

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CAMPUS AÇAILÂNDIA
CENTRO DE CIÊNCIA HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

GUSTAVO SANTOS FERREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE
FIBRAS DE AÇO E VIDRO SOB CONDICIONANTES FÍSICOS**

AÇAILÂNDIA - MA
2025

GUSTAVO SANTOS FERREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE
FIBRAS DE AÇO E VIDRO SOB CONDICIONANTES FÍSICOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *Campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Esp. Ramon Reis Rodrigues.

**AÇAILÂNDIA - MA
2025**

F383a

Ferreira, Gustavo Santos

Análise comparativa da resistência do concreto com adição de fibras de aço e vidro sob condicionantes físicos / Gustavo Santos Ferreira. – Açailândia: UEMASUL, 2025.
94 f. : il.

Monografia (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2025.

Orientador: Prof. Esp. Ramon Reis Rodrigues.

1. Agentes químicos. 2. CRF. 3. Tenacidade. 4. Reforço. I. Título.

CDU 691

GUSTAVO SANTOS FERREIRA

ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E VIDRO SOB CONDICIONANTES FÍSICOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *Campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Esp. Ramon Reis Rodrigues.

Aprovado em 08/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Ramon Reis Rodrigues

Especialista em Estruturas e Fundações
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Prof. Dra. Regiane Késsias de Sousa Lira

Doutora em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Prof. Me. Diogo Ramon do Nascimento Brito

Mestre em Ciência dos Materiais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Este trabalho eu dedico ao meu senhor Deus, meus pais: Zuleide Santos Ferreira e Francisco Gomes Ferreira e minha noiva Williane Pascoal de Lima Cândido que me apoiaram todos os dias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter sido meu sustento em toda minha caminhada nessa faculdade, que não foi fácil, sem Ti não conseguiria ter chegado até aqui.

Agradeço aos meus pais, Zuleide Santos Ferreira e Francisco Gomes Ferreira, pelo cuidado e apoio, agradeço por sempre priorizarem a vida dos seus filhos em primeiro lugar, amo vocês!

A minha noiva Williane Pascoal de Lima Cândido, por ter me ajudado tanto e estado ao meu lado nos momentos mais difíceis não me deixado desistir, sou grato a ti por ter se doado tanto, te amo!

A meu amigo Walisson Becker, por sempre ter me ajudado e me auxiliado bastante.

Ao meu orientador, professor especialista Ramon Reis Rodrigues, pela ajuda e paciência para me auxiliar no meu projeto.

A equipe da Franco Engenharia por todo o apoio e auxílio.

Ao meu calouro Filipe e meus veteranos Handelon e Lucas, por terem me ajudado na realização dos meus ensaios.

Aos meus amigos de faculdade, que me ajudaram sempre de alguma forma durante o curso.

Minha alma glorifica ao Senhor, meu espírito
exulta de alegria em Deus, meu Salvador.

Lucas 1, 46-47

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa do desempenho do concreto com adição de fibras de aço e de vidro quando exposto a agentes agressivos simulados por soluções químicas. O estudo tem como objetivo principal avaliar a resistência mecânica e a durabilidade do concreto reforçado com fibras, submetido à ação de cloreto e sulfato de sódio, replicando condições adversas comuns em ambientes agressivos. Para isso, foram confeccionados corpos de prova com diferentes teores de fibras metálicas (0,75% e 1,5%) e de fibras de vidro (0,5% e 1%), e avaliados em três idades de cura: 3, 7 e 28 dias. Os ensaios experimentais contemplaram resistência à compressão axial, tração por compressão diametral e ensaios de trabalhabilidade (slump test). Os resultados indicaram que a incorporação de fibras melhora significativamente a resistência pós-fissuração do concreto, sendo as fibras de aço mais eficazes em esforços mecânicos intensos, enquanto as de vidro demonstraram maior estabilidade química frente aos agentes agressivos. A pesquisa também evidenciou que teores maiores de fibras tendem a proporcionar melhor desempenho estrutural, desde que respeitados os limites de trabalhabilidade da mistura. Conclui-se que a utilização de fibras de aço e de vidro em teores adequados representa uma alternativa viável para aumentar a durabilidade e a resistência de estruturas em concreto em ambientes hostis.

Palavras-chave: Agentes Químicos. CRF. Tenacidade. Reforço.

ABSTRACT

This work presents a comparative analysis of the performance of concrete with the addition of steel and glass fibers when exposed to aggressive agents simulated by chemical solutions. The main objective is to evaluate the mechanical strength and durability of fiber-reinforced concrete subjected to the action of sodium chloride and sodium sulfate, replicating adverse conditions commonly found in aggressive environments. To this end, test specimens were produced with different fiber contents—0.75% and 1.5% for steel fibers, and 0.5% and 1% for glass fibers—and tested at 3, 7, and 28 days of curing. The experimental program included compressive strength, splitting tensile strength, and workability tests (slump test). The results indicated that fiber incorporation significantly improves the post-cracking resistance of concrete, with steel fibers being more effective under high mechanical stresses, while glass fibers showed greater chemical stability when exposed to aggressive agents. The study also showed that higher fiber contents tend to provide better structural performance, provided the mixture's workability is maintained. It is concluded that the use of steel and glass fibers in proper proportions represents a viable alternative to enhance the durability and strength of concrete structures in hostile environments.

Keywords: Chemical Agents. CRF. Toughness. Reinforcement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fibras adicionadas de forma descontínuas e distribuídas aleatoriamente.....	22
Figura 2 - Comportamento de softening.....	23
Figura 3 - Comportamento de hardening.....	23
Figuras 4 e 5 - Materiais disponíveis para os traços e separados para secagem.....	33
Figuras 6, 7 e 8 - Massa específica e absorção de água do agregado graúdo.....	33
Figuras 9 e 10 – Brita sendo despejada livremente e pesagem do material.	34
Figuras 11 e 12 – Brita compactada e pesagem do material.	35
Figuras 13 e 14 – Peneiramento da brita com a peneira e pesagem do material retido na peneira.	35
Figura 15 – Amostra após ser submersa em água e exposta ao ar livre para retirada da água superficial.	36
Figura 16 – Amostra sendo pesada para determinação da massa específica real.....	36
Figura 17 – Areia despejada de forma livre no recipiente ajustada para pesagem.....	37
Figuras 18 e 19 – Areia pesada em estado solto e compactada.	37
Figura 20 – Peneiras utilizadas para definir a granulometria do agregado miúdo.	38
Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28 – Peneiramento do agregado miúdo e material retido na peneira.....	38
Figura 29 – Pesagem das fibras de aço.....	41
Figuras 30, 31 e 32 – Pesagem do cimento e dos agregados graúdo e miúdo.....	41
Figuras 33, 34, 35 e 36 – Processo de concretagem do traço.	41
Figuras 37 e 38 – Execução do ensaio <i>slump test</i> aplicando 25 golpes em três camadas de concreto, retirada do cone para medida do abatimento.	42
Figura 39 – Processo de moldagem do concreto nos moldes de corpo de prova cilíndricos. ..	42
Figuras 40 e 41 – Corpos de prova com adição de fibra de aço 0,75% nos moldes e desforma.	42
Figura 42 – Imersão em água dos corpos de prova de aço 0,75% para início da cura.	43
Figura 43 – Pesagem das fibras de aço para teor de 1,5%.....	43
Figuras 44, 45 e 46 – Pesagem do cimento, agregados graúdo e miúdo.....	43
Figuras 47, 48, 49, 50, 51 e 52 – Mistura do cimento, fibra e agregados graúdos e miúdos na betoneira, além da confecção dos corpos de prova.	44
Figuras 53 e 54 – CP's confeccionados com teor de 1,5% e desmolde.	44
Figura 55 – Imersão em água para cura dos CP's com fibra de aço 1,5% de teor.	44
Figuras 56 e 57 – Fibras de vidro 100 g e 200 g.	45
Figuras 58, 59 e 60 – Pesagem do cimento e dos agregados graúdo e miúdo.....	45
Figura 61 – Mistura do traço.	45
Figuras 62 e 63 – Corpos de prova com fibras de vidro com teores de 1% e 0,5% confeccionados e imersos em água para cura dos CP's com fibras de vidro adicionadas.	46
Figura 64 – Aditivo plastificante redutor de água.	46
Figuras 65 e 66 – Medida do <i>slump</i> dos traços para as fibras de aço 0,75 e 1,5 adicionadas. .	47
Figuras 67 e 68 – Medida do <i>slump</i> dos traços para as fibras de vidro 0,5 e 1 adicionadas. ...	48
Figura 69 – Corpos de prova com fibras de aço nos dois teores com 3 dias de cura.	48
Figuras 70 e 71 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 0,75 aos 3 dias de cura.	49

Figuras 72 e 73 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 1,5 para rompimento com 3 dias de cura.....	49
Figuras 74 e 75 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibras de vidro 0,5% com 3 dias de cura.	49
Figuras 76 e 77 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibras de vidro 1% com 3 dias de cura.	50
Figura 78 – Visualização dos CP's com fibras de vidro aos 3 dias de cura pós ensaio de compressão axial.....	50
Figura 79 – CP's com adição de fibras de aço 0,75 e 1,5 aos 7 dias de cura.	50
Figuras 80 e 81 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibras de aço 0,75% com 7 dias de cura.	51
Figuras 82 e 83 – Rompimento corpo de prova e contra-prova com fibras de aço 1,5% com 7 dias de cura.	51
Figuras 84 e 85 – Detalhe dos corpos de prova com fibras de aço 0,75% e 1,5% rompidos com 7 dias de cura.	51
Figura 86 – Fibras de vidro 0,5% e 1% com 7 dias de cura.	52
Figuras 87 e 88 – Rompimento de corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5% adicionada.....	52
Figuras 89 e 90 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 1%.	52
Figura 91 – Detalhe do CP com fibra de vidro 0,5% rompida.	53
Figura 92 – Corpos de prova com adição de 0,75% e 1,5% aos 28 dias de cura.	53
Figuras 93 e 94 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com adição de 0,75% de fibras de aço.....	53
Figuras 95 e 96 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com adição de 1,5% de fibras de aço.....	54
Figura 97 – Detalhe do CP com adição de fibras de aço rompido.	54
Figuras 98 e 99 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5%. .	54
Figuras 100 e 101 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com adição de fibras de vidro 1%.	55
Figura 102 – Detalhe do corpo de prova com fibra de vidro adicionada rompido.....	55
Figuras 103 e 104 – Sulfato de sódio e cloreto de sódio.	55
Figuras 105 e 106 – Corpos de prova com fibras de aço e vidro expostas ao sulfato de sódio protegidos por lona para não evaporação da água e evitar qualquer contato externo.	56
Figuras 107 e 108 – Corpos de prova com fibras de aço e vidro expostas ao cloreto de sódio e protegidos por lona para não evaporação da água e evitar qualquer contato externo.	56
Figura 109 – Corpos de prova com fibras de aço e vidro após exposição aos agentes agressivos para ensaios de compressão axial.	57
Figura 110 – CP's com fibras de aço 1,5% e 0,75% após exposição ao sulfato de sódio.....	58
Figuras 111 e 112 – Rompimento do CP com fibra de aço 1,5% exposto ao sulfato, no ensaio de compressão axial.....	58
Figuras 113 e 114 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 0,75% exposto ao sulfato, no ensaio de compressão axial.	59
Figuras 115 e 116 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 1% exposto ao sulfato, no ensaio de compressão axial.	59
Figuras 117 e 118 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5% exposto ao sulfato, no ensaio de compressão axial.	60

Figuras 119 e 120 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 1,5% exposto ao cloreto, no ensaio de compressão axial.	60
Figuras 121 e 122 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 0,75% exposto ao cloreto, no ensaio de compressão axial.	61
Figuras 123 e 124 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 1% exposto ao cloreto, no ensaio de compressão axial.	61
Figuras 125 e 126 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5% exposto ao cloreto, no ensaio de compressão axial.	62
Figura 127 – Corpos de prova divididos por tipo de exposição para ensaio de tração por compressão diametral.	62
Figuras 128 e 194 – Rompimento do corpo de prova de contra-prova com fibra de aço 1,5% exposto ao sulfato de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.....	62
Figuras 129 e 130 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 0,75% exposto ao sulfato de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.....	63
Figuras 131 e 132 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 1,5% exposto ao cloreto de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.	63
Figuras 133 e 134 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibras de aço 0,75% com exposição ao cloreto de sódio na prensa para ensaio de tração por compressão diametral.	64
Figuras 135 e 136 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 1% exposto ao sulfato de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.....	64
Figuras 137 e 138 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5% exposto ao sulfato de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.....	64
Figuras 139 e 140 – Rompimento do corpo de prova e de contra-prova (com valor de 13,92 toneladas força) com fibra de vidro 1% exposto ao cloreto de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.	65
Figuras 141 e 142 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5% exposto ao cloreto de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.	65
Figura 143 – Fluxograma dos experimentos.	66
Figuras 144 e 145 – <i>Slump</i> sem adição de aditivo plastificante, e com adição de aditivo antes de equilibrar a dosagem.	68
Figuras 146 e 147 – <i>Slump</i> após adição de aditivo plastificante com o equilíbrio na dosagem para alcance da trabalhabilidade ideal adotada, entre 8 e 10 cm.	68
Figuras 148 e 149 – Corpos de prova expostos ao cloreto de sódio apresentando manifestações patológicas.	86
Figuras 150 e 151 – Corpos de prova expostos ao sulfato de sódio apresentando manifestações patológicas.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Disposição de CP's em diferentes idades e teores para fibras de aço e vidro.....	31
Tabela 2 - Disposição de CP's em 28 dias com teores para fibras de aço e vidro expostos a agentes agressivos.	31
Tabela 3 - Traço de concreto.	39
Tabela 4 - Traço de concreto para as fibras de aço 0,75%.	39
Tabela 5 - Traço de concreto para as fibras de aço 0,75%.	39
Tabela 6 - Quantidade de aditivo adicionada as misturas dos CP's de forma distinta, levando em conta os teores das fibras.	47
Tabela 7 - Quantidade de aditivo adicionada as misturas dos CP's de forma distinta, levando em conta os teores das fibras.	47
Tabela 8 – Ensaio de compressão axial com 3 dias de cura.	70
Tabela 9 – Ensaio de compressão axial com 7 dias de cura.	71
Tabela 10 – Ensaio de compressão axial com 28 dias de cura.	71
Tabela 11 – Ensaio de compressão axial dos corpos de prova com fibras de aço em seus dois teores expostos aos agentes químicos.....	74
Tabela 12 – Ensaio de compressão axial dos corpos de prova com fibras de vidro em seus dois teores expostos aos agentes químicos.....	77
Tabela 13 – Comparação dos resultados obtidos no ensaio de compressão axial dos corpos de prova com fibras de vidro e aço em seus dois teores expostos aos agentes químicos.	80
Tabela 14 – Comparação dos resultados obtidos no ensaio de tração de tração por compressão diametral dos corpos de prova com fibras de vidro e aço em seus dois teores expostos aos agentes químicos.	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Ensaio de compressão axial com 3,7 e 28 dias de cura para os dois teores das fibras de aço e vidro.....	72
Gráfico 2 - Ensaio de compressão axial para os dois teores das fibras de aço expostas ao sulfato e cloreto de sódio.	74
Gráfico 3 - Ensaio de compressão axial para os dois teores das fibras de vidro expostas ao sulfato e cloreto de sódio.	77
Gráfico 4 – Comparação das resistências do ensaio de compressão axial obtidas pelos CP's com adição de fibras de aço e vidro em dois teores para cada uma, frente a exposição aos agentes químicos agressivos.....	81
Gráfico 5 – Comparação das resistências no ensaio de tração por compressão diametral obtidas pelos CP's com adição de fibras de aço e vidro em dois teores para cada uma, frente a exposição aos agentes químicos agressivos.	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS

CRF – Concreto Reforçado com Fibras

SPT – *Standard Penetration Test* (Teste Padrão de Penetração)

CP – Corpo de Prova

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo Geral.....	21
2.2 Objetivos Específicos	21
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
3.1 Concreto reforçado com fibras	22
3.2 Fibras de aço no concreto	24
3.3 Fibras de vidro no concreto.....	25
3.4 Ensaios para definição de traços.....	27
3.5 Ambientes de ocorrência de sulfatos e cloretos de sódio e seus efeitos na durabilidade do concreto	29
4. METODOLOGIA	31
4.1 Tipo de pesquisa	31
4.2 Critérios e Procedimentos	31
4.3 Materiais	32
4.4 Definição do traço	33
4.4 Confeção, processo de cura dos corpos de prova.....	40
4.5 Ensaios de compressão axial nas idades de 3, 7 e 28 dias	48
4.6 Exposição ao sulfato e cloreto de sódio	55
4.7 Rompimento dos CP's após exposição aos agentes químicos no ensaio de compressão axial.....	57
4.8 Rompimento dos CP's após exposição aos agentes químicos no ensaio de tração por compressão axial	62
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
5.1 Impacto das fibras na trabalhabilidade no concreto	67
5.2 Comparação da crescente resistência a compressão das fibras de aço e vidro aos 3, 7 e 28 dias de cura	69
5.3 Fibra de aço adicionadas ao concreto, em dois teores diferentes, frente aos agentes agressivos – sulfato e cloreto de sódio	73
5.4 Fibra de vidro adicionadas ao concreto, em dois teores diferentes, frente aos agentes agressivos – sulfato e cloreto de sódio	76
5.5 Comparação dos resultados do ensaio de compressão axial nos corpos de prova com adição de fibras de aço e vidro, frente a exposição aos agentes agressivos	79
5.6 Tração por compressão diametral nos corpos de prova com adição de fibras de aço e vidro, frente a exposição aos agentes agressivos.....	83
5.7 Manifestações patológicas apresentadas nos corpos de prova com as fibras de aço e vidro adicionadas, em seus teores, frente a exposição aos agentes químicos agressivos.....	85

6. CONCLUSÃO	88
REFERÊNCIAS	89

1. INTRODUÇÃO

O concreto é amplamente utilizado e reconhecido por sua versatilidade e robustez, devido a sua resistência à compressão, apesar dessa qualidade o concreto possui uma baixa resistência à tração, o que faz com que ele seja suscetível a fissuras quando submetido a esse tipo de esforço. Uma alternativa que foi adotada para aumentar sua resistência a tração precária é a utilização de aço, conhecido como concreto armado. Já para mitigar os demais problemas, como as fissuras, a adição de fibras vem sendo bastante empregada como uma alternativa (Carvalho e Motta, 2019).

