capacidade do inibidor em proteger a superfície do material. Esses resultados sugerem que a glicerina possui um potencial significativo como inibidor e que pode ter aplicações relevantes em diversos setores industriais que lidam com materiais sujeitos à corrosão.

Em um estudo realizado por Jacby *et al.* (2018), foi avaliada a eficiência da glicerina como inibidor de corrosão para o aço carbono 1020 em solução de ácido clorídrico 1 mol/L. Os resultados mostraram que a glicerina na concentração de 2% (v/v) teve uma eficiência de 77,82%, reduzindo significativamente a taxa de corrosão do metal. Os autores também observaram que a eficiência da glicerina diminuiu com o aumento da temperatura, indicando que o processo de adsorção é endotérmico.

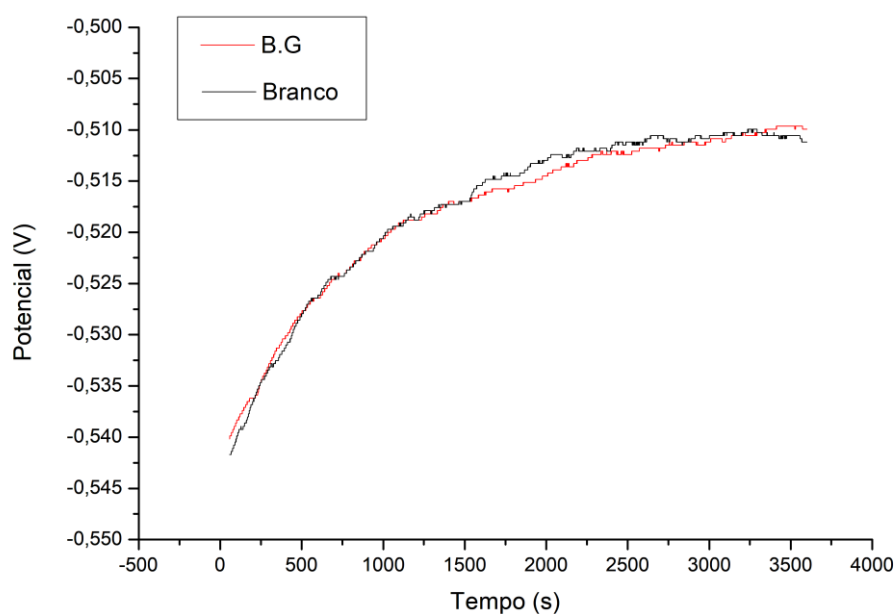
Outros estudos também têm demonstrado o potencial da glicerina como inibidor de corrosão em meio ácido, usando diferentes tipos de metais e concentrações de ácido clorídrico. Por exemplo, Torres *et al.* (2016) relataram uma eficiência de 90% para a glicerina na concentração de 600 mg/L em solução de ácido clorídrico 0,5 M sobre o aço carbono API 5L X70. Em suma, os bons resultados obtidos no ensaio de perda de massa comprovam a eficácia da glicerina como inibidor de corrosão em soluções ácidas de ácido clorídrico. Esses dados tem o potencial de impactar positivamente a indústria, oferecendo uma alternativa viável para a proteção contra a corrosão em ambientes ácidos, contribuindo para a preservação e durabilidade de materiais submetidos a tais condições.

5.1.13. Ensaio de potencial de circuito aberto (OCP)

A medição do potencial de circuito aberto (OCP) trata-se do acompanhamento do potencial (V) da amostra em função do tempo de circuito aberto, ou seja, sem aplicação de potencial ou corrente a partir de fontes exteriores, tendo como finalidade acompanhar a tendência à corrosão de um material dentro de uma solução (WOLYNEC, 2003).

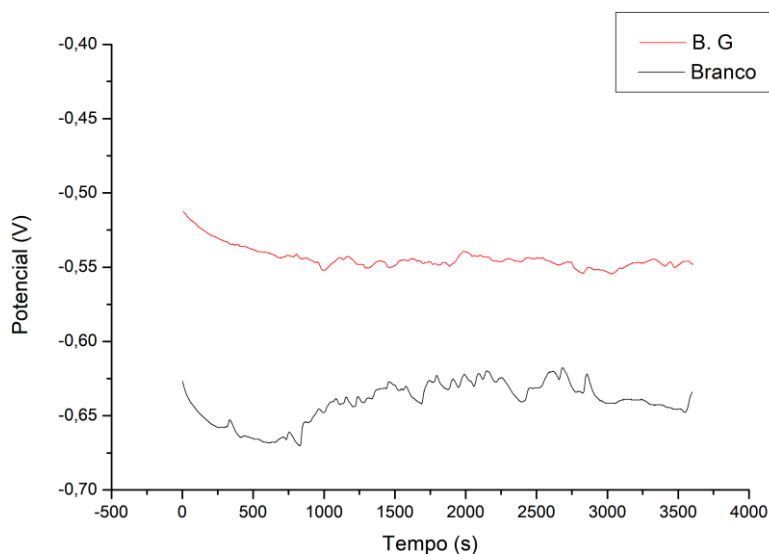
Os ensaios de OCP realizados no aço carbono SAE 1020 nos meios investigados, tanto na ausência quanto na presença de inibidor, demonstraram que os potenciais permaneceram estáveis após 30 minutos de imersão. As curvas de OCP em relação ao tempo, obtidas em todas as condições estudadas, exibiram comportamentos semelhantes, com uma ligeira diminuição nos meios contendo inibidores. O valor médio do potencial foi específico para cada meio ácido, mas sem alterações significativas, diferentemente para o meio salino conforme visto nos gráficos das figuras abaixo.