O estudo sobre adição de fibras no concreto vem com o intuito de diminuir a aparição de fissuras devido a inúmeros fatores: como a fadiga, retração por secagem, sobrecargas, etc. Segundo Salvador Filho (2017), devido às suas propriedades mecânicas, como elevado módulo de elasticidade e alta rigidez, as fibras incorporadas ao concreto contribuem para aumentar sua tenacidade, melhorando a capacidade de absorção de energia antes da falha. Além disso, podem otimizar a resistência à compressão e controlar fissurações, tornando o material mais durável e resistente a diversas solicitações mecânicas, químicas e ambientais.

Segundo Cabral e Lima (2021), as fibras utilizadas em materiais compósitos podem ser classificadas em metálicas, minerais e orgânicas. As metálicas incluem o aço e o aço carbono, enquanto as fibras minerais abrangem fibras como as de vidro. Já as fibras orgânicas se subdividem em naturais, como as de origem vegetal (coco) e artificiais, que podem ser compostas por polímeros naturais, como a celulose, ou sintéticos, como o polipropileno e o nylon. Entre as opções disponíveis, as fibras de aço e de polipropileno se destacam pelo seu amplo uso, devido às suas propriedades mecânicas e resistência a agentes agressivos.

De acordo com Braz e Nascimento (2015), o concreto, embora amplamente utilizado, ainda apresenta algumas limitações, como a dificuldade de preencher adequadamente seções delgadas e com alta densidade de armaduras. Além disso, sua baixa ductilidade, retração plástica e elevada permeabilidade em ambientes úmidos favorecem o aparecimento de microfissuras, especialmente na interface entre a pasta cimentícia e os agregados, o que o torna vulnerável a ações externas e variações ambientais.

As fibras de aço e de vidro têm sido amplamente estudadas e aplicadas na construção devido às suas propriedades excepcionais, podendo ser empregadas no concreto para auxiliar no controle de fissuração e na redução dos efeitos da retração, desde que sua aplicação esteja devidamente especificada no projeto. As fibras não podem ser utilizadas em substituição

à armadura principal (ABNT NBR 14859 – 1: 2016 - *Lajes pré-fabricadas de concreto - Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis - Requisitos*).

As fibras de aço inseridas em compósitos cimentícios aumentam a resistência a ruptura e retardam a abertura de fissuras, melhorando a durabilidade e a rigidez. Como na técnica *Near Surface Mounted* (NSM), que garante maior aderência e eficiência no reforço à flexão de elementos de concreto. Essas características tornam as fibras essenciais para reabilitação estrutural, reduzindo falhas e aumentando a vida útil das edificações (Vaz e Carnio, 2017).

É importante frisar que, para dosar um concreto com fibras de aço, é necessário compreender a finalidade de sua utilização, classificando-as como reforço ou não. Isso envolve o conceito de volume crítico de fibras, que determina o comportamento do concreto após a fissuração da matriz. Quando o volume inserido atinge esse limite, o concreto mantém sua capacidade mesmo fissurado. Já volumes inferiores reduzem a capacidade de carga, enquanto volumes superiores a incrementam. Estudos apontam que o volume crítico das fibras de aço situa-se em torno de 1% do volume total do concreto (Carnio, 2017).

De acordo com a ABNT NBR 15530:2020 - *Fibras de aço para concreto – Especificação*, as fibras de aço são elementos descontínuos desenvolvidos para aplicação específica em concretos, apresentando geometria e propriedades mecânicas otimizadas para esse fim. Sua utilização é essencial em situações que se busca uma maior durabilidade e confiabilidade das estruturas, sendo um recurso eficiente para reforço de concretos em diferentes contextos construtivos.

As fibras de vidro, amplamente utilizadas no reforço de materiais compósitos, têm se destacado por melhorar características mecânicas e de durabilidade do concreto. Sua aplicação nele visa não apenas aumentar a resistência, mas também reduzir o surgimento de fissuras. Estudos indicam que o uso de fibras de vidro no concreto promove um desempenho superior em condições de exposição a ambientes agressivos, devido à sua resistência à corrosão e propriedades inerentes de inércia química (Ferreira, 2023).

Este trabalho se justifica pela necessidade de aprimorar a resistência e a durabilidade do concreto, especialmente em ambientes agressivos, por meio da adição de fibras de aço e vidro. A pesquisa é relevante no contexto da construção civil, em que há uma busca constante por soluções que reduzam a incidência de fissuras e prolonguem a vida útil das estruturas. Fatores como características dos materiais locais e condições climáticas específicas podem influenciar o desempenho do concreto, tornando essencial a investigação de novas

técnicas. Além disso, o estudo contribuiu para a validação de métodos inovadores, incentivando o uso de fibras como alternativa eficiente, ao mesmo tempo que amplia o conhecimento técnico sobre sua aplicação prática em diferentes cenários construtivos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho do concreto com adição de fibras de aço e de vidro frente à exposição a agentes agressivos simulados por soluções químicas durante 40 dias, comparando sua resistência mecânica e durabilidade com o uso das fibras.

2.2 Objetivos Específicos

- Simular a exposição dos concretos reforçados com fibras de aço e de vidro em soluções químicas agressivas, como sulfato de sódio e cloreto de sódio.
- Analisar o impacto, quanto a homogeneidade e a trabalhabilidade do concreto, dos diferentes teores das fibras de aço e de vidro, por meio de ensaios auxiliares, como o *slump test*.
- Investigar a influência quanto aos teores das fibras de aço e de vidro, em relação a resistência à compressão axial do concreto reforçado, após o ciclo de cura e exposição a agentes agressivos.
- Comparar a eficiência das fibras de aço e vidro no aumento da durabilidade do concreto exposto a soluções químicas agressivas.
- Analisar como os teores de fibras de aço e de vidro impactam na resistência do concreto, por meio do ensaio de tração por compressão diametral do concreto reforçado com fibras (CRF), após o ciclo de cura e exposição a agentes agressivos.

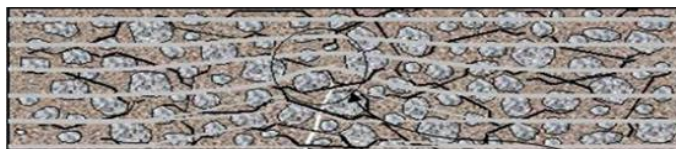
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Concreto reforçado com fibras

O uso de fibras em concretos representa uma evolução significativa para superar fragilidades inerentes à matriz cimentícia, especialmente em condições adversas. O concreto reforçado com fibras (CRF) combina as propriedades da matriz cimentícia com as características das fibras, oferecendo maior resistência e tenacidade. Segundo Farias (2021), a adição de fibras adequadas transforma o concreto em um compósito pseudo-dúctil, garantindo maior resistência após a fissuração. Este comportamento é essencial em aplicações que exigem durabilidade e capacidade de absorção de energia.

O CRF apresenta características que transformam significativamente o comportamento mecânico do material. Segundo a ABNT NBR 16935:2021 - *Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras — Procedimento*, a adição de fibras descontínuas e distribuídas aleatoriamente atua como reforço estrutural (Figura 1), controlando a abertura e propagação de fissuras e aumentando a capacidade de absorção de energia após a ruptura da matriz cimentícia. Esse comportamento reduz a fragilidade do concreto e o torna mais adequado para aplicações em que resistência e durabilidade são primordiais.

Figura 1 – Fibras adicionadas de forma descontínuas e distribuídas aleatoriamente.



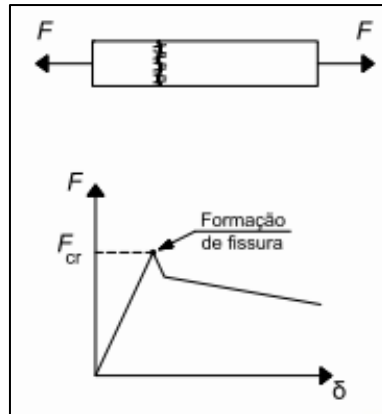
Fonte: Figueiredo (2011).

A distribuição uniforme das fibras e a qualidade da matriz cimentícia desempenham papéis fundamentais na eficácia do reforço, garantindo o desempenho esperado em diferentes aplicações estruturais. Neville (2015) complementa que a incorporação de fibras ao concreto promove alterações significativas em seu comportamento, contribuindo para o aumento da resistência à tração e o controle de fissuras. As fibras atuam como elementos que dificultam a propagação de fissuras, aumentando a capacidade do concreto de resistir a esforços e absorver energia.

Essa característica é fundamental em aplicações onde a estrutura está sujeita a condições severas ou esforços intensos. No que se refere ao comportamento mecânico do CRF, a ABNT NBR 16935:2021 descreve dois padrões principais no pós-fissuração: *softening* (Figura 2) e *hardening* (Figura 3), em que o primeiro apresenta um declínio constante na

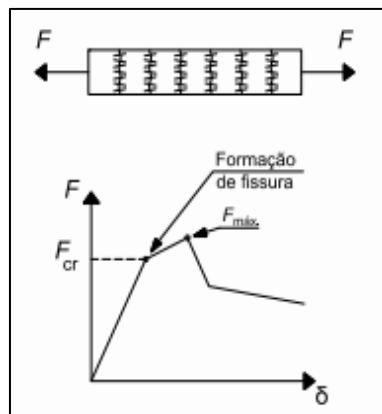
resistência após a fissuração, enquanto o segundo experimenta um aumento inicial na resistência devido a múltiplas fissuras antes de atingir seu pico de resistência.

Figura 2 - Comportamento de *softening*.



Fonte: ABNT NBR 16935, 2021.

Figura 3 - Comportamento de *hardening*.



Fonte: ABNT NBR 16935, 2021.

O dimensionamento das estruturas com CRF é outro ponto destacado na NBR 16935:2021. Para elementos sem armadura convencional, a norma estabelece a necessidade de considerar a redistribuição de esforços proporcionada pelo reforço com fibras, garantindo desempenho adequado tanto no estado-limite último (ELU) quanto no de serviço (ELS). Essa abordagem permite análises mais precisas, alinhadas aos requisitos estruturais de cada projeto.

A durabilidade do concreto também é afetada por exposição a agentes químicos. Segundo Carvalho (2016), o desempenho do concreto reforçado com fibra exposto a soluções químicas agressivas é influenciado pela qualidade da matriz cimentícia e pelo tipo de fibra utilizada. Isso reforça a importância de estudos experimentais para definir a dosagem ideal de fibras, garantindo a viabilidade econômica e o desempenho esperado do material.

De acordo com Neville (2015), a exposição a agentes químicos compromete a durabilidade do material. O uso de fibras adequadas pode mitigar esses efeitos, garantindo maior vida útil e estabilidade às estruturas, as propriedades das fibras de aço e vidro permitem a formulação de concretos que atendam a requisitos específicos de projetos, ampliando suas possibilidades de aplicação na engenharia civil.

A qualidade da mistura e a distribuição uniforme das fibras na matriz cimentícia são elementos indispensáveis para a eficiência do CRF. De acordo com a NBR 16935:2021, esses fatores evitam a concentração de tensões e otimizam as propriedades mecânicas do concreto, contribuindo para soluções inovadoras que atendem às demandas crescentes da engenharia civil por materiais mais resistentes e versáteis.

Outro aspecto relevante é o impacto no comportamento mecânico do concreto em condições de impacto. A adição de fibras ao concreto altera significativamente seu comportamento mecânico em situações de impacto, promovendo maior resistência a tensões dinâmicas e reduzindo a fragilidade do material (ABNT NBR 16935, 2021). A norma enfatiza que as fibras agem como reforço estrutural, controlando a abertura e a propagação de fissuras, aumentando a capacidade de absorção de energia e melhorando o desempenho em aplicações sujeitas a cargas variáveis.

Conforme destacado por Neville (2015), a interação fibra-matriz é um fator determinante para o comportamento do CRF. Essa interação é responsável por transferir tensões e evitar o crescimento de fissuras, prolongando a vida útil do concreto em condições adversas. Os métodos de ensaio para avaliação da tenacidade do CRF são fundamentais para garantir a confiabilidade dos resultados experimentais.

3.2 Fibras de aço no concreto

A incorporação de fibras de aço no concreto tem demonstrado melhorar a resistência mecânica, particularmente em tração e compressão. Segundo Figueiredo (2011 apud Vaz, 2015), essas fibras atuam como pontes que transferem tensões através de fissuras, retardando seu avanço, combinando adesão elástica e atrito como mecanismos de reforço e sua eficácia depende da correta dosagem e do comportamento pós-fissuração. À medida que a abertura da fissura aumenta, o atrito predomina, proporcionando maior resistência residual e melhor absorção de energia. Além disso, o comportamento *hardening*, conforme descrito na NBR 16935:2021, desempenha um papel fundamental em elementos estruturais submetidos a esforços elevados, assegurando maior segurança e confiabilidade nas estruturas.

As fibras de aço têm sido amplamente estudadas e utilizadas para reforçar concretos devido à sua capacidade de melhorar as propriedades mecânicas do material, principalmente a resistência à tração e a capacidade pós-fissuração. Segundo Figueiredo (2011 apud Matni, 2018), as fibras de aço, quando adicionadas ao concreto, atuam como pontes que transferem tensões através das fissuras, garantindo maior resistência residual e absorção de energia. Essas fibras, normalmente fabricadas a partir de arames trefilados a frio, possuem extremidades ancoradas, o que aumenta sua eficiência no reforço da matriz cimentícia.

A NBR 15530:2020 define as especificações para fibras de aço no concreto, destacando que sua incorporação reduz a propagação de fissuras e melhora o desempenho estrutural em condições de carregamento cíclico. De acordo com Matos (2023), em estudo experimental, concretos reforçados com 0,75% e 1,5% de fibras de aço apresentaram resultados positivos em ensaios de tração por compressão diametral, evidenciando que quanto maior for o teor de fibras, mais irá elevar a resistência à tração, principalmente após 28 dias de cura.

Essas fibras também influenciam diretamente no comportamento pós-fissuração, classificado em padrões de *softening* e *hardening*, como descrito pela ABNT NBR 16935:2021. O padrão *hardening*, por exemplo, é particularmente relevante em elementos estruturais submetidos a esforços dinâmicos ou intensos, uma vez que as fibras atuam mantendo a integridade da estrutura mesmo após o início das fissuras.

As fibras de aço, promovem reforço significativo sob esforços mecânicos intensos, enquanto as de vidro, devido à sua leveza e resistência química, oferecem vantagens em ambientes agressivos e ciclos térmicos (Carvalho, 2016; Neville, 2015). Essa combinação potencializa o desempenho mecânico e a durabilidade do concreto reforçado.

A resistência à compressão do concreto, entretanto, pode sofrer pequenas reduções quando fibras metálicas são adicionadas em altas frações volumétricas. Contudo, essas reduções são compensadas pela melhoria significativa na resistência à tração e na tenacidade do material, tornando-o ideal para aplicações que exigem alto desempenho estrutural e durabilidade em condições adversas.

3.3 Fibras de vidro no concreto

Conforme destacado por Silva (2024), a incorporação de fibras ao concreto, como as de vidro, contribui para o aumento da resistência à tração e proporciona um comportamento mais seguro mesmo após o início da fissuração, devido às propriedades de pós-fissuração. Isso ocorre porque as fibras funcionam como elementos de transferência de tensões, estabilizando as zonas fissuradas e retardando o avanço das falhas estruturais. No entanto, sua presença pode

interferir na trabalhabilidade da mistura, exigindo ajustes no traço ou o uso de aditivos específicos para evitar problemas como segregação ou a formação de vazios.

As fibras de vidro também têm demonstrado potencial significativo no reforço de concretos, especialmente em condições de exposição agressiva. Conforme Salvador Filho (2017), a adição de fibras de vidro melhora a resistência mecânica do concreto ao atuar como um elemento que impede a propagação de fissuras. Essas fibras são particularmente úteis em aplicações que exigem alta resistência química, como ambientes expostos a cloreto e sulfato. Além disso, de acordo com Martineau e Agopyan (2002 apud Quinino, 2015), sua leveza e facilidade de mistura garantem uma distribuição mais homogênea na matriz cimentícia, resultando em maior durabilidade.

Ensaio demonstraram que o desempenho do concreto reforçado com fibras de vidro, em ensaios de resistência à tração e compressão, é amplificado quando as frações volumétricas são corretamente dosadas, reforçando a importância do controle na aplicação prática para alcançar os resultados esperados (Krutsch *et al*, 2022).

Outro ponto relevante é a durabilidade do concreto reforçado com fibras de vidro em condições adversas. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), essas fibras apresentam resistência química que as torna adequadas para aplicações em ambientes agressivos, como áreas expostas a cloreto ou sulfato. No entanto, a fração volumétrica de fibras deve ser cuidadosamente controlada, pois o excesso pode gerar comprometimentos a resistência à compressão axial. A inserção lenta e fracionada das fibras, enquanto a mistura está em movimento, favorece sua distribuição homogênea e melhora o desempenho mecânico do concreto. (Ahmad e Zhou, 2022).

As fibras de vidro se destacam na construção civil devido à sua leveza, alta resistência à tração e excelente desempenho químico em ambientes agressivos. Segundo Mehta e Monteiro (2014), a adição dessas fibras contribui de forma significativa para aumentar a resistência do concreto à flexão e compressão, tornando-o mais resistente a fissuras e aumentando sua durabilidade. Bonifácio e Godinho (2015) destacam que, em proporções moderadas, as fibras de vidro podem elevar a resistência à flexão do concreto em até 6,1%.

A NBR 16941:2021 estabelece os requisitos e métodos de ensaio para fibras de vidro álcali resistentes, salientando sua eficácia em reforçar matrizes cimentícias submetidas a ataques químicos, como cloreto e sulfato. No estudo de Silva (2023), concretos com 0,5% e 1% de fibras de vidro apresentaram desempenho superior em ensaios de tração por compressão

diametral, com destaque para o traço com maior concentração, que apresentou maior resistência após 28 dias de cura.

No entanto, a presença de fibras de vidro no concreto pode impactar sua trabalhabilidade, devido à capacidade dessas fibras de absorver água, conforme destacado por Lopez *et al.* (2019). Para evitar segregação ou formação de bolhas de ar, recomenda-se ajustes no traço ou a utilização de aditivos plastificantes. Além disso, a distribuição uniforme das fibras na matriz cimentícia é essencial para otimizar as propriedades mecânicas e garantir resultados consistentes. Em termos de aplicação, as fibras de vidro são ideais para estruturas expostas a ciclos térmicos, umidade elevada ou ataques químicos.

3.4 Ensaios para definição de traços

A definição do traço do concreto está diretamente relacionada às propriedades físicas dos seus componentes, especialmente os agregados. A norma ABNT NBR 7211:2022 - *Agregados para concreto — Requisitos*, estabelece os requisitos para produção e recepção dos agregados miúdos e graúdos, considerando aspectos como distribuição granulométrica, presença de substâncias nocivas, durabilidade e características complementares. Segundo a norma, a distribuição granulométrica dos agregados deve ser determinada conforme a ABNT NBR 17054:2022 - *Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio*, respeitando os limites estabelecidos nas tabelas específicas para agregados miúdos e graúdos.

Para a determinação da densidade e da absorção de água do agregado miúdo, foi necessário seguir o procedimento descrito na ABNT NBR 16916:2021 - *Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água*, que padroniza os métodos de ensaio para verificar a densidade na condição seca, na condição saturada superfície seca (SSS) e a absorção de água. A norma define que a condição SSS é alcançada quando os poros permeáveis estão completamente preenchidos com água, mas sem a presença de umidade superficial (ABNT NBR 16916, 2021).

Para garantir a precisão no traço do concreto, é essencial determinar corretamente a densidade dos agregados graúdos, levando em conta o volume real ocupado pelas partículas, incluindo seus poros internos, mas desconsiderando os vazios entre elas. Esse valor é fundamental para o ajuste das proporções dos materiais e para a obtenção de uma mistura coesa e resistente (ABNT NBR 7211, 2022).

De acordo com a ABNT NBR NM 53: 2009 - *Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*, a avaliação da absorção de água do agregado graúdo é um passo indispensável para definir sua umidade real e ajustar a quantidade de água de amassamento do concreto. Esse parâmetro indica quanto de água os poros do agregado conseguem reter, impactando diretamente na trabalhabilidade e na resistência da mistura.

Com base na ABNT NBR 16917:2021 *Agregado graúdo — Determinação da densidade e da absorção de água* — a determinação da densidade dos agregados graúdos é fundamental para calcular o volume ocupado pelas partículas sólidas na mistura. Esse valor considera tanto os poros internos como a massa seca ou saturada do agregado, e é obtido por meio de pesagens precisas em diferentes condições, sendo essencial para o ajuste do traço do concreto e para garantir o desempenho mecânico da estrutura.

Medir a absorção de água dos agregados graúdos permite compreender sua capacidade de reter umidade nos poros, o que influencia diretamente na quantidade de água a ser adicionada à mistura. Esse ensaio ajuda a evitar variações indesejadas na trabalhabilidade e na resistência do concreto, garantindo maior controle sobre o comportamento da mistura fresca (ABNT, 2021).

De acordo com a ABNT NBR NM 248:2003 *Agregados - Determinação da composição granulométrica de agregados* - a análise granulométrica dos agregados tem como objetivo identificar a distribuição das partículas segundo seus tamanhos, permitindo avaliar se o material está dentro dos limites especificados para uso no concreto. Essa verificação, feita por peneiramento progressivo com peneiras normatizadas, é essencial para garantir a uniformidade, a trabalhabilidade e a resistência da mistura.

De acordo com a NBR 7211:2022, a granulometria dos agregados deve estar dentro de faixas adequadas para garantir a compacidade da mistura, o que melhora a trabalhabilidade, reduz vazios e contribui para a resistência e durabilidade do concreto. Nesse contexto, a obtenção do módulo de finura a partir do ensaio de peneiramento torna-se uma etapa crucial, pois permite classificar o agregado conforme sua granulometria. Esse valor resume a distribuição dos tamanhos das partículas e auxilia na previsão do comportamento do concreto no estado fresco, impactando diretamente na escolha do traço ideal para cada aplicação (ABNT NBR NM 248, 2003).

Segundo Cordeiro e Cabral (2025), o método ABCP permite uma dosagem racional do concreto ao considerar variáveis como granulometria, massa específica e relação

água/cimento. Além disso, o método ABCP é amplamente utilizado para obtenção de maior controle tecnológico, apresentando vantagens quanto à precisão na definição dos materiais utilizados na mistura. De acordo com os autores, a abordagem da ABCP promove a otimização de recursos sem comprometer a resistência e a durabilidade do concreto (Cordeiro; Cabral, 2025).

3.5 Ambientes de ocorrência de sulfatos e cloretos de sódio e seus efeitos na durabilidade do concreto

Os ataques por sulfatos no concreto podem ocorrer tanto por fontes internas quanto externas, sendo os íons sulfato encontrados em ambientes variados. Internamente, podem estar presentes no próprio cimento ou em materiais de adição, enquanto externamente são frequentemente encontrados em águas subterrâneas, águas de rios, água do mar, lençóis freáticos e até em fertilizantes, esgotos e efluentes industriais, tornando esses ambientes propícios para a ocorrência do ataque por sulfatos ao concreto (ALEKSIC, 2010; PEREIRA, 2015; SHANAHAN *et al.*, 2007; SOUZA, 2006 apud BELTRAME, 2017).

A forma mais comum de ataque é pela penetração dos íons sulfato provenientes dessas fontes externas, os quais migram para dentro da estrutura por meio dos poros presentes na matriz cimentícia. Este processo resulta na formação de compostos expansivos, como a gipsita e a etringita, que provocam tensões internas, fissuração e degradação progressiva da estrutura do concreto, evidenciando a importância de conhecer os ambientes em que os sulfatos de sódio estão presentes para que se possa mitigar seus efeitos nas obras de engenharia (DRIMALAS, 2007; TIAN *et al.*, 2000; BAKHAREV *et al.*, 2002 apud BELTRAME, 2017).

O ataque por sulfatos no concreto provoca a formação de produtos expansivos, resultando em fissuras, aumento de volume e perda de resistência, comprometendo sua durabilidade ao longo do tempo (SOUZA, 2006 apud SWIDERSKI *et al.*, 2019). Por outro lado, o sulfato de sódio é empregado na fabricação de vidros como afinante, participando positivamente na eliminação de impurezas durante o processo de vitrificação, o que contribui para a formação de um material mais estável e resistente (MAIA, 2003 apud VELOSO, 2016). Essa diferença de comportamento justifica o uso de fibras de vidro em concretos expostos a ambientes agressivos, visto que as fibras mantêm suas propriedades mecânicas mesmo em contato com sulfatos. Dessa forma, a adição de fibras de vidro ao concreto atua no controle de fissuras, contribuindo para a melhoria da durabilidade e resistência do material em condições que favorecem o ataque por sulfatos.

Os íons cloreto podem se infiltrar no concreto de diferentes formas, seja pela presença em materiais utilizados durante a sua produção, como água de amassamento ou aditivos contaminados, seja por contato com fontes externas ao longo do tempo de uso da estrutura (FREIRE, 2005 apud KAIO, 2020).

Em áreas próximas ao litoral, a água do mar representa uma importante fonte de cloretos, assim como o uso de sais descongelantes em pavimentos localizados em regiões de clima frio. Esses íons ingressam no concreto por meio da água, utilizando mecanismos como capilaridade, difusão e absorção, acumulando-se gradativamente junto às armaduras, o que eleva o risco de corrosão e afeta negativamente a durabilidade das estruturas (NEVILLE, 2015 apud KAIO, 2020).

4. METODOLOGIA

4.1 Tipo de pesquisa

A presente pesquisa possui natureza quali-quantitativa e caráter descritivo, fundamentando-se em uma abordagem experimental e bibliográfica, com consulta a artigos científicos, revistas especializadas, teses, dissertações, monografias, normas técnicas e materiais provenientes de congressos e boletins. O estudo consistiu na análise do desempenho mecânico e da durabilidade do concreto reforçado com fibras de aço e de vidro, sendo estabelecida uma série de procedimentos que auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa e facilitaram a obtenção de informações, bem como a sintetização e a análise dos dados.

4.2 Critérios e Procedimentos

Já quanto aos procedimentos, foram realizados os ensaios no laboratório de concreto da Franco Engenharia em Imperatriz – MA. Inicialmente, onde foi possível ter todo o apoio técnico da empresa, com os equipamentos e máquinas necessárias para a realização do estudo e os materiais como: areia, brita e água para a confecção de 56 amostras de concreto com idades de 3, 7 e 28 dias, utilizadas para realizar os ensaios do concreto reforçado com fibras de aço e vidro. Nas Tabelas 1 e 2, é possível observar detalhadamente essa disposição de corpos de prova (CP's).

Tabela 1 - Disposição de CP's em diferentes idades e teores para fibras de aço e vidro.

TIPO DE FIBRA	AÇO		VIDRO	
TEORES	0,75%	1,5%	0,5%	1%
3 DIAS	2 CP's	2 CP's	2 CP's	2 CP's
7 DIAS	2 CP's	2 CP's	2 CP's	2 CP's
28 DIAS	2 CP's	2 CP's	2 CP's	2 CP's
TOTAL	24 CP's			

Fonte: o autor (2025).

Tabela 2 - Disposição de CP's em 28 dias com teores para fibras de aço e vidro expostos a agentes agressivos.

TIPO DE FIBRA	AÇO		VIDRO	
TEORES	0,75%	1,5%	0,5%	1%
SULFATO DE SÓDIO	4 CP's	4 CP's	4 CP's	4 CP's
CLORETO DE SÓDIO	4 CP's	4 CP's	4 CP's	4 CP's
TOTAL	32 CP's			

Fonte: o autor (2025).

4.3 Materiais

O cimento utilizado para os ensaios atende à norma ABNT NBR 11578:1991 - *Cimento Portland Composto*, referente ao Cimento Portland Composto, sendo selecionado o tipo CP II-Z (composto por pozolana). E foram utilizados os agregados graúdos e miúdos, sendo eles: a brita e areia média, ambos em conformidade com a NBR NM 248:2003, que regulamenta a determinação da composição granulométrica. A brita provém da pedreira de São Francisco, situada no município de Porto Franco – MA. Já a areia provém do Rio Tocantins, bastante utilizada na região por sua disponibilidade, preço e qualidade.

Foram utilizadas nos ensaios fibras de aço do tipo A e classe I da marca Dramix Pactico, caracterizadas pela ancoragem nas extremidades e fabricadas a partir de arame trefilado a frio. De acordo com a ArceloMittal (2024), as fibras possuem diâmetro de 0,75 milímetros e 6 centímetros de comprimento, resultando em um fator de forma de 80. Essa configuração permitiu uma mistura rápida e uma distribuição uniforme, as fibras se aglomeram, devido às propriedades do arame trefilado, que proporcionou uma resistência à tração e maior ancoragem na matriz cimentícia. As fibras metálicas foram empregadas em dois teores nos corpos de prova estabelecidos pela fabricante para obtenção de melhores resultados: 0,75% e 1,5%, de forma que garantiu a avaliação de seu desempenho em diferentes concentrações, frente a exposição de agentes agressivos, sulfato de sódio e cloreto de sódio.

Foram também utilizadas fibras de vidro Supremo Fibra ASF 90, modelo Reforço Estrutural, com características de alta resistência e eficiência no reforço de matrizes cimentícias. Segundo a Supremo Fibra (2024), as fibras possuem forma transparente, com peso unitário de 5 kg, garantindo excelente desempenho mecânico e uniformidade na mistura. Com rendimento estimado de 600 m², estas fibras foram projetadas para reforço estrutural e proporcionam uma distribuição homogênea no concreto, minimizando riscos de fissuração e aumentando a durabilidade da matriz. As fibras de vidro foram empregadas em dois teores nos corpos de prova: 0,5% e 1%, determinado pela fabricante para melhores resultados, de forma que foi possível avaliar seu desempenho em diferentes concentrações, frente a exposição de agentes agressivos (sulfato de sódio e cloreto de sódio).

Para a realização dos ensaios para definição do traço foi necessário primeiramente fazer a separação e secagem dos materiais (areia e brita), como pode ser observado nas Figuras 4 e 5.

Figuras 4 e 5 - Materiais disponíveis para os traços e separados para secagem.



Fonte: o autor (2025).

4.4 Definição do traço

A fim de determinar o traço adequado do concreto, foram realizados ensaios de caracterização física dos agregados graúdo e miúdo, seguindo as normas da ABNT. Os ensaios permitiram conhecer as propriedades fundamentais para a dosagem dos materiais conforme o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Ainda, realizou-se ensaios para determinação das densidades e granulometrias dos materiais (areia e brita). Os ensaios de densidade do agregado graúdo consistiram em determinar a densidade real e aparente e a massa unitária (massa por volume solto ou compactado) da brita.

Quanto ao procedimento, a NBR 15530:2020 determina as diretrizes para realização desses ensaios de densidades dos agregados graúdos. Nas Figuras 6 a 8, é possível observar o ensaio de densidade e absorção de água da brita, em que é determinado três propriedades: a densidade real, a densidade aparente e a absorção de água.

Figuras 6, 7 e 8 - Massa específica e absorção de água do agregado graúdo.



Fonte: o autor (2025).

Inicialmente, a brita ficou ao ar livre até desumedecer. Em seguida, ela foi submersa em água para atingir a condição saturada. A massa é medida em três estados: seca, saturada com superfície seca (SSS) e submersa. Esses dados permitem calcular a densidade do agregado

e sua capacidade de absorver água, o que influencia diretamente no teor de água do traço de concreto.

A escolha por não realizar a secagem em estufa foi uma recomendação do laboratorista responsável da empresa fornecedora dos equipamentos e materiais, considerando que o aquecimento da brita poderia causar a perda de umidade estrutural interna ou de minerais voláteis. Tal perda poderia alterar levemente a massa real dos agregados, comprometendo a exatidão dos ensaios. Mesmo que a secagem em ambiente natural demande mais tempo, ela se mostra mais eficaz por preservar as características físico-químicas originais do material. Situação semelhante foi observada por Romero-Mancilla *et al.* (2021), ao verificarem que a secagem em temperaturas elevadas modifica significativamente propriedades físicas e estruturais de solos derivados de cinzas vulcânicas, tornando o procedimento inadequado para ensaios geotécnicos mais precisos.