Figura 37 - Curvas de Potencial de Circuito Aberto em meio ácido (H_2SO_4 0,1 mol/L)



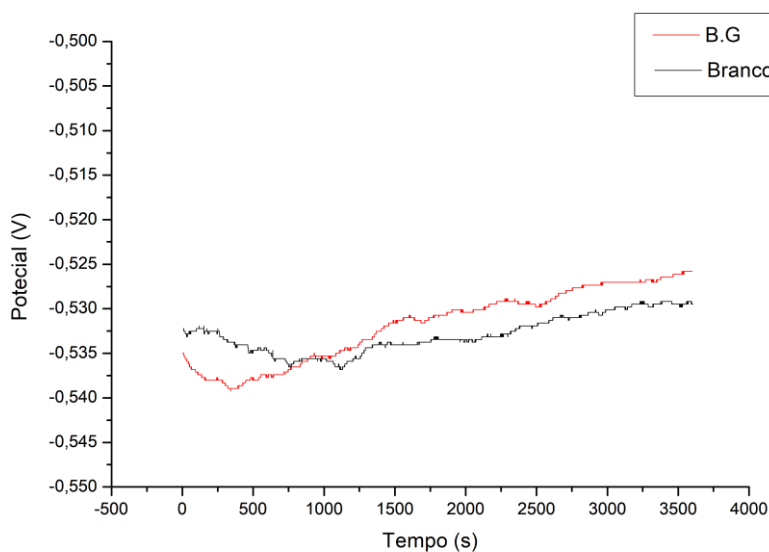
Legenda: “Branco” é a solução controle; “B.G” solução com glicerina 5%. Fonte: Autor (2023).

Figura 38 - Curvas de Potencial de Circuito Aberto em meio salino (NaCl 3,5%)



Legenda: “Branco” é a solução controle; “B.G” solução com glicerina 5%. Fonte: Autor (2023).

Figura 39 - Curvas de Potencial de Circuito Aberto em meio ácido (HCl 0,1 mol/L)



Legenda: “Branco” é a solução controle; “B.G” solução com glicerina 5%. Fonte: Autor (2023).

A partir da observação geral das curvas, pode-se inferir que as concentrações empregadas nesses casos em soluções ácidas não foram as mais promissoras, principalmente quando confrontadas com a situação de ausência do inibidor. Para a solução de NaCl 3,5% Figura 38, houve um decaimento provocado na curva com a adição da glicerina em relação ao branco (sem inibidor), mostrando que o material está apresentando tendência a valores mais positivos, indicando resistência à corrosão. Em relação ao OCP em meios ácidos, pode-se

observar que a adição do inibidor para as soluções de H_2SO_4 0,1 mol/L e HCl 0,1 mol/L (Figura 37 e Figura 39) não provocou diferença do potencial para valores em relação ao sistema sem inibidor.

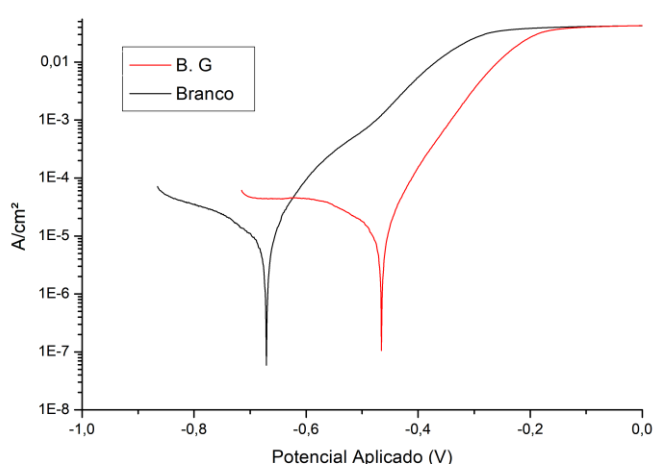
Diferentemente do meio salino, que apresentou um resultado diligente. Dessa forma, as medições do potencial de circuito aberto não são suficientes para determinar a eficiência do inibidor; para isso, foram empregadas técnicas mais acuradas, como espectroscopia de impedância eletroquímica e curva de polarização.

5.1.14. Polarização potenciodinâmica

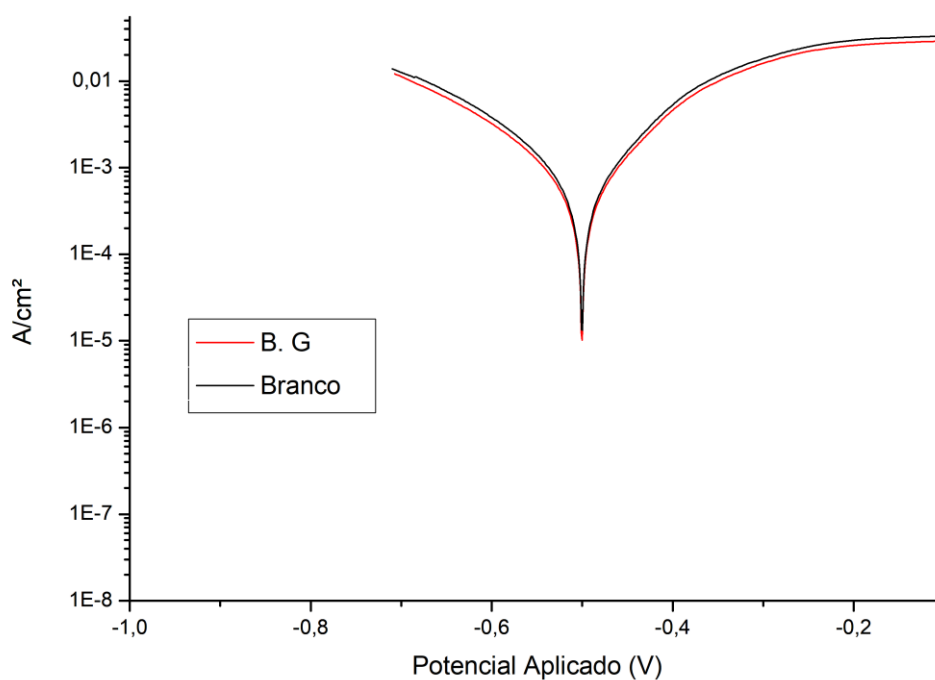
Pela análise dos gráficos para os ensaios utilizando HCl e H_2SO_4 , as curvas são praticamente idênticas o que leva a compreender que utilizando esse tipo de concentração o efeito nesse ensaio com a glicerina é similar em relação ao ensaio realizado com a solução controle (branco), a diferença é mínima quando se trata das inclinações das regiões anódicas e catódicas vistas nos gráficos em soluções ácidas.

O que diverge a diferença nos resultados obtidos nos ensaios de perda massa para as soluções com ácido clorídrico, onde a adição do inibidor apresentou uma significativa eficiência máxima de 48,16% na redução da corrosão em relação ao meio salino (eficiência máxima de 31,79%) e em meio utilizando ácido sulfúrico (eficiência máxima de 7,55%).

Figura 40 - Curva de polarização compilada em meio salino (NaCl 3,5%).

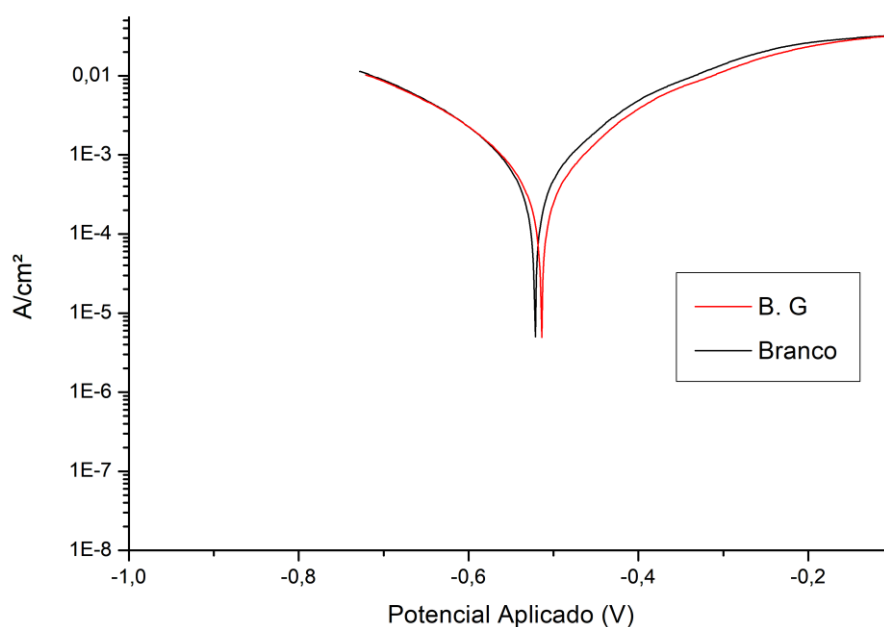


Legenda: “Branco” é a solução controle; “B.G” solução com glicerina 5%. Fonte: Autor (2023).

Figura 41 - Curva de polarização compilada em meio ácido (H_2SO_4 0,1 mol/L).

Legenda: "Branco" é a solução controle; "B.G" solução com glicerina 5%. Fonte: Autor (2023).

Figura 42 - Curva de polarização compilada em meio ácido (HCl 0,1 mol/L)



Legenda: "Branco" é a solução controle; "B.G" solução com glicerina 5%. Fonte: Autor (2023).

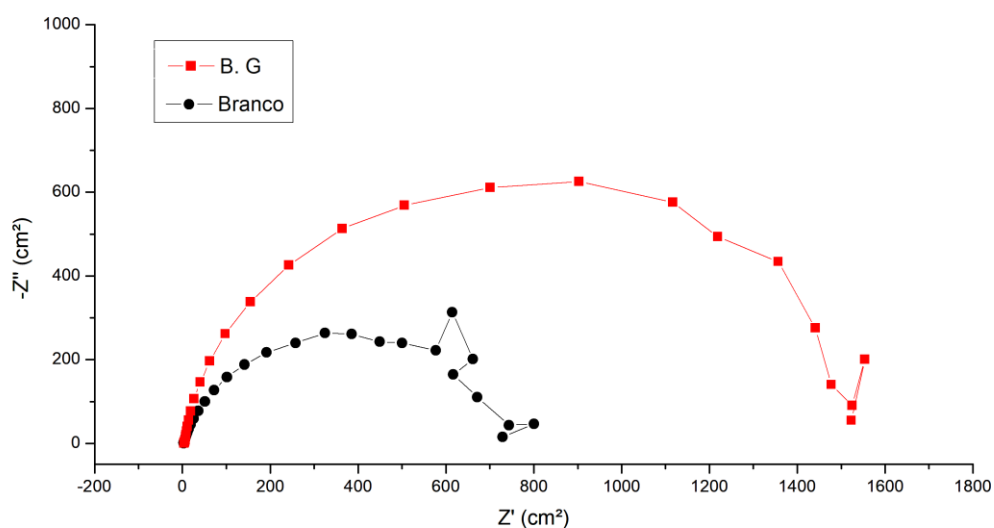
Ao analisar as figuras 40, 41 e 42, é possível observar que, com a exceção das figuras 41 e 42, que representam os ensaios em meios ácidos, na figura 40, em meio salino, há uma clara tendência de deslocamento das curvas para a diminuição da densidade de corrente em