Já quanto ao procedimento de determinação da massa unitária, a ABNT NBR 7251:2008 - *Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária*, determina que o ensaio deve consistir em determinar a massa unitária da brita, ou seja, sua densidade em estado solto e compactado.

Foi utilizado um recipiente de volume conhecido (é pesado antes), no qual a brita foi depositada. No estado solto, a amostra foi despejada livremente no estado compactado, utilizando uma haste para compactação leve. A massa do recipiente cheio é medida e se subtrai a massa do recipiente vazio. O valor obtido, dividido pelo volume do recipiente, fornece a densidade a granel ou massa unitária, essencial para calcular a quantidade de brita por metro cúbico de concreto (Figuras 9 a 12).

Figuras 9 e 10 – Brita sendo despejada livremente e pesagem do material.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 11 e 12 – Brita compactada e pesagem do material.



Fonte: o autor (2025).

Para a realização do ensaio de granulometria da brita, inicialmente se separou uma amostra representativa do agregado graúdo, já seco ao ar. Em seguida, a brita foi pesada e colocada no topo de um conjunto de peneiras com aberturas padronizadas de 76,2 mm (3"); 50 mm (2"); 38,1 mm (1 1/2"); 25 mm (1"); 19 mm (3/4"); 12,5 mm (1/2"); 9,5 mm (3/8") e o fundo, dispostas em ordem decrescente. Agitou-se as peneiras, e em seguida se pesou o material retido em cada uma delas com o auxílio de uma balança de precisão (Figuras 13 a 14). Por fim, registrou-se os valores para calcular o percentual retido e acumulado, com os quais posteriormente foi possível traçar a curva granulométrica do agregado.

Figuras 13 e 14 – Peneiramento da brita com a peneira e pesagem do material retido na peneira.



Fonte: o autor (2025).

Já para o agregado miúdo, foi necessário determinar a densidade e absorção, massa unitária e o módulo de finura (com peneiramento para saber a influência desse material na trabalhabilidade no concreto).

Para o ensaio de densidade e absorção de água da areia, coletou-se uma amostra representativa da areia previamente seca ao ar e, depois, a amostra foi submersa em água por 24 horas para garantir que atingisse a condição saturada com superfície seca (Figura 15). Após

esse período, retirou-se a água superficial até a areia atingir o ponto SSS (saturada e com superfície seca).

Figura 15 – Amostra após ser submersa em água e exposta ao ar livre para retirada da água superficial.



Fonte: o autor (2025).

Em seguida, realizou-se as pesagens necessárias da amostra seca, saturada e submersa, utilizando balança de precisão (Figura 16). Com esses dados, calculou-se a densidade real, aparente e o percentual de absorção de água da areia.

Figura 16 – Amostra sendo pesada para determinação da massa específica real.



Fonte: o autor (2025).

Para o procedimento de determinação da massa unitária da areia, fez-se uso de um recipiente cilíndrico com volume conhecido. Assim, deu-se início ao ensaio despejando a areia de forma livre no recipiente, sem compactação, para obter a massa unitária no estado solto (Figura 17).

Figura 17 – Areia despejada de forma livre no recipiente ajustada para pesagem.



Fonte: o autor (2025).

Em seguida, nas Figuras 18 e 19 foram feitos o mesmo processo, porém com a compactação leve da areia por meio de uma haste para determinar a massa unitária no estado compactado. Em ambos os casos, pesou-se o recipiente cheio e subtraiu a massa do recipiente vazio, dividindo o valor pela capacidade volumétrica do mesmo.

Como é possível observar na equação:

$$\gamma = \frac{M_{\text{recipiente cheio}} - M_{\text{recipiente vazio}}}{V_{\text{recipiente}}}$$

Figuras 18 e 19 – Areia pesada em estado solto e compactada.



Fonte: o autor (2025).

Por fim, para determinação da granulometria, a amostra de areia utilizada no ensaio estava previamente seca. Realizou-se a pesagem inicial da amostra total e, em seguida, foi colocada no conjunto de peneiras padronizadas com aberturas decrescentes, da mais grossa à mais fina. É válido ressaltar que na Figura 20 é possível observar apenas as peneiras consideradas na análise granulométrica da areia, apesar de que nos ensaios o material passou

por todas as peneiras recomendadas por norma, a imagem apenas ilustra quais peneiras foram levadas em consideração para obtenção dos resultados deste ensaio.

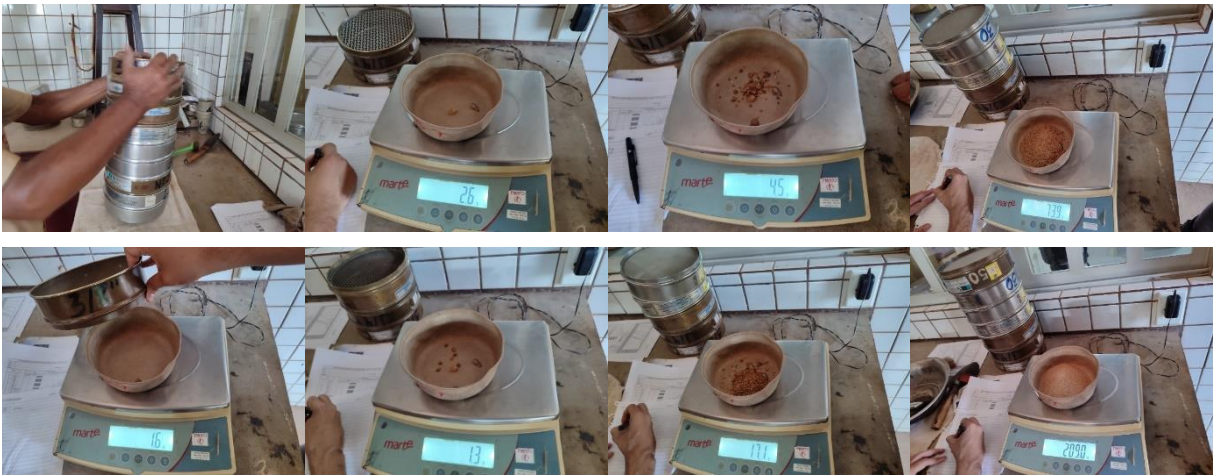
Figura 20 – Peneiras utilizadas para definir a granulometria do agregado miúdo.



Fonte: o autor (2025).

As peneiras foram agitadas (Figura 21) e após esse processo se retirou cada peneira e efetuou a pesagem do material retido em cada uma com a balança de precisão, como pode ser visto em algumas das peneiras pesadas nas Figuras 22 a 28. Os valores foram anotados em planilha para posterior cálculo do percentual retido acumulado e do módulo de finura da areia.

Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28 – Peneiramento do agregado miúdo e material retido na peneira.



Fonte: o autor (2025).

Os resultados obtidos nos ensaios foram utilizados na aplicação do método ABCP de dosagem do concreto, que considera a relação água/cimento, o abatimento (*slump*), a densidade dos agregados e o consumo de cimento para estabelecer um traço inicial. O traço foi ajustado posteriormente com base na trabalhabilidade e resistência desejada. Na Tabela 3, é possível observar o traço obtido para realização do estudo.

Tabela 3 - Traço de concreto.

Material	Cimento	Areia	Brita	Água
Traço	1	1,55	1,93	0,48

Fonte: o autor (2025).

Com o traço definido, estimou-se uma quantidade de volume de concreto que fosse suficiente para a confecção de 14 amostras de corpos de prova, para isso, foi adotado 12 Kg de cimento e assim os demais agregados, como pode ser observado na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 - Traço de concreto para as fibras de aço 0,75%.

Material	Traços
	Aço 0,75%
Cimento	12.000 g
Areia	18.600 g
Brita	23.160 g
Água	5.640 ml
Fibra	450 g

Fonte: o autor (2025).

A quantidade de concreto ficou no limite considerando as perdas, dessa forma decidiu-se aumentar as proporções mantendo o traço para que a quantidade de concreto fosse suficiente para confeccionar os 14 CP's de cada % (porcentagem) de fibra, de 12 Kg de cimento para 16 Kg. É possível observar esse ajuste na Tabela 5.

Tabela 5 - Traço de concreto para as fibras de aço 1,5% e vidro 0,5% e 1%.

Material	Traços		
	Aço 1,5%	Vidro 0,5%	Vidro 1%
Cimento	16.000 g	16.000 g	16.000 g
Areia	24.794 g	24.794 g	24.794 g
Brita	30.873 g	30.873 g	30.873 g
Água	7.518 ml	7.518 ml	7.518 ml
Fibra	600 g	100 g	200 g

Fonte: o autor (2025).

Para a confecção dos corpos de prova, o traço definido por meio dos ensaios, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 12655:2022 - *Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*, e as recomendações dos fabricantes das fibras. A relação água/cimento inicial foi definida mediante aos resultados das densidades e granulometrias dos materiais disponíveis em laboratório. O fator água/cimento foi de 0,48 para os corpos de prova com fibras de aço e de vidro.

4.4 Confeção, processo de cura dos corpos de prova

Durante a moldagem e os ensaios foram utilizadas as normas:

- ABNT NBR 5739:2018 – *Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*;
- ABNT NBR 15530:2020 *Fibras de aço para concreto — Requisitos e métodos de ensaio*;
- ABNT NBR 5738:2015 – *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*;
- ABNT NBR 7222:2011 – *Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*;
- ABNT NBR 16941:2021 – *Fibras de vidro álcali-resistentes (AR) para concreto e argamassa - Requisitos e métodos de ensaio*.

Para a moldagem dos CP's, foi necessário fazer a pesagem dos materiais a serem utilizados com uma balança de precisão modelo MS 20K1. Foi utilizado uma betoneira da marca Menegotti com capacidade de 120 L para auxiliar na homogeneização do concreto, em que se adicionou o cimento, a areia, a brita e aos poucos a água para atingir a dosagem ideal. Esse processo se repetiu para o concreto com adição de fibras de aço e fibras de vidro, com porcentagens supracitadas anteriormente para os dois tipos de fibras, sendo estas duas incorporadas de forma que evite a formação de bolhas nas amostras, já que as fibras vêm grudadas em feixes por cola solúvel.

A fibra foi pesada para ser adicionada, como mostra a Figura 29, além disso também foram pesados os agregados graúdos (Figuras 30 a 32), posteriormente também foram adicionados na betoneira, confeccionados os CP's com fibras aço com 0,75% de adição nos moldes cilíndricos e por fim desmoldados para serem submersos para cura (Figuras 30 a 42)

Figura 29 – Pesagem das fibras de aço.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 30, 31 e 32 – Pesagem do cimento e dos agregados graúdo e miúdo.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 33, 34, 35 e 36 – Processo de concretagem do traço.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 37 e 38 – Execução do ensaio *slump test* aplicando 25 golpes em três camadas de concreto, retirada do cone para medida do abatimento.



Fonte: o autor (2025).

Figura 39 – Processo de moldagem do concreto nos moldes de corpo de prova cilíndricos.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 40 e 41 – Corpos de prova com adição de fibra de aço 0,75% nos moldes e desforma.



Fonte: o autor (2025).

Figura 42 – Imersão em água dos corpos de prova de aço 0,75% para início da cura.



Fonte: o autor (2025).

Agora, para a fibra de aço com adição de 1,5% foram pesadas e adicionadas ao concreto (Figuras 43 a 46). Também para este foram pesados o cimento e os agregados, e adicionados a betoneira (Figura 47 a 55), vale ressaltar que a quantidade de materiais para esse traço foi superior em relação ao da fibra com 0,75% de adição, como mencionado anteriormente, foi devido a quantidade de concreto que ficou no limite, então para que não houvesse problemas com falta foi aumentado as proporções, mantendo o traço, para que tivéssemos mais volume de concreto e conseqüentemente que sobrasse para eventuais perdas.

Figura 43 – Pesagem das fibras de aço para teor de 1,5%.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 44, 45 e 46 – Pesagem do cimento, agregados graúdo e miúdo.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 47, 48, 49, 50, 51 e 52 – Mistura do cimento, fibra e agregados graúdos e miúdos na betoneira, além da confecção dos corpos de prova.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 53 e 54 – CP's confeccionados com teor de 1,5% e desmolde.



Fonte: o autor (2025).

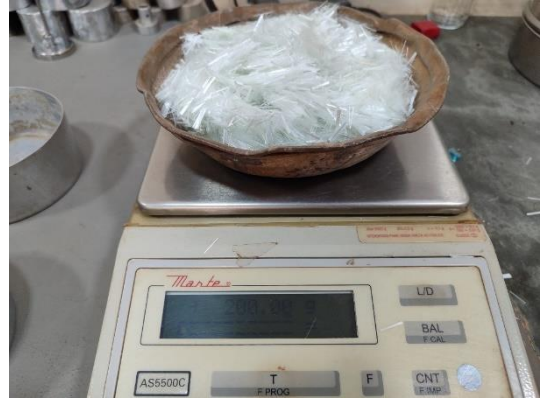
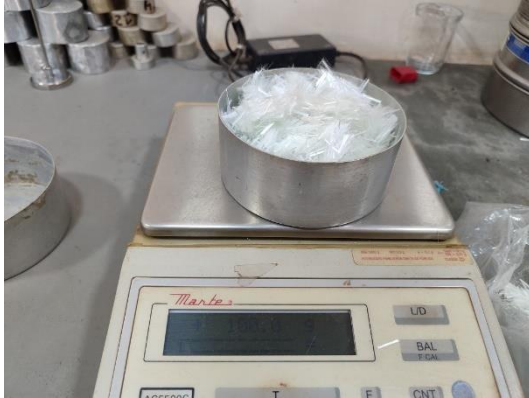
Figura 55 – Imersão em água para cura dos CP's com fibra de aço 1,5% de teor.



Fonte: o autor (2025).

Já para as fibras de vidro com adição de 0,5% foram 100 gramas (Figura 56) e para as fibras de vidro com 1% foram adicionadas 200 gramas (Figura 57). Os demais agregados e o cimento foram também pesados, nas mesmas quantidades para as duas, e assim colocadas na betoneira (Figura 58 a 63).

Figuras 56 e 57 – Fibras de vidro 100 g e 200 g.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 58, 59 e 60 – Pesagem do cimento e dos agregados grão e miúdo.



Fonte: o autor (2025).

Figura 61 – Mistura do traço.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 62 e 63 – Corpos de prova com fibras de vidro com teores de 1% e 0,5% confeccionados e imersos em água para cura dos CP's com fibras de vidro adicionadas.



Fonte: o autor (2025).

No processo de mistura dos traços de concreto com adição das fibras, foi utilizado um aditivo da marca MIRA EMx 1230 do tipo Plastificante que reduz a quantidade de água no concreto (Figura 64), aumentando sua resistência mecânica e diminuindo a porosidade de forma mais uniforme, além de melhorar sua trabalhabilidade. Essa adição de aditivo dispensa a adição de água para que o traço se mantenha e o concreto não perca sua proporção ideal para a resistência definida (30 Mpa).

Figura 64 – Aditivo plastificante redutor de água.



Fonte: o autor (2025).

Para cada um dos traços foi utilizado uma quantidade única de aditivo, pois a quantidade de água do traço não foi excedida, ficou uma sobra para que pudesse ser adicionado o aditivo para chegar na trabalhabilidade desejada, como cada fibra reage de uma forma diferente a matriz cimentícia e com suas proporções únicas, a quantidade de aditivo variou para cada uma delas, como definido na Tabela 6 que apresenta a quantidade de aditivo adicionada a cada uma das misturas e na Tabela 7 a quantidade de água adicionada a cada um.

Tabela 6 - Quantidade de aditivo adicionada as misturas dos CP's de forma distinta, levando em conta os teores das fibras.

Fibras	Quantidade de aditivo adicionado
Aço 0,75%	22 MI
Aço 1,5%	120 MI
Vidro 0,5%	75 MI
Vidro 1%	160 MI

Fonte: ABNT NBR 16889, 2020.

Tabela 7 - Quantidade de aditivo adicionada as misturas dos CP's de forma distinta, levando em conta os teores das fibras.

Fibras	Quantidade de água adicionada
Aço 0,75%	8400 MI
Aço 1,5%	8300 MI
Vidro 0,5%	8100 MI
Vidro 1%	8200 MI

Fonte: ABNT NBR 16889, 2020.

Após realizado essa mistura, foi necessário realizar um ensaio conhecido por *Slump Test*, conforme a ABNT NBR 16889:2020 - *Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Em que consiste na medição do abatimento do concreto fresco, determinando sua consistência. O teste foi realizado utilizando um molde de forma cônica, em que foi adicionado o concreto em três camadas, e em cada uma foi aplicado 25 golpes para adensamento para cada um dos traços.

Nas Figuras 65 a 68, é possível observar o *slump* dos CP's para os dois tipos de fibras com os dois teores em % (porcentagem) para as fibras de vidro e aço. A medida de abatimento adotada para os ensaios foi de 8 a 10 cm, levando em consideração já a adição de aditivo para chegar nessa medida.