relação à amostra com a presença do inibidor (glicerina). Para a concentração 5% de glicerina utilizada nos ensaios, esses resultados positivos confirmam a eficiência do inibidor na redução do processo corrosivo, esses dados condizem e correlacionam com os dados obtidos no ensaio de perda de massa e de espectroscopia de impedância eletroquímica. evidenciando sua atuação positiva nesse contexto.

5.1.15. Ensaio de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE)

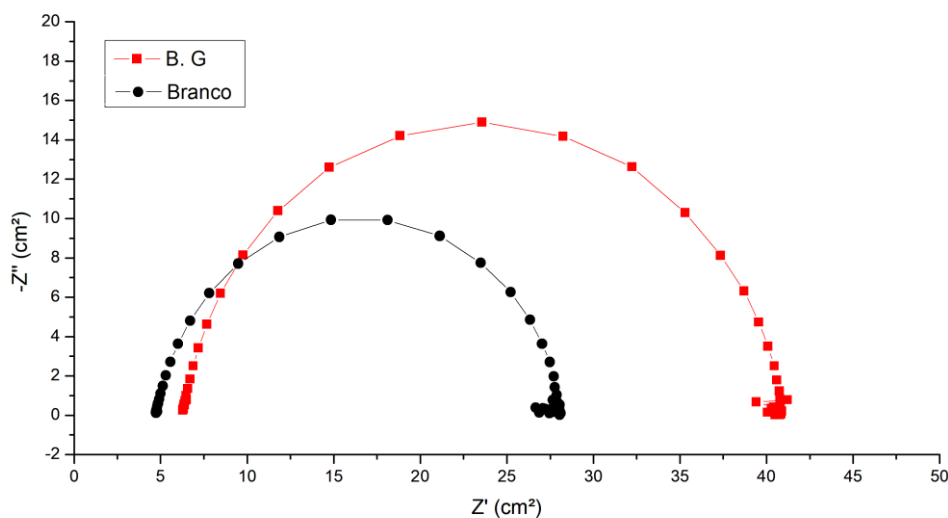
Uma forma de estudar a reação eletroquímica da impedância é modelá-la como um circuito elétrico equivalente, que consiste em elementos passivos como resistores, capacitores e indutores. O diagrama de Nyquist é uma ferramenta gráfica que mostra a relação entre a impedância real e a impedância imaginária (ou complexa) do circuito em função da frequência. O formato do semicírculo no diagrama indica o grau de resistência à corrosão do material, sendo que quanto maior o raio do semicírculo na direção horizontal, maior é a resistência e menor é a taxa de corrosão.

Figura 43 - Diagramas de Nyquist compilado em solução de NaCl 3,5%.



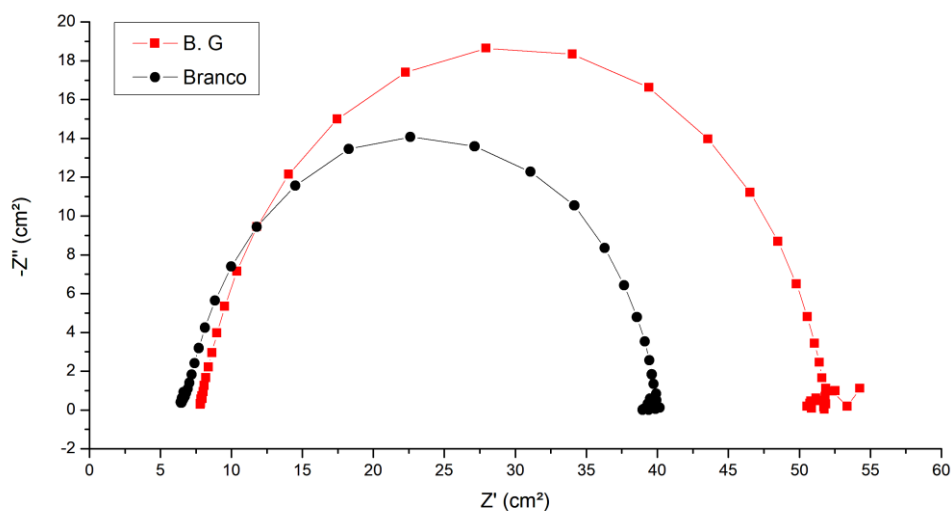
Legenda: “Branco” é a solução controle; “B.G” solução com glicerina 5%. Fonte: Autor (2023).

Figura 44 - Diagramas de Nyquist compilado em solução de H_2SO_4 0,1 mol/L



Legenda: “Branco” é a solução controle; “B.G” solução com glicerina 5%. Fonte: Autor (2023).

Figura 45 - Diagramas de Nyquist compilado em solução de HCl 0,1 mol/L



Legenda: “Branco” é a solução controle; “B.G” solução com glicerina 5%. Fonte: Autor (2023).

O arco capacitivo indica a formação de um filme protetor e, acarretando aumento no valor da resistência a transferência de carga e redução na capacitância da dupla camada elétrica. A curva de impedância para a amostra com glicerina apresenta um arco capacitivo significativamente maior do que o branco, indicando uma maior resistência à transferência de carga na interface metal/eletrólito.

Esse resultado sugere que a glicerina atua como um inibidor de corrosão, formando uma camada protetora sobre a superfície do aço e reduzindo a reação de oxidação. O arco capacitivo apresenta uma magnitude ligeiramente superior nas amostras submetidas a ambientes mais agressivos (H_2SO_4 e HCl) em comparação com outros potenciais observados na solução salina. Este fenômeno pode ser atribuído à presença de um filme de baixa espessura na liga, formado em contato com a glicerina na solução.

À medida que o potencial aumenta observa-se uma diminuição na capacitância do filme, resultando em uma resistência reduzida nas soluções ácidas. Em potenciais superiores ao pico de corrente, ocorre um aumento na capacitância, indicando a formação de um filme, conforme demonstrado nas amostras com glicerina em meio salino.

Pode-se observar também que a frequência na qual ocorre o máximo do arco capacitivo é menor para a amostra com glicerina do que para o branco, o que implica em uma menor constante de tempo e, conseqüentemente, em uma menor capacitância da dupla camada elétrica. Isso pode ser explicado pelo fato de que a glicerina altera a viscosidade do meio e diminui a difusão dos íons. Portanto, a amostra com glicerina apresenta uma cinética de corrosão mais lenta que o branco, conforme evidenciado pelos arcos pela análise das curvas de impedância.

6. CONCLUSÕES

Este estudo alcançou todos os seus objetivos propostos, proporcionando uma compreensão profunda e abrangente do papel da glicerina na argamassa e como aditivo verde anticorrosivo. A caracterização do agregado forneceu informações cruciais para a produção de argamassa, sendo essencial para a compreensão de suas propriedades e o impacto dessas na qualidade e eficácia da argamassa. A resistência à compressão apresentou melhorias significativas com a adição de 5% de glicerina. No que diz respeito à carbonatação, não foi observado nenhum processo de carbonatação nas amostras estudadas durante o período dos ensaios. A penetração de íons cloreto foi notavelmente reduzida com a adição de glicerina à mistura de argamassa, melhorando a capacidade da matriz das amostras de reter cloretos.

Estes resultados reforçam a importância da seleção adequada dos componentes da argamassa para garantir a sua durabilidade e eficácia. A perda de massa e a eficiência de inibição apresentaram comportamentos distintos em meio salino e em meios ácidos. Os ensaios eletroquímicos revelaram que as soluções de HCl e H₂SO₄ apresentaram resultados pouco promissores, em contraste com a solução de NaCl, que apresentou dados positivos.

Os resultados obtidos neste estudo destacam a importância da continuidade das pesquisas na área de inibidores verdes e na produção de argamassas. A adição de glicerina demonstrou melhorias significativas na resistência à compressão e na retenção de íons cloreto, indicando um caminho promissor para o desenvolvimento de argamassas mais duráveis e eficazes.

No entanto, ainda existem muitos aspectos que precisam ser explorados, como a otimização da quantidade de glicerina e a investigação de outros aditivos potenciais. Além disso, os ensaios eletroquímicos em diferentes soluções revelaram comportamentos distintos, sugerindo a necessidade de estudos mais aprofundados para entender completamente esses fenômenos. Portanto, é crucial que a pesquisa nesta área continue, com o objetivo de aprimorar ainda mais a qualidade e a eficácia das argamassas e inibidores verdes de corrosão. A continuidade desses estudos não só contribuirá para o avanço do conhecimento científico, mas também terá um impacto direto na indústria da construção, melhorando a durabilidade e a eficiência dos materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEEOLICA. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/07/ABEEOLICA_BOLETIMANUAL-2021_PORT.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2023.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação da granulometria do agregado miúdo. NBR 17054, Rio de Janeiro, 2022.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação da massa unitária do agregado miúdo. NBR 16972, Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação da massa específica agregado miúdo. NBR 16916, Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação de teor de material pulverulento. NBR 16973, Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação de teor de argilas e torrões. NBR 7218, Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação de impurezas orgânicas. NBR NM 49, Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação do inchamento de agregado miúdo. NBR 6467, Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Confecção dos corpos de prova de argamassa para o ensaio. NBR 7215, Rio de Janeiro, 2019.
- ADAMES, L. V. et al. Hydrogen production in anaerobic continuous flow reactor using crude glycerol from biodiesel production. **Revista Materia**, v. 26, n. 2, p. 11, 2021.
- ALCANTARA, K. et al. Etilenodiamina como inibidor da corrosão dos aços inoxidáveis austenísticos 304 e 316 em meio ácido em meio ácido. **Revista UNIVAP**, p. 191–200, 2019.
- ALREFAEE, S. H. Effect of alkyl chain length and halide ions on the corrosion inhibition potential of imidazolium and pyridinium based ionic liquids: Computational studies. **Journal of Molecular Liquids**, v. 344, p. 117848, 2021.
- ARIANE VARELLA DA SILVA, AMANDA LACERDA DAS CHAGAS, DALVA CRISTINA BAPTISTA DO LAGO, L. F. DE S. Avaliação preliminar de inibidores verdes no controle da corrosão de aço carbono em meio ácido. p. 122, maio 2018.
- AUGUSTO, C.; SOFIA, A. L. CARBONATAÇÃO DE ARGAMASSAS MISTAS PRODUZIDAS COM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO. **7º ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO**, v. d, n. 2015, p. 142–149,

5 nov. 2021.