Figuras 65 e 66 – Medida do *slump* dos traços para as fibras de aço 0,75 e 1,5 adicionadas.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 67 e 68 – Medida do *slump* dos traços para as fibras de vidro 0,5 e 1 adicionadas.



Fonte: o autor (2025).

Após o ensaio de abatimento do cone, é feita a confecção dos corpos de prova por meio dos moldes cilíndricos (10 cm de largura e 20 cm de altura) como mostrado nos parágrafos anteriores, antes do concreto ser colocado nos moldes é necessário aplicar um desmoldante para facilitar a desforma dos CP's e posteriormente é feito um adensamento em que é feito com a aplicação de 12 golpes com uma haste em duas camadas iguais de concreto, determinado pela NBR 5738:2015.

4.5 Ensaio de compressão axial nas idades de 3, 7 e 28 dias

Após 3 dias de cura, foram realizados os ensaios para os CP's de fibras de aço com teores de 0,75 e 1,5 % (porcento), como mostra as Figura 69 a 73. Além das fibras de vidro com teores de 0,5 e 1 % (porcento) Figuras 74 a 78. 4 corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial, na prensa hidráulica manual digital da marca Contenco, com capacidade de 100 toneladas.

Figura 69 – Corpos de prova com fibras de aço nos dois teores com 3 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 70 e 71 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 0,75 aos 3 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 72 e 73 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 1,5 para rompimento com 3 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 74 e 75 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibras de vidro 0,5% com 3 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 76 e 77 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibras de vidro 1% com 3 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figura 78 – Visualização dos CP's com fibras de vidro aos 3 dias de cura pós ensaio de compressão axial.



Fonte: o autor (2025).

Com 7 dias de cura, mais 4 corpos de prova (Figura 79) foram submetidos ao ensaio de compressão axial, para os dois teores para as fibras de vidro e aço, como é possível observar nas Figuras 80 a 91.

Figura 79 – CP's com adição de fibras de aço 0,75 e 1,5 aos 7 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 80 e 81 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibras de aço 0,75% com 7 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 82 e 83 – Rompimento corpo de prova e contra-prova com fibras de aço 1,5% com 7 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 84 e 85 – Detalhe dos corpos de prova com fibras de aço 0,75% e 1,5% rompidos com 7 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figura 86 – Fibras de vidro 0,5% e 1% com 7 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 87 e 88 – Rompimento de corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5% adicionada.



Figuras 89 e 90 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 1%.



Fonte: o autor (2025).

Figura 91 – Detalhe do CP com fibra de vidro 0,5% rompida.



Fonte: o autor (2025).

Já passados os 28 dias de cura, outros 4 CP's (Figura 92) foram submetidos a esse ensaio de compressão axial sem exposição aos agentes agressivos. Nas Figuras 93 a 102, é possível observar esses CP's de 28 dias sendo submetidos ao ensaio.

Figura 92 – Corpos de prova com adição de 0,75% e 1,5% aos 28 dias de cura.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 93 e 94 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com adição de 0,75% de fibras de aço.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 95 e 96 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com adição de 1,5% de fibras de aço.



Fonte: o autor (2025).

Figura 97 – Detalhe do CP com adição de fibras de aço rompido.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 98 e 99 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5%.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 100 e 101 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com adição de fibras de vidro 1%.



Fonte: o autor (2025).

Figura 102 – Detalhe do corpo de prova com fibra de vidro adicionada rompido.

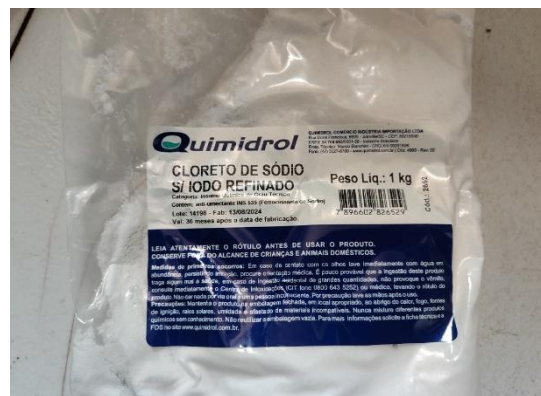
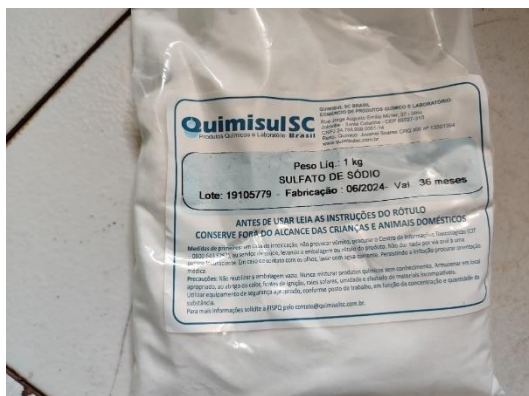


Fonte: o autor (2025).

4.6 Exposição ao sulfato e cloreto de sódio

Após romper os corpos de prova, foram colocados em tanques os demais 32 CP's submersos aos agentes agressivos, sulfato de sódio (Figura 103) e cloreto de sódio (Figura 104). Foram colocados distribuídos por fibras e por tipo de agente agressivo em 4 bacias com capacidade de 36 L. Nas Figura 105 a 108, é mostrado como se deu essa disposição dos CP's.

Figuras 103 e 104 – Sulfato de sódio e cloreto de sódio.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 105 e 106 – Corpos de prova com fibras de aço e vidro expostas ao sulfato de sódio protegidos por lona para não evaporação da água e evitar qualquer contato externo.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 107 e 108 – Corpos de prova com fibras de aço e vidro expostas ao cloreto de sódio e protegidos por lona para não evaporação da água e evitar qualquer contato externo.



Fonte: o autor (2025).

É importante frisar que os teores de cloreto e sulfato adicionados para exposição dos CP's foi de 3% em ambas as soluções, referentes aos 32 L de água na bacia. A concentração de 3% de sulfato de sódio e de cloreto de sódio utilizada neste estudo foi definida considerando valores frequentemente utilizados em estudos sobre a durabilidade de concretos expostos a ambientes agressivos, visando simular de forma acelerada as condições de ataque químico.

Em concordância com Xie *et al.* (2020), a utilização de soluções de cloreto de sódio a 3% em massa é eficaz para reproduzir cenários de exposição marinha e industrial, sendo um parâmetro seguro para a avaliação do impacto químico sobre as propriedades mecânicas e a integridade do concreto. Como mencionado anteriormente, esses ambientes em que há a presença de cloreto são prejudiciais ao concreto.

Dessa forma, também se manteve a mesma % (porcentagem) para o sulfato para manter o padrão de adição. A influência das concentrações de sulfato no ataque combinado cloreto-sulfato em concreto tem sido objeto de estudo, com pesquisas investigando diferentes

proporções. Dehwah, Maslehuddin e Austin (2002) exploraram o efeito de adições de sulfato de sódio em 1%, 2,5% e 4% (em peso) em soluções de cloreto para avaliar a corrosão da armadura em concretos de cimento Portland. Essas investigações demonstram que concentrações de sulfato de sódio na faixa de 1% a 4% foram consideradas relevantes para a compreensão dos mecanismos de deterioração do concreto em ambientes agressivos.

Após 40 dias de exposição aos agentes agressivos — soluções de cloreto de sódio e sulfato de sódio —, todos os corpos de prova, tanto com adição de fibras de aço quanto de vidro, foram retirados e secados ao ar livre, a fim de preservar suas propriedades físico-químicas. Em seguida, foram preparados para os ensaios mecânicos.

4.7 Rompimento dos CP's após exposição aos agentes químicos no ensaio de compressão axial

Para o ensaio de compressão axial, foram utilizados dois corpos de prova para cada tipo de exposição e teor de fibra, permitindo uma análise comparativa do desempenho frente aos diferentes ambientes agressivos, como ilustra na Figura 109.

Figura 109 – Corpos de prova com fibras de aço e vidro após exposição aos agentes agressivos para ensaios de compressão axial.



Fonte: o autor (2025).

Inicialmente, serão apresentados os corpos de prova com teores de 0,75% e 1,5% de fibras de aço após a exposição à solução de sulfato de sódio, a fim de evidenciar os efeitos desse agente agressivo em sua superfície e integridade estrutural. Na Figura 110, observa-se os corpos de prova com os dois teores de fibras após exposição ao sulfato de sódio.

Figura 110 – CP's com fibras de aço 1,5% e 0,75% após exposição ao sulfato de sódio.



Fonte: o autor (2025).

Já nas Figuras 111 a 114 apresentam a realização dos ensaios de compressão axial desses mesmos corpos de prova com os dois teores para fibras de aço, com o objetivo de avaliar seu comportamento mecânico frente à ação do sulfato de sódio. Essa sequência permite uma análise mais completa, relacionando os aspectos visuais da degradação com os resultados obtidos no momento da ruptura.

Figuras 111 e 112 – Rompimento do CP com fibra de aço 1,5% exposto ao sulfato, no ensaio de compressão axial.



Fonte: o autor (2025).

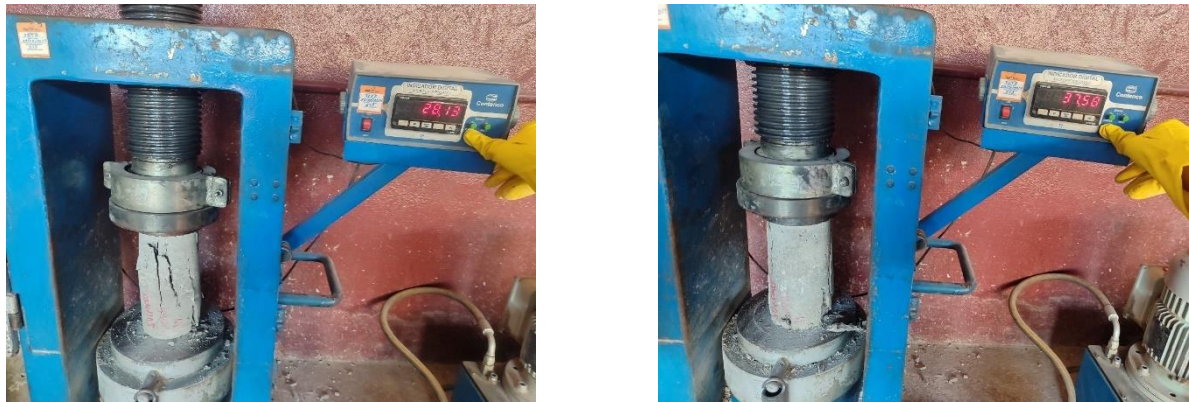
Figuras 113 e 114 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 0,75% exposto ao sulfato, no ensaio de compressão axial.



Fonte: o autor (2025).

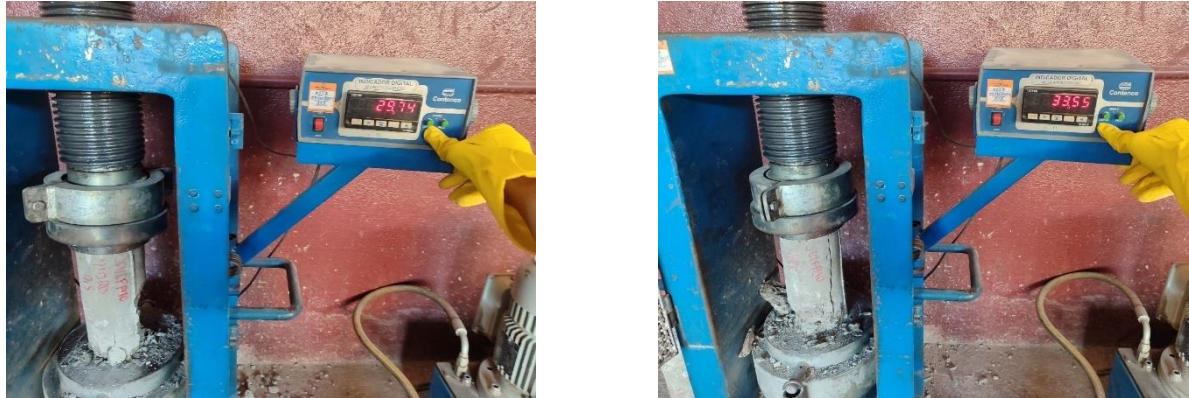
Já nas Figuras 115 a 118 apresentam os resultados dos ensaios de compressão axial de corpos de prova com fibras de vidro, expostos ao sulfato de sódio. Em que o objetivo é avaliar o comportamento mecânico desses compósitos após imersão prolongada no agente químico agressivo (40 dias).

Figuras 115 e 116 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 1% exposto ao sulfato, no ensaio de compressão axial.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 117 e 118 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5% exposto ao sulfato, no ensaio de compressão axial.



Fonte: o autor (2025).

Complementarmente, as Figuras 119 a 122 ilustram os ensaios de compressão axial realizados nos corpos de prova, incorporado com os dois teores distintos de fibras de aço (1,5% e 0,75%). O propósito desse ensaio é investigar o comportamento mecânico do material frente à agressão do cloreto de sódio, permitindo uma análise abrangente que correlaciona a degradação visual com os dados obtidos no momento da ruptura.

Figuras 119 e 120 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 1,5% exposto ao cloreto, no ensaio de compressão axial.



Fonte: o autor (2025).

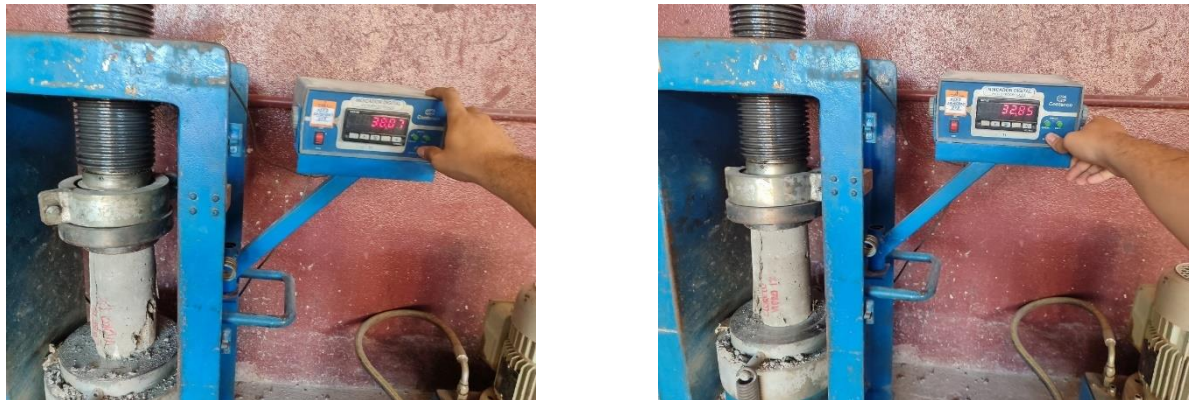
Figuras 121 e 122 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 0,75% exposto ao cloreto, no ensaio de compressão axial.



Fonte: o autor (2025).

Em sequência, as Figuras 123 a 126 ilustram os ensaios de compressão axial conduzidos nesses mesmos espécimes, que contêm os dois teores de fibras de vidro (0,5% e 1%). Analisando o comportamento mecânico do material sob a influência do cloreto de sódio, permitindo uma observação aprofundada ao conectar a deterioração visual com os resultados de resistência obtidos durante a ruptura.

Figuras 123 e 124 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 1% exposto ao cloreto, no ensaio de compressão axial.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 125 e 126 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5% exposto ao cloreto, no ensaio de compressão axial.



Fonte: o autor (2025).

4.8 Rompimento dos CP's após exposição aos agentes químicos no ensaio de tração por compressão axial

Agora para o ensaio de tração por compressão diametral para os CP's expostos ao sulfato e cloreto de sódio em seus respectivos teores (Figura 127). Nas Figuras 128 a 130, é possível observar os CP's com adição de fibras de aço nos seus dois teores frente a exposição ao sulfato de sódio.

Figura 127 – Corpos de prova divididos por tipo de exposição para ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 128 e 194 – Rompimento do corpo de prova de contra-prova com fibra de aço 1,5% exposto ao sulfato de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 129 e 130 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 0,75% exposto ao sulfato de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: o autor (2025).

Ainda para as fibras de aço, em seus dois teores. É possível observar nas Figuras 131 a 134, os ensaios de tração por compressão diametral para esses CP's expostos ao cloreto de sódio.

Figuras 131 e 132 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de aço 1,5% exposto ao cloreto de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 133 e 134 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibras de aço 0,75% com exposição ao cloreto de sódio na prensa para ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: o autor (2025).

A posteriori, ainda para o ensaio de tração por compressão axial nos corpos de prova com adição de fibras de vidro, nas Figuras 135 a 138, é possível observar os CP's nos seus dois teores frente a exposição ao sulfato de sódio.

Figuras 135 e 136 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 1% exposto ao sulfato de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: o autor (2025).

Figuras 137 e 138 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5% exposto ao sulfato de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: o autor (2025).

Adicionalmente, ainda para os ensaios de tração por compressão diametral. O CP's com fibras de vidro, nos teores de 0,5% e 1%, após exposição ao cloreto de sódio, foram submetidos ao rompimento conforme demonstrado nas Figuras 139 a 142.

Figuras 139 e 140 – Rompimento do corpo de prova e de contra-prova (com valor de 13,92 toneladas força) com fibra de vidro 1% exposto ao cloreto de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: o autor (2025).

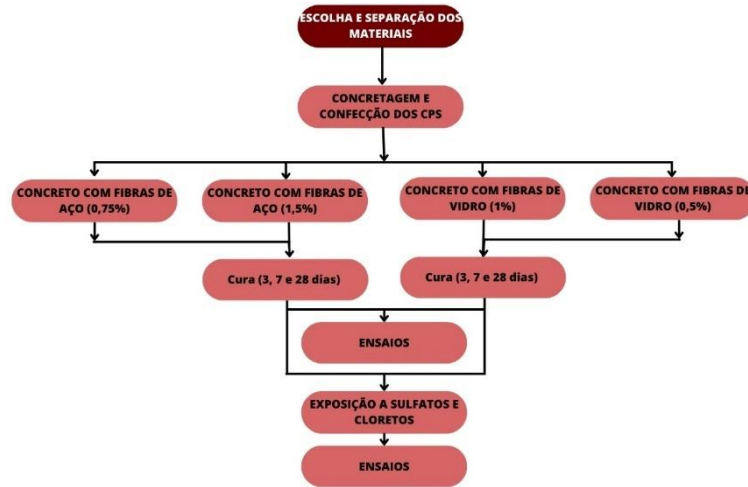
Figuras 141 e 142 – Rompimento do corpo de prova e contra-prova com fibra de vidro 0,5% exposto ao cloreto de sódio, no ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: o autor (2025).

Realizado todos os ensaios nos corpos de prova com os dois tipos de fibras com dois teores diferentes cada uma, ambas com exposição a sulfato e cloreto, seguindo o fluxograma dos experimentos previstos (Figura 143). Foram analisadas as formas que os interiores dos CP's ficaram após a exposição e registrar todos os valores de resistência medidos por meio da prensa hidráulica, em que será apresentado os resultados obtidos com as devidas discussões no tópico a seguir.

Figura 143 – Fluxograma dos experimentos.



Fonte: o autor (2025).

Adicionalmente, o estudo foi embasado em dados experimentais e em referências extraídas de literatura técnica, normas e pesquisas acadêmicas, as quais serviram de suporte para a validação dos ensaios realizados e para a análise dos resultados obtidos, buscando fornecer uma visão abrangente sobre a aplicação prática e as vantagens do uso de fibras de aço e de vidro em concretos submetidos a condições adversas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar o desempenho do concreto reforçado com fibras de aço e de vidro em ambientes agressivos, foram realizados ensaios de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral em corpos de prova com diferentes teores de fibras e idades de cura, seguindo os procedimentos normativos. Posteriormente, os corpos de prova foram expostos a soluções de sulfato e cloreto de sódio para análise de durabilidade e comportamento pós-exposição. Os ensaios de abatimento complementaram a análise, permitindo observar a trabalhabilidade das misturas. A seguir, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, destacando o impacto das fibras na resistência mecânica e no comportamento do concreto sob condições agressivas.

5.1 Impacto das fibras na trabalhabilidade no concreto

A incorporação de fibras ao concreto, embora benéfica para a resistência e durabilidade, impacta diretamente na trabalhabilidade da mistura, reduzindo sua consistência e fluidez. Isso ocorre devido à maior superfície específica das fibras e ao seu potencial de entrelaçamento, que dificultam o adensamento homogêneo da matriz (Safiuddini *et al.*, 2018).

Durante os ensaios preliminares, observou-se que os corpos de prova confeccionados sem aditivo plastificante apresentaram abatimentos inferiores aos adotados na pesquisa, entre 8 a 10 cm, mostrando baixa trabalhabilidade. Enquanto isso, a adição do aditivo plastificante resultou em um abatimento excessivo, ultrapassando os limites de trabalhabilidade previamente estabelecidos para este estudo. Diante disso, foi necessário realizar o ajuste fino da dosagem do aditivo, a fim de equilibrar a fluidez da mistura sem comprometer a coesão e a resistência final do concreto. Esse comportamento pode ser visualizado nas Figuras 144 e 145 a seguir.

Figuras 144 e 145 – *Slump* sem adição de aditivo plastificante, e com adição de aditivo antes de equilibrar a dosagem.



Fonte: o autor (2025).

As imagens evidenciam a influência negativa das fibras na consistência do concreto quando não há adição adequada de aditivos. Mesmo com a introdução inicial do aditivo plastificante, sem o ajuste correto da dosagem, o abatimento ainda permaneceu abaixo do esperado. Tal resultado reforça a necessidade de um controle rigoroso da quantidade de aditivo, de modo a compensar a perda de fluidez provocada pela presença das fibras e garantir uma mistura que possa ser devidamente moldada, sem comprometer a resistência mecânica

Como dito, a dificuldade de atingir a trabalhabilidade adequada apenas com ajustes no teor de água, optou-se pela utilização de um aditivo plastificante redutor de água. Essa solução permitiu alcançar o desempenho desejado sem comprometer a relação água/cimento e, consequentemente, a resistência do concreto. Após sucessivos ajustes, foi possível estabilizar o *slump* entre 8 e 10 cm, faixa adotada como ideal para este trabalho, pois proporciona equilíbrio entre moldabilidade e desempenho estrutural. As Figuras 146 e 147 ilustram os resultados obtidos com a dosagem final do aditivo corretamente equilibrada.

Figuras 146 e 147 – *Slump* após adição de aditivo plastificante com o equilíbrio na dosagem para alcance da trabalhabilidade ideal adotada, entre 8 e 10 cm.



Fonte: o autor (2025).

Observa-se que, com a dosagem otimizada do aditivo plastificante, os concretos com adição de fibras passaram a apresentar abatimentos dentro do intervalo ideal adotado, garantindo melhor adensamento, moldagem e acabamento superficial. A solução escolhida se mostrou eficiente para minimizar os efeitos negativos da incorporação das fibras sobre a fluidez da mistura, assegurando a qualidade da execução dos corpos de prova e a reprodutibilidade dos resultados obtidos nos ensaios posteriores.

5.2 Comparação da crescente resistência a compressão das fibras de aço e vidro aos 3, 7 e 28 dias de cura

Com base nas leituras obtidas, o valor dado pela prensa é dado em tonelada força e para converter para newtons é preciso multiplicar por 9.806,65 N, a resistência à compressão foi determinada em conformidade com a NBR 5739:2018, utilizando-se a equação a seguir:

$$F_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

F_c = Resistência a compressão (MPa);

F = Carga máxima aplicada (N);

D = Diâmetro do corpo de prova (mm).

Para a avaliação da resistência à tração por compressão diametral, foi utilizada a mesma prensa hidráulica, adaptando-se o posicionamento dos corpos de prova. As amostras foram submetidas a esforços compressivos aplicados de forma perpendicular ao seu eixo longitudinal, em pontos opostos da superfície lateral, conforme orientações da NBR 7222:2011. Esse ensaio é de fundamental importância para avaliar a tenacidade do concreto e a eficiência do reforço proporcionado pelas fibras, especialmente em compósitos cimentícios sujeitos a esforços de tração indireta.

A resistência à tração diametral foi calculada a partir da seguinte equação:

$$F_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi DL} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$F_{ct,sp}$ = Resistência à tração por compressão diametral (MPa);

F = Carga máxima aplicada (N);

D = Diâmetro do corpo de prova (mm);

L = Comprimento do corpo de prova (mm).

No estudo de Sakthivel e Vijay Aravind (2020), a tenacidade foi avaliada como a área sob a curva carga \times deflexão obtida nos ensaios de flexão em vigas, representando a energia absorvida pelo concreto reforçado com fibras de aço até a ruptura. Essa abordagem permite quantificar a capacidade do material de resistir e dissipar energia após o início da fissuração, sendo fundamental para a análise do comportamento pós-fissuração e da ductilidade do concreto.

A evolução da resistência à compressão axial do concreto com adição de fibras demonstrou um comportamento técnico coerente com a maturação da matriz cimentícia ao longo das idades de cura avaliadas (3, 7 e 28 dias). Contudo, variações significativas entre os traços indicam que o tipo e o teor de fibra influenciam diretamente o desempenho mecânico final, como mostram as Tabelas 8 a 10 e o Gráfico 1.

Tabela 8 – Ensaio de compressão axial com 3 dias de cura.

Corpo de Prova	Dias de Cura	Carga de Rompimento (tf)	Resistência a Compressão Axial (MPa)	Maior Valor de Resistência a Compressão Axial (MPa)
AÇO 0,75	3	13,39	16,72	24,63
		19,72	24,63	
AÇO 1,5	3	13,20	16,48	16,72
		13,39	16,72	
VIDRO 0,5	3	6,45	8,07	10,14
		8,12	10,14	
VIDRO 1	3	18,10	22,60	22,60
		11,09	13,83	

Fonte: o autor (2025).

Tabela 9 – Ensaio de compressão axial com 7 dias de cura.

Corpo de Prova	Dias de Cura	Carga de Rompimento (tf)	Resistência a Compressão Axial (MPa)	Maior Valor de Resistência a Compressão Axial (MPa)
AÇO 0,75	7	23,34	29,14	29,14
		17,19	21,46	
AÇO 1,5	7	17,81	22,26	22,87
		18,30	22,87	
VIDRO 0,5	7	26,68	33,29	33,29
		22,24	27,77	
VIDRO 1	7	23,22	28,96	28,96
		19,63	24,46	

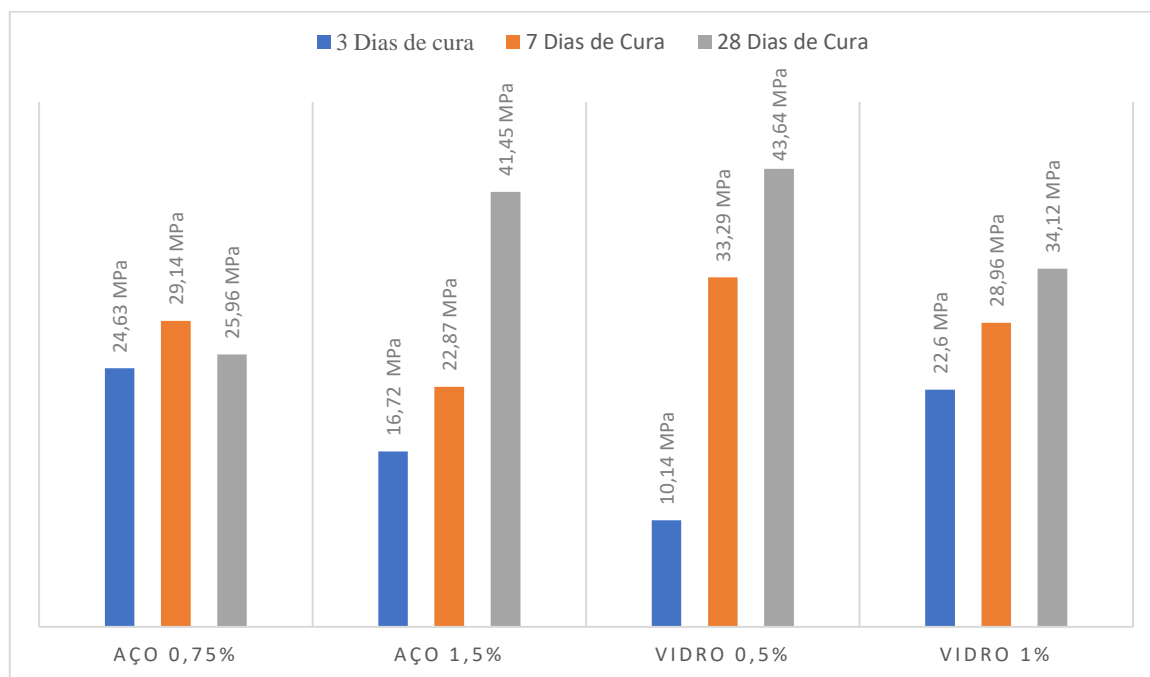
Fonte: o autor (2025).

Tabela 10 – Ensaio de compressão axial com 28 dias de cura.

Corpo de Prova	Dias de Cura	Carga de Rompimento (tf)	Resistência a Compressão Axial (MPa)	Maior Valor de Resistência a Compressão Axial (MPa)
AÇO 0,75	28	20,77	25,96	25,96
		18,66	23,29	
AÇO 1,5	28	33,17	41,45	41,45
		23,97	29,94	
VIDRO 0,5	28	28,77	35,88	43,64
		34,94	43,64	
VIDRO 1	28	23,52	29,37	34,12
		27,36	34,12	

Fonte: o autor (2025).

Gráfico 1 - Ensaio de compressão axial com 3,7 e 28 dias de cura para os dois teores das fibras de aço e vidro.



Fonte: o autor (2025).

No estágio inicial de 3 dias de cura, os traços com fibra de aço se destacaram por apresentar maior resistência em comparação aos com fibra de vidro. O traço com aço 0,75% obteve 16,72 MPa e 24,63 MPa, revelando uma amplitude considerável que pode estar relacionada à dispersão das fibras ou à heterogeneidade pontual na mistura. Já o traço com aço 1,5% apresentou valores mais uniformes (16,48 MPa e 16,72 MPa), o que sugere que o teor mais elevado pode ter provocado ligeira perda de trabalhabilidade, afetando o adensamento e o desempenho inicial.

Para as fibras de vidro, os resultados ficaram aquém dos obtidos com aço neste estágio. O traço com 0,5% de vidro apresentou 8,07 MPa e 10,14 MPa, enquanto o com 1% obteve 13,83 MPa e 22,60 MPa, este último superior aos traços com aço. A grande diferença entre os dois valores do traço de vidro 1% pode indicar que, apesar do alto desempenho de um dos corpos de prova, a homogeneidade da mistura pode ter sido comprometida, especialmente com o aumento do volume de fibras, que tende a dificultar o espalhamento uniforme e o adensamento adequado.

Com o avanço da hidratação do cimento, aos 7 dias, todos os traços apresentaram melhora na resistência à compressão. Destaca-se o traço com vidro 0,5%, que atingiu 33,29 MPa e 27,77 MPa, superando todos os demais, inclusive os com fibras de aço. Já o traço com vidro 1% alcançou 28,96 MPa e 24,46 MPa, confirmando seu bom desempenho.

Entre os traços com fibras de aço, o 0,75% obteve 29,14 MPa e 21,46 MPa, enquanto o 1,5% apresentou 22,26 MPa e 22,87 MPa. Nota-se que, embora o teor de 1,5% seja mais elevado, ele não refletiu necessariamente em ganho de resistência em relação ao traço com menor proporção, o que reforça a hipótese de que o excesso de fibras pode comprometer a trabalhabilidade e, conseqüentemente, a eficiência da compactação

Na idade de 28 dias, o concreto já atinge um estágio avançado de cura, e os resultados refletiram mais fielmente a interação entre as fibras e a matriz endurecida. Os traços com fibra de vidro 0,5% alcançaram 35,88 MPa e um expressivo 43,64 MPa, este sendo o maior valor registrado em toda a pesquisa. Esse desempenho pode ser atribuído a uma melhor proporção entre teor de fibra e volume de pasta, favorecendo a redistribuição de tensões internas e conferindo maior tenacidade e resistência pós-fissuração ao material.

O traço com fibra de aço 1,5% também apresentou alto desempenho, com 41,45 MPa e 29,94 MPa, destacando-se entre os de aço. Já o aço 0,75% obteve 25,96 MPa e 23,29 MPa, ficando abaixo dos demais. O traço com vidro 1% alcançou 29,37 MPa e 34,12 MPa, reforçando seu bom desempenho a longo prazo.

Além disso, Costa e Oliveira (2021) realizaram ensaios em corpos de prova cilíndricos de concreto sem adição de fibras, obtendo uma resistência média à compressão de 20,4 MPa após 28 dias de cura. Esse valor serve como referência para demonstrar o potencial de incremento de resistência quando há a adição de fibras, visto que, conforme analisado em diversos estudos, a incorporação de fibras metálicas ou de vidro pode promover melhorias significativas nas propriedades mecânicas do concreto, elevando sua resistência à compressão e sua ductilidade.