BERDIMURODOV, E. et al. Novel bromide–cucurbit[7]uril supramolecular ionic liquid as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 901, n. October, p. 20, 2021.

BRONHOLO, J. H. **Efeitos Da Temperatura Da Água De Amassamento Na Resistência Do Concreto**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Curitiba, 2013.

CARDOSO, T. S. et al. Uma revisão da utilização de catalisadores heterogêneos para a produção de biodiesel. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 1, p. 240–276, 2020.

CARVALHO, K. G. A. DE et al. Extrato da casca de laranja como inibidor de corrosão. **Revista Exatamente Newton**, v. 1, p. 125–134, 2020.

CERQUEIRA, N. ET AL. **Avaliação da degradação mecânica do concreto reforçado com fibras de aço sob fadiga : aplicação em torres eólicas** Brazil Windpower International Congress São Paulo 2021, , 2021. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Vitor-Monteiro-](https://www.researchgate.net/profile/Vitor-Monteiro-4/publication/363195277_Avaliacao_da_degradacao_mecanica_do_concreto_reforcado_com_fibras_de_aco_sob_fadiga_aplicacao_em_torres_eolicas/links/6310f44461e4553b95580b04/Avaliacao-da-degradacao-mecanica-do-)

[4/publication/363195277_Avaliacao_da_degradacao_mecanica_do_concreto_reforcado_com_fibras_de_aco_sob_fadiga_aplicacao_em_torres_eolicas/links/6310f44461e4553b95580b04/Avaliacao-da-degradacao-mecanica-do->](https://www.researchgate.net/profile/Vitor-Monteiro-4/publication/363195277_Avaliacao_da_degradacao_mecanica_do_concreto_reforcado_com_fibras_de_aco_sob_fadiga_aplicacao_em_torres_eolicas/links/6310f44461e4553b95580b04/Avaliacao-da-degradacao-mecanica-do-)

CESAR DE OLIVEIRA, J. et al. **Bionibidores de Corrosão: Uma revisão**. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/43078>>. Acesso em: 2 jan. 2024.

CHEN, Z. et al. Development of a BV-TDDFT model for metal corrosion in aqueous solution. **Chemical Engineering Science**, v. 248, p. 117267, 2022.

CIPRIANO DE FARIAS, G.; DA SILVA, S. Análise da evolução da profundidade de carbonatação em estruturas de concreto ao longo do tempo. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil - UNESC**, p. 1–19, 2013.

CORSO, M. et al. Incorporação de óxido de grafeno em argamassa de revestimento: uma visão sustentável. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 1, p. 297–312, 2020.

COSTA, V. A. F. **Avaliação Do Nonilfenol Etoxilado 9,5 Como Inibidor De Corrosão Do Aço Sae 1020 Em Meio Salino Através Da Técnica De Espectroscopia De Impedância Eletroquímica**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO, 2019.

CUSTÓDIO, A. C. et al. Purificação Simplificada do Rejeito de Glicerina Bruta da Produção de Biodiesel da Biorrefinaria Berso-UFPE: Uma Prática Sustentável Simple Purification Process of Waste Glycerol from Berso-Ufpe Biorefinary Biodiesel Production: A Sustainable Practice Rev. **Revista Brasileira de Geografia Física** v, v. 15, p. 2226–2237, 2022.

- DA ROCHA, J. C.; GOMES, J. A. DA C. P. Obtenção de inibidores de corrosão a partir de extratos de produtos naturais. **Revista Materia**, v. 22, p. 1–10, 2017.
- DANTAS, T. Í. DE A. Aspectos De Análise Termomecânica E De Rigidez De Concretos Para Torres Eólicas. **CONCRETO & Construções**, v. XLVIII, n. 98, p. 47–57, 2020.
- DESSUPOIO FERNANDES, L.; PRESSENTIN CARDOSO, S. Extrato De Ora-Pro-Nobis Como Inibidor De Corrosão. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia - ISSN: 1984-5693**, v. 15, p. 1–12, 2023.
- DEYAB, M. A. et al. Theoretical and experimental investigation of four ionic liquids for their ability to prevent carbon steel corrosion in 1 M HCl. **Journal of Molecular Liquids**, v. 349, p. 118414, 2022.
- FILHO, S. K. Influência da espessura de revestimentos de argamassa no desempenho acústico de alvenarias de blocos cerâmicos. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 145–156, 2019.
- GALLAS, C. et al. DIAGNOSIS OF PATHOLOGICAL MANIFESTATION FOR. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR-ISSN 2358-5420**, p. 1–13, 2019.
- GAO, X. et al. Pyrazole ionic liquid corrosion inhibitor for magnesium alloy: Synthesis, performances and theoretical explore. **Journal of Molecular Liquids**, v. 353, p. 118769, 2022.
- GARCIA, A. C. D. ESTUDO E AVALIAÇÃO DA DIMINUIÇÃO DA CORROSÃO NO AÇO CARBONO UTILIZANDO INIBIDOR EM DIFERENTES MEIOS. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, 2022.
- GONÇALVES, L. C. R. O EFEITO DO REBOCO NA RESISTÊNCIA À O EFEITO DO REBOCO NA RESISTÊNCIA À. [s.l.] Universidade do Minho, 2021.
- GURJAR, S. et al. Performance of imidazolium based ionic liquids as corrosion inhibitors in acidic medium: A review. **Applied Surface Science Advances**, v. 6, p. 100170, 2021.
- HERNÁNDEZ-BRAVO, R. et al. Experimental and theoretical study on the effectiveness of ionic liquids as corrosion inhibitors. **Computational and Theoretical Chemistry**, v. 1210, n. February, p. 11, 2022.
- JANTSCH, A. C. A. et al. Avaliação do comportamento de revestimentos em argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 81–99, 2021.
- JUNIOR, F. CARLOS G. DA S. ANÁLISE DA CORROSÃO EM TORRES DE SUSTENTAÇÃO DE AEROGERADORES: CAUSAS E MITIGAÇÃO. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2022.
- KARAHAN, İ. H.; AMINIFAZL, A.; GOLDEN, T. D. Effect of TMAB concentration on structural, mechanical and corrosion properties of electrodeposited Ni–B alloys. **Journal of the**