5.3 Fibra de aço adicionadas ao concreto, em dois teores diferentes, frente aos agentes agressivos – sulfato e cloreto de sódio

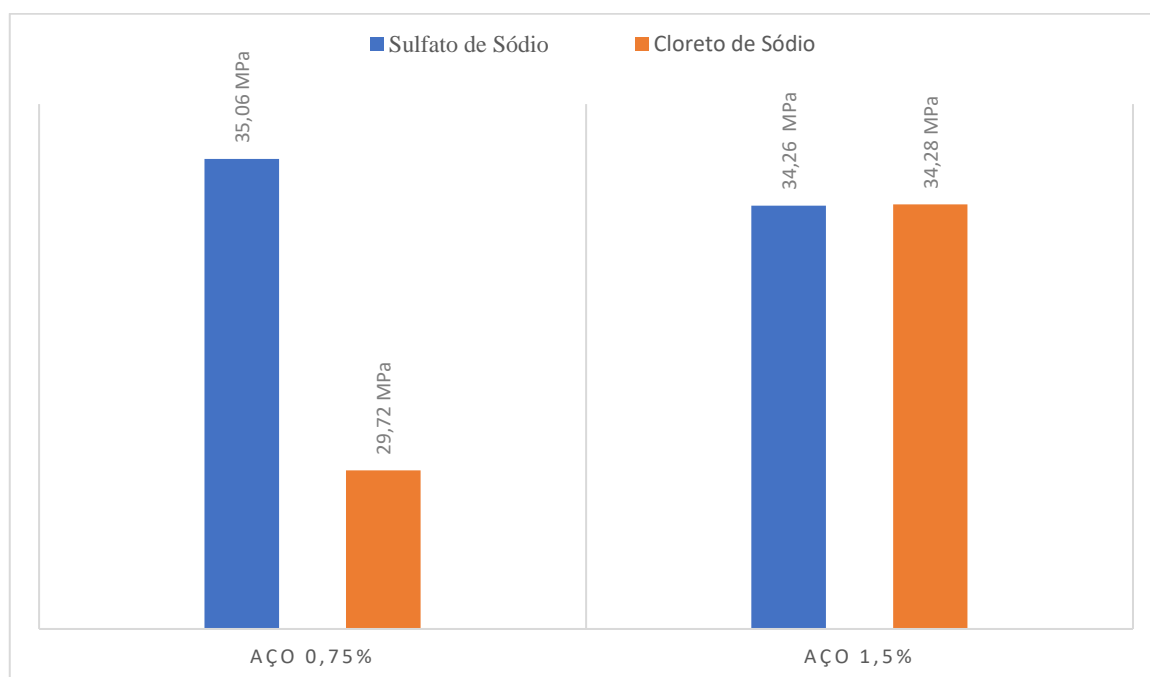
A avaliação da resistência à compressão dos corpos de prova com fibras de aço após 40 dias de exposição a soluções de sulfato de sódio e cloreto de sódio permitiram inferir os efeitos desses ambientes agressivos sobre o desempenho do concreto reforçado. Para isso, é necessário comparar os resultados dos traços com 0,75% e 1,5% de fibras de aço antes e após o período de imersão, considerando também a tendência de crescimento observada durante o processo de cura, como pode ser observado na Tabela 11 e Gráfico 2.

Tabela 11 – Ensaio de compressão axial dos corpos de prova com fibras de aço em seus dois teores expostos aos agentes químicos.

Agente Químico Agressivo	Corpo de Prova	Carga de Rompimento (tf)	Resistência a Compressão Axial (MPa)	Maior Valor de Resistência a Compressão Axial (MPa)
SULFATO DE SÓDIO	AÇO 0,75	28,08	35,06	35,06
		24,65	30,79	
	AÇO 1,5	27,42	34,26	34,26
		26,18	32,70	
CLORETO DE SÓDIO	AÇO 0,75	22,93	28,63	29,72
		23,80	29,72	
	AÇO 1,5	25	31,22	34,28
		27,43	34,28	

Fonte: o autor (2025).

Gráfico 2 - Ensaio de compressão axial para os dois teores das fibras de aço expostas ao sulfato e cloreto de sódio.



Fonte: o autor (2025).

Comparação com os 28 dias antes da exposição:

- Aço 0,75% (não exposto): 25,96 MPa e 23,29 MPa;
- Aço 1,5% (não exposto): 41,45 MPa e 29,94 MPa.

Estes valores refletem a resistência natural do concreto com fibras após o ciclo completo de cura sem intervenção de agentes químicos, seguindo a tendência já percebida de crescimento gradual nas idades anteriores (3 e 7 dias).

Exposição ao Sulfato de Sódio (40 dias adicionais):

- Aço 0,75%: 35,06 MPa e 30,79 MPa;
- Aço 1,5%: 34,26 MPa e 32,70 MPa.

Observa-se que, surpreendentemente, ambos os traços apresentaram aumento de resistência em relação à condição natural (sem exposição). Para o teor de 0,75%, o ganho é evidente, com elevações de aproximadamente 9 a 10 MPa, enquanto para o teor de 1,5% a resistência se manteve próxima dos valores anteriormente obtidos. Esses resultados indicam que o sulfato de sódio não provocou degradação significativa da matriz cimentícia ou das fibras metálicas no intervalo de 40 dias. Pelo contrário, é provável que o processo de continuidade da hidratação em ambiente úmido e controlado tenha favorecido o ganho de resistência, mascarando possíveis efeitos negativos da solução sulfatada.

Exposição ao Cloreto de Sódio (40 dias adicionais):

- Aço 0,75%: 28,63 MPa e 29,72 MPa;
- Aço 1,5%: 31,22 MPa e 34,28 MPa.

Já no caso do cloreto de sódio, a variação foi menos acentuada. Para o traço com 0,75%, houve um leve acréscimo de resistência, enquanto para o 1,5% os valores se mantiveram dentro de uma faixa próxima ao desempenho anterior. Não foi observada perda significativa de resistência, o que reforça a hipótese de que o tempo de exposição, ainda que representativo, não foi suficiente para desencadear reações deletérias relevantes, como a formação de produtos expansivos ou corrosão das fibras que comprometessem a integridade da matriz cimentícia.

Estudos mostram que exposições curtas podem não revelar totalmente os efeitos cumulativos de agentes agressivos no concreto, sendo os impactos mais evidentes em prazos prolongados. Park *et al.* (2019) observaram que, mesmo após 28 dias, a penetração de cloretos prosseguia de forma progressiva, dependente das condições de cura e da composição do concreto. Isso evidencia que os mecanismos de deterioração química são cumulativos e requerem tempo para se manifestar por completo. Assim, recomenda-se a realização de pesquisas futuras com períodos de exposição mais longos para análise dos efeitos de longo prazo na resistência e durabilidade do material.

Adicionalmente, a ASTM C1012/C1012M-18b (2018) recomenda períodos ainda mais prolongados, de 6 a 12 meses, para ensaios de expansão por sulfatos, caracterizando-se

como um método que exige maior tempo de acompanhamento para a correta avaliação dos efeitos cumulativos do ataque químico ao concreto.

O traço com 1,5% de fibras de aço demonstrou, em geral, melhor desempenho médio, tanto antes quanto depois da exposição química, especialmente nos corpos de prova imersos em cloreto, em que alcançou até 34,28 MPa. Por outro lado, o traço com 0,75%, apesar de apresentar boa resposta à exposição sulfatada, teve desempenho inferior em condição natural e em cloreto, sendo, portanto, o menos eficiente entre os dois no contexto geral.

Os dados indicam que nenhum dos agentes químicos agressivos causou impacto negativo imediato sobre a resistência à compressão do concreto com fibras de aço no intervalo de exposição analisado. Pelo contrário, os valores sugerem que o concreto, ao permanecer por 40 dias em meio líquido, pode ter se beneficiado da hidratação contínua, especialmente no caso do sulfato de sódio. Assim, provavelmente o tempo de exposição não foi suficiente para que as reações prejudiciais se manifestassem de maneira significativa. Conforme apontado por Wang *et al.* (2021), a exposição prolongada de concretos reforçados a ambientes quimicamente agressivos acelera mecanismos de deterioração como a expansão por produtos de corrosão e a formação de ettringita secundária, resultando em perda gradual de resistência mecânica, mesmo quando os valores iniciais não indicam redução significativa.

Esses resultados também reforçam a eficiência estrutural do teor de 1,5% de fibras de aço, que se destacou como o mais robusto frente às diferentes condições, mantendo desempenho elevado tanto em ambiente agressivo quanto natural. Já o teor de 0,75%, embora tenha mostrado comportamento positivo em meio sulfatado, apresentou desempenho inferior no geral, o que sugere que, para aplicações em ambientes potencialmente agressivos, a escolha de teores mais altos pode ser mais segura e eficiente — desde que respeitados os limites de trabalhabilidade e densidade da mistura.

5.4 Fibra de vidro adicionadas ao concreto, em dois teores diferentes, frente aos agentes agressivos – sulfato e cloreto de sódio

A análise dos resultados obtidos para os corpos de prova com adição de fibras de vidro evidencia um comportamento técnico relevante no que diz respeito à durabilidade e à estabilidade mecânica do concreto frente à exposição prolongada a soluções químicas agressivas. A comparação entre os valores obtidos aos 28 dias de cura e após 40 dias de imersão nas soluções de sulfato de sódio e cloreto de sódio permite avaliar o potencial de degradação

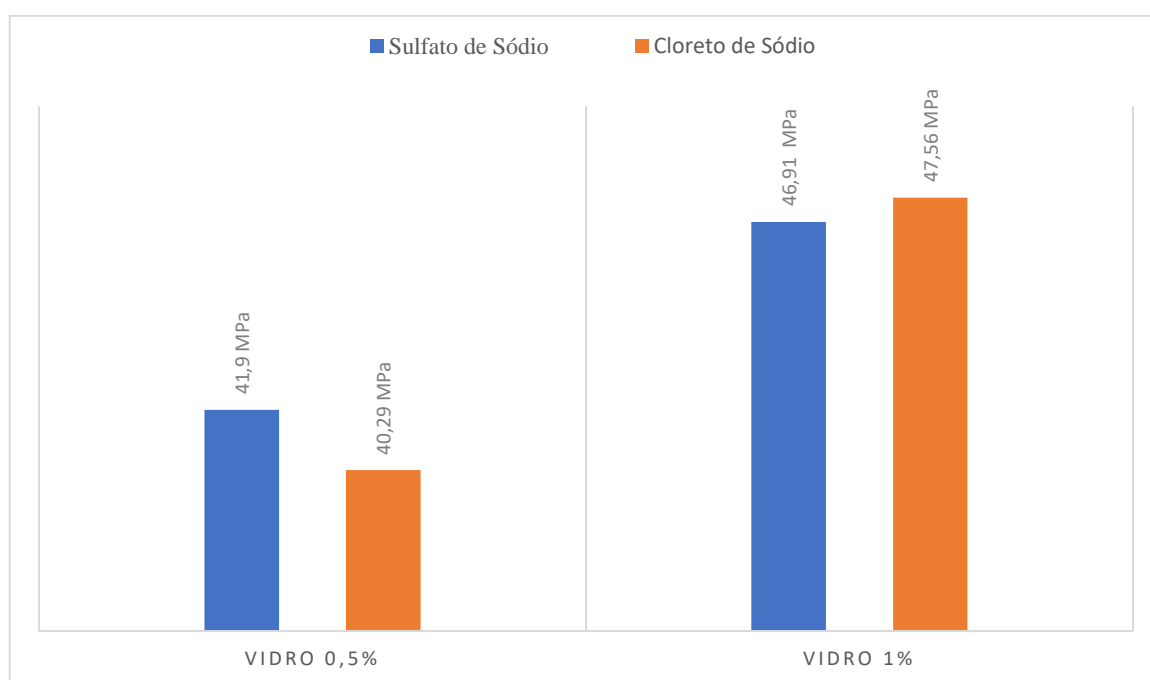
ou de continuidade da hidratação da matriz cimentícia reforçada com fibras não metálicas, como é possível observar na Tabela 12 e Gráfico 3.

Tabela 12 – Ensaio de compressão axial dos corpos de prova com fibras de vidro em seus dois teores expostos aos agentes químicos.

Agente Químico Agressivo	Corpo de Prova	Carga de Rompimento (tf)	Resistência a Compressão Axial (MPa)	Maior Valor de Resistência a Compressão Axial (MPa)
SULFATO DE SÓDIO	VIDRO 0,5	33,55	41,90	41,90
		29,74	37,13	
	VIDRO 1	28,13	35,14	46,91
		37,58	46,91	
CLORETO DE SÓDIO	VIDRO 0,5	32,26	40,29	40,29
		30,40	37,98	
	VIDRO 1	32,85	41,03	47,56
		38,07	47,56	

Fonte: o autor (2025).

Gráfico 3 - Ensaio de compressão axial para os dois teores das fibras de vidro expostas ao sulfato e cloreto de sódio.



Fonte: o autor (2025).

Aos 28 Dias de Cura (sem exposição):

- Vidro 0,5%: 35,88 MPa e 43,64 MPa;
- Vidro 1%: 29,37 MPa e 34,12 MPa.

Os dados acima evidenciam que o traço com 0,5% de fibras de vidro já apresentava excelente desempenho mecânico aos 28 dias, especialmente com o corpo de prova que alcançou 43,64 MPa, o valor mais alto registrado antes da imersão. O traço com 1% apresentou desempenho inferior, ainda que bastante satisfatório, o que sugere que o aumento no volume de fibras nem sempre resulta em melhoria da resistência — possivelmente devido à dispersão irregular ou ao prejuízo na trabalhabilidade da mistura.

Exposição ao Sulfato de Sódio:

- Vidro 0,5%: 41,90 MPa e 37,13 MPa;
- Vidro 1%: 35,14 MPa e 46,91 MPa.

Após a exposição à solução sulfatada, observa-se que não houve redução na resistência dos corpos de prova. Pelo contrário, os valores mantiveram-se em níveis elevados, e no caso do traço com 1% de fibras de vidro, um dos CP's chegou a 46,91 MPa, superando inclusive os valores obtidos antes da imersão. O desempenho do traço com 0,5% também foi positivo, registrando 41,90 MPa — superior à média anterior. Esses dados sugerem que a presença de fibras de vidro promoveu estabilidade estrutural frente à ação de sulfatos, e que os 40 dias de exposição foram insuficientes para provocar qualquer tipo de degradação perceptível.

Exposição ao Cloreto de Sódio:

- Vidro 0,5%: 40,29 MPa e 37,98 MPa;
- Vidro 1%: 41,03 MPa e 47,56 MPa.

Com relação à exposição ao cloreto de sódio, os traços com fibras de vidro apresentaram comportamento ainda mais estável. Ambos os teores demonstraram manutenção ou aumento da resistência, com destaque para o traço com 1%, que novamente ultrapassou os valores iniciais e chegou a 47,56 MPa, o maior resultado da pesquisa. O traço com 0,5% também se manteve em patamares elevados e consistentes. Esses resultados indicam que a fibra de vidro possui boa resistência química frente ao ataque de íons cloreto, e que o tempo de exposição (40 dias) não foi suficiente para induzir processos de deterioração mais extrema, apesar de ter apresentado manifestações patológicas como será debatido mais à frente.

O teor de 1% de fibra de vidro apresentou os melhores resultados médios após a exposição, especialmente nos corpos de prova submetidos ao cloreto, atingindo até 47,56 MPa. Já o teor de 0,5%, embora tenha mantido boa performance, apresentou leve oscilação negativa em um dos corpos de prova, indicando menor estabilidade de resposta em relação ao teor maior.

No entanto, é importante destacar que nenhum dos traços sofreu redução crítica de resistência, o que reforça a compatibilidade química e estrutural da fibra de vidro com ambientes agressivos, mesmo em teores mais baixos.

Diante dos resultados, não houve impacto negativo significativo da exposição às soluções de sulfato e cloreto sobre a resistência à compressão do concreto com fibras de vidro. A manutenção — e, em alguns casos, o aumento — da resistência após os 40 dias de imersão aponta que esse tempo de exposição, embora tecnicamente adequado para ensaios preliminares, não foi suficiente para desencadear processos agressivos que comprometessem a integridade dos corpos de prova.

O bom desempenho do traço com 1% de fibra de vidro, principalmente em cloreto, sugere que teores mais elevados, desde que bem dispersos, promovem maior tenacidade, resistência à fissuração e estabilidade química, mesmo sob ação de agentes potencialmente deletérios. Já o traço com 0,5%, apesar de ter apresentado o maior valor individual antes da imersão, teve desempenho levemente inferior na média final — indicando que, embora eficaz, sua resistência pode ser mais sensível a variações no ambiente ou na execução.

Assim, a fibra de vidro se apresenta como uma alternativa promissora e durável para reforço de concretos expostos a ambientes agressivos, especialmente quando utilizadas em proporções equilibradas que não prejudiquem a trabalhabilidade da mistura.