Indian Chemical Society, v. 99, n. April, p. 100467, 2022.

KOBZAR, Y. L.; FATYEYEVA, K. Ionic liquids as green and sustainable steel corrosion inhibitors: Recent developments. **Chemical Engineering Journal**, v. 425, n. July, p. 131480, 2021.

LEONARDO, R.; TEIXEIRA, P.; PESSOA, Z. S. INTERFACES ENTRE ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA E ENERGIAS RENOVÁVEIS : NOTAS PARA UM DEBATE TEÓRICO-INTERFACES BETWEEN CLIMATE ADAPTATION AND RENEWABLE. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. Iv, p. 144–156, 2022.

LIMA, A. S. **AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE MORINDA CITRIFOLIA L. COMO INIBIDOR DE CORROSÃO DO AÇO CARBONO ASTM A178 EM MEIOS ÁCIDOS**. [s.l.] IFCE Campus Maracanaú, 2020.

LOPES, D. F. et al. Reaproveitamento De Estéril De Mineração Como Agregado Graúdo Para Fabricação De Concreto. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, v. 17, n. 1, p. 30–36, 2020.

LOPES, H. M. T.; PEÇANHA, A. C. C.; CASTRO, A. L. DE. Considerations on the efficiency of Portland cement concrete mixtures based on the particle packing concept. **Revista Materia**, v. 25, n. 1, p. 16, 2020.

LOSEKANN, L.; TAVARES, A. Transição Energética E Potencial De Cooperação Nos Brics. **Ipea**, n. 1, p. 1–71, 2020.

MACHADO, M. G. DE A. **BENEFÍCIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO ESTADO DO CEARÁ - BRASIL**. [s.l.] Universidade do Porto, 2020.

MAINIER, F. B.; SILVA, R. R. DE C. M. DA. As Formulações Inibidoras De Corrosão E O Meio Ambiente. **Engevista**, v. 6, n. 3, p. 106–112, 2010.

MEIER, D. **Análise da qualidade do agregado miúdo fornecido em curitiba e região metropolitana**. [s.l.] UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS ECOVILLE, 2011.

MOTA, C. J. A.; SILVA, C. X. A. D.; GONÇALVES, V. L. C. Glycerochemistry: New Products and Processes from Glycerin of Biodiesel Production. **Quimica Nova**, v. 32, n. 3, p. 639–648, 2009.

MOTA, D. M. P. et al. Adição Da Cinza Da Folha De Bananeira Na Argamassa. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 55, 2020.

NETO, M. M.; SUSSI, K.; OLIVEIRA, M. Revisão sistemática da literatura : Produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura Systematic literature review : Biodiesel production from residual frying oil Revisión sistemática de la literatura : Producción de biodiésel a partir

- de aceite. **Research, Society and Development**, v. 2022, p. 1–14, 2022a.
- NETO, M. M.; SUSSI, K.; OLIVEIRA, M. Produção de biodiesel a partir do óleo de soja , milho , girassol e canola por transesterificação : uma revisão sistemática Biodiesel production from soybean , corn , sunflower and canola oil by transesterification : a Producción de biodiesel a partir de a. **Research, Society and Development**, v. 2022, p. 1–18, 2022b.
- NORONHA, D. V. C.; CUNHA, J. D. DA. Inibidores de corrosão da linha verde: Estado da arte. **Universidade Federal Rural Do Semiárido - Ufersa**, p. 1–12, 2020.
- OLIVEIRA, D. DA S. et al. Valorização do glicerol através da desidratação em acetol e acroleína empregando zeólitas hierarquizadas por tratamento alcalino: uma revisão: desidratação do glicerol em acetol e acroleína por zeólitas hierarquizadas. **Revista Perspectiva**, v. 45, n. 171, p. 111–124, 2021.
- OLIVEIRA JÚNIOR, E. DE. **Análise econômica preliminar da produção de biossurfactantes ramnolipídicos por Pseudomonas aeruginosa utilizando glicerina bruta como matéria-prima Projeto Final em Engenharia de Bioprocessos**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2022.
- PANOSSIAN, Z. Corrosão do aço-carbono em ácido sulfúrico concentrado. **INTERCORR**, p. 24, 2012.
- PEDRO SALOMÃO, ANDRÉ SANTOS, A.; SANTIAGO. Aspectos gerais do concreto armado e os procedimentos técnicos para sua utilização. **Suparyanto dan Rosad (2015)**, v. 5, n. 3, p. 248–253, 2020.
- PEREIRA, A. C. Síntese De Biodiesel, Glicerol, Solketal E Éter De Solketal. **Ufvjm**, v. 1, p. 1–476, 2019.
- PERES DE SOUSA, J. et al. Study of the efficiency of orbignya oleifera as a green corrosion inhibitor for low carbon steel compared to commercial inhibitor in 1M HCL solution. **Revista Materia**, v. 24, n. 3, p. 13, 2019.
- POSSANI, G. K. **TECNOLOGIA VERDE: ÁCIDO TÂNICO COMO INIBIDOR DE CORROSÃO PARA O AÇO CARBONO**2021, , 2021. (Nota técnica).
- RODRIGUES, C. V. et al. Biossistemas integrados na codigestão do glicerol bruto em resíduos agroindustriais para a geração de H₂ e CH₄. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 2, p. 14, 2021.
- ROVERE, B. O.; RODRIGUES, J. H.; TELEKEN, J. G. Redução do índice de acidez através da neutralização e esterificação para produção de biodiesel. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24678–24686, 2020.
- S. CARDOSO, W. et al. Utilização Da Areia Marinha Para Produção De Concreto: Estudo De Viabilidade. **Revista Ifes Ciência**, v. 7, n. 1, p. 01–17, 2021.

- SALTARIN, M. J. et al. A logística inversa dos óleos de gorduras residuais na produção de um biodiesel sustentável: uma revisão. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 1, p. 1170–1183, 2023.
- SANTORO, A. S. **SÍNTESE E AVALIAÇÃO DE NOVOS HÍBRIDOS 1,2,4-TRIAZOLISATINA COMO INIBIDORES DE CORROSÃO DO AÇO-CARBONO PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, 2022.
- SANTOS, E. P. DOS. **Mercado no Brasil para o uso de energias renováveis e ações de eficiência energética**. [s.l.] Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2020.
- SANTOS, J. J. DOS; MAZZONETTO, A. W. Aplicações da glicerina no mercado e potencial energético. **Bioenergia em revista: diálogos.**, v. 12, p. 42–64, 2021.
- SCARI, P.; SANTOS, O. Patologias em Estruturas de Concreto Armado. **Revista Boletim do Gerenciamento**, v. 24, p. 01–11, 2021.
- SENISKI, A. et al. Estudo do desempenho do aço carbono AISI 1010 sob o efeito de barreira de revestimento epóxi/HDL-Zn-Al-NO₂- como inibidor de corrosão, via espectroscopia de impedância eletroquímica. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 2, p. 11, 2020.
- SILVA, A. D. DA et al. Propriedades químico-quânticas utilizando o método TFD: uma ferramenta teórica aplicada no estudo de inibidores de corrosão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e2291210499, 2020.
- SILVA, A. F. P. DA. Patologias Em Estruturas De Concreto: Estudo De Caso. p. 10, 2018.
- SIMÃO, C. J. G.; BENIGNO, V. G. **ANÁLISE E PESQUISA DE MERCADO DO PROPILENOGLICOL PRODUZIDO A PARTIR DA GLICERINA ORIUNDA DA PRODUÇÃO DE BODIESEL**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, 2017.
- SOUZA, A.; CARVALHAIS, C. DE A.; DOS SANTOS, W. J. Comparative study between mortar with additive and mortar with hydraulic lime : Analysis of air entraining agent , water retainer and plasticizer. **VI Congresso de Engenharia Civil**, n. Maio, p. 12, 2019.
- SOUZA, J. G. DE et al. Análise Das Condições Das Águas De Poços Freáticos, De Cidade No Semiárido Brasileiro, Utilizadas Como Água De Amassamento Na Produção Local De Concreto E Argamassa. **Congresso Nacional da diversidade do semiárido**, v. 1, n. 1, p. 12, 2018.
- SOUZA, M. H. O. et al. Influência do tipo de cura no comportamento mecânico de argamassas confeccionadas com areia de scheelita. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 14, n. 2, p. 91–94, 2019.
- SOUZA, P. D. D. C. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PÓ DE SEMENTE DE**

ABACATE (PERSEA AMERICANA) COMO INIBIDOR DA CORROSÃO DO AÇO GALVANIZADO EM MEIO ÁCIDO. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2022.

TEIXEIRA, F. R. et al. Avaliação de propriedades relacionadas à penetração de cloretos em concretos produzidos com substituição parcial de cimento por resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 3, 2021.

VALBON, A. et al. Extrato De Hibisco-Colibri Como Inibidor Verde De Corrosão Do Aço-Carbono Em Ácido Sulfúrico. **Química Nova**, v. 42, n. 7, p. 797–802, 2019.

VERMA, C.; EBENSO, E. E.; QURASHI, M. A. Ionic liquids as green and sustainable corrosion inhibitors for metals and alloys: An overview. **Journal of Molecular Liquids**, v. 233, p. 403–414, 2017.

VIEIRA, A. C. F. Energias renováveis e sua eficiência na nova economia energética no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 18, p. 211–223, 2021.

ZAKERI, A.; BAHMANI, E.; AGHDAM, A. S. R. Plant extracts as sustainable and green corrosion inhibitors for protection of ferrous metals in corrosive media: A mini review. **Corrosion Communications**, p. 41, 2022.

ZONG, C. et al. Intensified synthesis of glycerol monocaprylin using ionic liquids by temperature-responsive esterification. **Journal of Molecular Liquids**, v. 359, p. 119255, 2022.

ZORTÉA, J. B. **ESTUDO DO MEIO CORROSIVO E DA CORROSÃO DE DIFERENTES AÇOS CARBONO EM ÁGUA CLARIFICADA DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO DE ÁGUA INDUSTRIAL.** [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2020.