5.5 Comparação dos resultados do ensaio de compressão axial nos corpos de prova com adição de fibras de aço e vidro, frente a exposição aos agentes agressivos

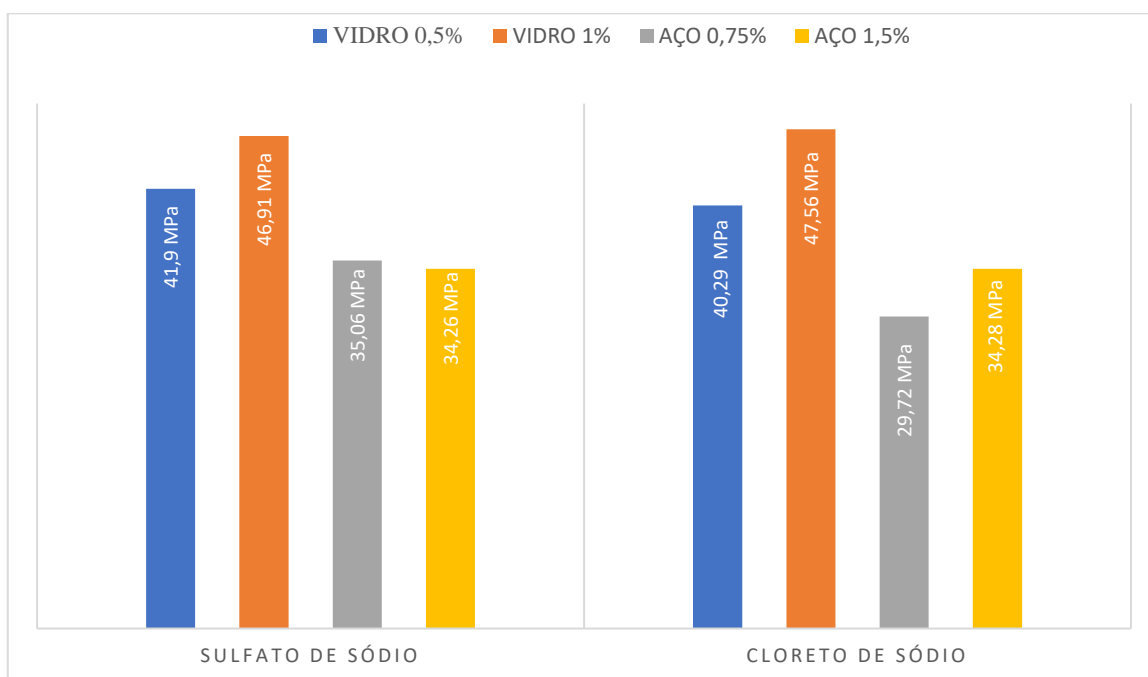
A avaliação do comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras de aço e de vidro, após 40 dias de exposição contínua a soluções de sulfato de sódio e cloreto de sódio, permitiram uma análise criteriosa sobre a eficiência e durabilidade de cada tipo de fibra em ambientes quimicamente agressivos, como mostram a Tabela 13 e Gráfico 4. Essa comparação é essencial para determinar não apenas a resistência à compressão resultante, mas também a estabilidade da matriz cimentícia e o potencial mitigador de fissuras que cada fibra oferece.

Tabela 13 – Comparação dos resultados obtidos no ensaio de compressão axial dos corpos de prova com fibras de vidro e aço em seus dois teores expostos aos agentes químicos.

Agente Químico Agressivo	Corpo de Prova	Resistência a Compressão Axial (Mpa)	Maior Valor de Resistência a Compressão Axial (MPa)
SULFATO DE SÓDIO	VIDRO 0,5	41,90	41,90
		37,13	
	VIDRO 1	35,14	46,91
		46,91	
SULFATO DE SÓDIO	AÇO 0,75	35,06	35,06
		30,79	
	AÇO 1,5	34,26	34,26
		32,70	
CLORETO DE SÓDIO	VIDRO 0,5	40,29	40,29
		37,98	
	VIDRO 1	41,03	47,56
		47,56	
CLORETO DE SÓDIO	AÇO 0,75	28,63	29,72
		29,72	
	AÇO 1,5	31,22	34,28
		34,28	

Fonte: o autor (2025).

Gráfico 4 – Comparação das resistências do ensaio de compressão axial obtidas pelos CP's com adição de fibras de aço e vidro em dois teores para cada uma, frente a exposição aos agentes químicos agressivos.



Fonte: o autor (2025).

Exposição ao Sulfato de Sódio

- Fibras de Aço:
 - Aço 0,75%: 35,06 MPa e 30,79 MPa;
 - Aço 1,5%: 34,26 MPa e 32,70 MPa.
- Fibras de Vidro:
 - Vidro 0,5%: 41,90 MPa e 37,13 MPa;
 - Vidro 1%: 35,14 MPa e 46,91 MPa.

Nesta condição, os traços com fibras de vidro apresentaram desempenho substancialmente superior em ambos os teores. O traço com 0,5% de vidro alcançou até 41,90 MPa, superando inclusive o melhor resultado com fibras de aço. Já o traço com 1% de vidro atingiu impressionantes 46,91 MPa, configurando-se como o maior valor absoluto da análise sob sulfato. Aparentemente, a fibra de vidro demonstra maior compatibilidade química com o ambiente sulfatado, oferecendo resistência mais estável e eficaz. Em contrapartida, os traços com fibras de aço mantiveram bom desempenho, mas sem alcançar os mesmos patamares, sugerindo que o vidro apresenta menor susceptibilidade à ação de íons sulfato, possivelmente devido à sua natureza inerte e à ausência de processos corrosivos nas fibras.

Exposição ao Cloreto de Sódio

- Fibras de Aço:

- Aço 0,75%: 28,63 MPa e 29,72 MPa;
- Aço 1,5%: 31,22 MPa e 34,28 MPa.
- Fibras de Vidro:
 - Vidro 0,5%: 40,29 MPa e 37,98 MPa;
 - Vidro 1%: 41,03 MPa e 47,56 MPa.

Sob ataque por cloretos, os resultados reforçam a superioridade das fibras de vidro no que tange à resistência à compressão pós-exposição. Todos os traços com vidro superaram de forma consistente os com aço. O traço com 1% de fibra de vidro atingiu 47,56 MPa, maior valor de toda a pesquisa, seguido de perto pelo traço com 0,5%, com 40,29 MPa. Já os traços com fibras de aço apresentaram desempenho visivelmente inferior, com valores entre 28,63 MPa e 34,28 MPa.

Este comportamento pode ser atribuído à ação corrosiva dos íons cloreto sobre as fibras metálicas, ainda que atenuada pelo curto tempo de exposição. Mesmo sem evidências de degradação estrutural, a tendência é que o aço, por sua natureza ferrosa, seja mais vulnerável à presença de cloretos em relação ao vidro, o que compromete a durabilidade a médio e longo prazo. Já a fibra de vidro, por ser quimicamente estável, manteve sua integridade, resultando em resistência elevada e consistente.

A análise conjunta dos resultados revela que a fibra de vidro, em ambos os teores analisados, foi mais eficaz que a fibra de aço quanto à resistência à compressão após exposição química. Além de apresentar os maiores valores absolutos, demonstrou também regularidade e estabilidade frente a diferentes ambientes agressivos. O traço com 1% de fibra de vidro se destacou com os melhores resultados, alcançando 46,91 MPa no sulfato e 47,56 MPa no cloreto, evidenciando não apenas resistência superior, mas também resiliência frente a agentes que normalmente causariam danos estruturais ao concreto convencional.

Por outro lado, os traços com fibras de aço, apesar de também apresentarem resistência satisfatória, mostraram menor desempenho relativo diante das soluções agressivas, especialmente frente aos cloretos, em que sua suscetibilidade à corrosão, mesmo em estágio inicial, pode ter influenciado negativamente os resultados. Isso não invalida a eficácia do aço como reforço, mas ressalta que em contextos de exposição química contínua ou severa, as fibras de vidro tendem a ser uma opção mais vantajosa

Portanto, com base nos dados obtidos, a fibra de vidro apresentou desempenho superior à fibra de aço na resistência à compressão de concretos expostos a agentes agressivos. Sua estabilidade química, aliada à boa dispersão na matriz e à compatibilidade com ambientes

hostis, a torna altamente recomendável para estruturas em contato com ambientes marinhos, industriais ou contaminados. Assim, o estudo evidencia o potencial técnico e durável das fibras de vidro, reforçando a importância da escolha criteriosa dos materiais em função das condições de exposição e dos requisitos estruturais de cada projeto.

5.6 Tração por compressão diametral nos corpos de prova com adição de fibras de aço e vidro, frente a exposição aos agentes agressivos

O ensaio de tração por compressão diametral permite avaliar a tenacidade e a resistência à tração indireta do concreto, sendo especialmente útil para investigar o comportamento de reforços fibrosos frente à ação de agentes externos. Neste contexto, a análise dos corpos de prova com fibras de vidro após 40 dias de imersão em soluções de sulfato de sódio e cloreto de sódio revela aspectos importantes sobre a durabilidade e integridade mecânica dos compósitos cimentícios reforçados com esse tipo de fibra, como pode-se observar na Tabela 14 e Gráfico 5.

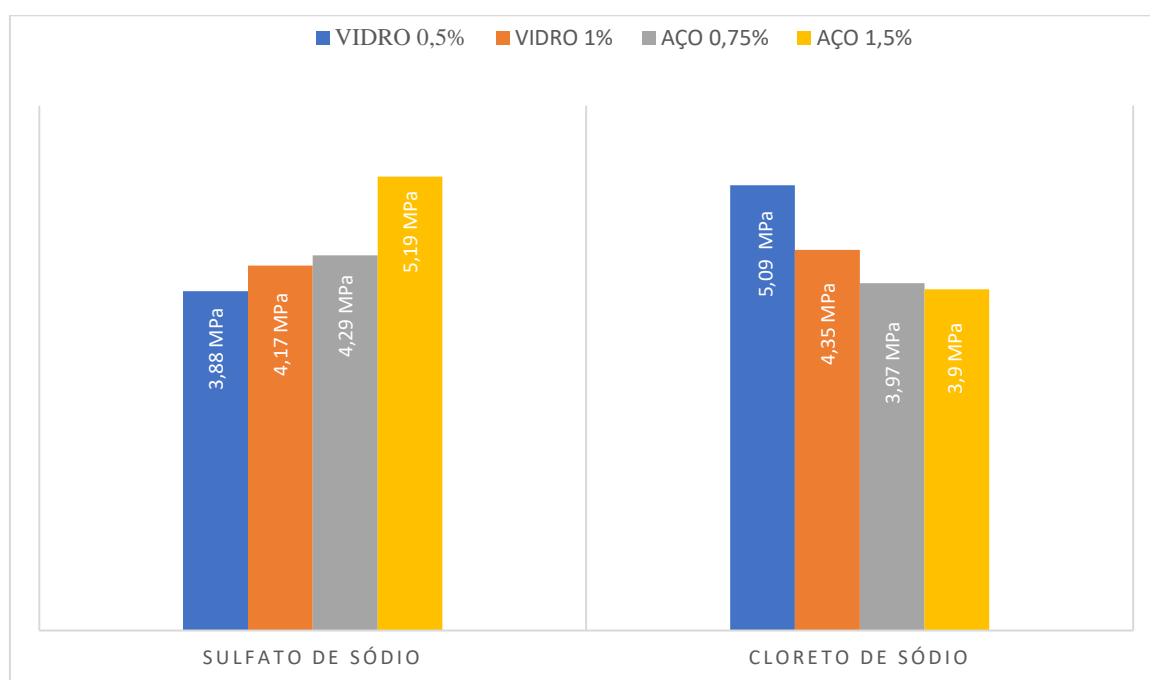
Tabela 14 – Comparação dos resultados obtidos no ensaio de tração por compressão diametral dos corpos de prova com fibras de vidro e aço em seus dois teores expostos aos agentes químicos.

Agente Químico Agressivo	Corpo de Prova	Carga de Rompimento (tf)	Resistência a Tração por Compressão Diametral (MPa)	Maior Valor de Tração por Compressão Diametral (MPa)
SULFATO DE SÓDIO	VIDRO 0,5	10,44	3,26	3,88
		12,43	3,88	
	VIDRO 1	12,43	3,88	4,17
		13,37	4,17	
SULFATO DE SÓDIO	AÇO 0,75	13,75	4,29	4,29
		11,51	3,59	
	AÇO 1,5	16,63	5,19	5,19
		12,42	3,88	
CLORETO DE SÓDIO	VIDRO 0,5	16,31	5,09	5,09
		8,80	2,75	
	VIDRO 1	13,92	4,35	4,35
		11,94	3,73	

CLORETO DE SÓDIO	AÇO 0,75	12,71	3,97	3,97
		10,44	3,26	
	AÇO 1,5	12,49	3,90	3,90
		10,39	3,24	

Fonte: o autor (2025).

Gráfico 5 – Comparação das resistências no ensaio de tração por compressão diametral obtidas pelos CP's com adição de fibras de aço e vidro em dois teores para cada uma, frente a exposição aos agentes químicos agressivos.



Fonte: o autor (2025).

Com base nos resultados obtidos no ensaio de tração por compressão diametral dos corpos de prova expostos durante 40 dias às soluções de sulfato de sódio e cloreto de sódio, é possível analisar o comportamento do concreto reforçado com fibras de vidro em dois teores distintos (0,5% e 1%) frente à ação de agentes químicos agressivos.

Análise do impacto do sulfato de sódio:

- Vidro 0,5%: 3,26 MPa e 3,88 MPa (média: 3,57 MPa);
- Vidro 1%: 3,88 MPa e 4,17 MPa (média: 4,03 MPa).

Análise do impacto do cloreto de sódio:

- Vidro 0,5%: 5,09 MPa e 2,75 MPa (média: 3,92 MPa);
- Vidro 1%: 4,35 MPa e 3,73 MPa (média: 4,04 MPa).

Observa-se que para o teor de 0,5% de fibra de vidro, houve uma variação significativa nos resultados obtidos sob exposição ao cloreto de sódio, indicando um possível

comportamento instável do compósito. Apesar de um dos valores ter atingido 5,09 MPa, o outro foi de apenas 2,75 MPa, resultando em uma média de 3,92 MPa, levemente superior àquela obtida sob exposição ao sulfato (3,57 MPa). Esse comportamento pode indicar que a exposição ao cloreto de sódio não comprometeu de forma significativa a integridade da matriz cimentícia com esse teor de fibra — pelo contrário, possivelmente manteve ou até melhorou a resistência em comparação com o sulfato.

No caso do teor de 1% de fibra de vidro, os resultados foram bastante semelhantes entre as duas soluções agressivas. A média da resistência à tração diametral foi de 4,03 MPa sob sulfato de sódio e 4,04 MPa sob cloreto de sódio, praticamente idênticas. Isso sugere que a exposição de 40 dias a essas soluções não foi suficiente para provocar perdas significativas de resistência no concreto com esse teor de fibra.

Melhor desempenho médio: Fibra de vidro 1% (4,04 MPa sob cloreto e 4,03 MPa sob sulfato) — mostrou maior estabilidade e menor variação entre os ambientes, indicando maior resistência frente aos ataques químicos testados.

Pior desempenho médio: Fibra de vidro 0,5% sob sulfato de sódio, com média de 3,57 MPa — sendo o único caso em que ambos os valores ficaram abaixo de 4 MPa.

Sobre o impacto dos agentes agressivos, não foi verificado um impacto negativo expressivo nas resistências médias dos corpos de prova. Isso indica que, provavelmente, o tempo de exposição de 40 dias não foi suficiente para causar degradações significativas nas propriedades mecânicas do concreto com fibras de vidro. A baixa reatividade química entre as fibras e os agentes ou a formação de uma matriz mais densa com as fibras pode ter contribuído para essa resistência à agressividade.

Essa análise reforça a importância de considerar períodos maiores de exposição ou concentrações mais elevadas de agentes para se observar com mais clareza os efeitos da degradação por ataque químico em ensaios complementares como este. Dessa forma, para ambientes agressivos e com exigência de desempenho à tração, o uso de 1% de fibra de vidro se mostra mais eficiente e seguro, conferindo maior confiabilidade e desempenho contínuo ao concreto, mesmo sob exposição prolongada a agentes químicos agressivos.

5.7 Manifestações patológicas apresentadas nos corpos de prova com as fibras de aço e vidro adicionadas, em seus teores, frente a exposição aos agentes químicos agressivos

Durante a etapa de análise pré e pós-ensaio, foram avaliados visualmente os corpos de prova rompidos, especialmente aqueles que foram submetidos à exposição prolongada a

soluções químicas agressivas. A partir dessa observação direta, foi possível identificar manifestações patológicas em algumas amostras, o que evidencia possíveis alterações na integridade da matriz cimentícia provocadas pela interação com os agentes externos. As figuras a seguir ilustram essas ocorrências em diferentes condições de exposição.

Figuras 148 e 149 – Corpos de prova expostos ao cloreto de sódio apresentando manifestações patológicas.



Fonte: o autor (2025).

As manchas amareladas notadas na superfície representam a eflorescência salina, resultado direto da migração de cloretos dissolvidos que, ao alcançarem o exterior do material, cristalizam-se com a evaporação da água. Embora frequentemente vista como um mero problema estético, essa manifestação superficial é um claro sinal da atividade química interna dos sais, que pode levar ao comprometimento da coesão do concreto e à formação progressiva de fissuras. Um estudo publicado na Revista *Materials* sobre a deterioração do concreto em soluções de cloreto e sulfato aprofunda os mecanismos de difusão iônica que subjazem a esse fenômeno, reforçando que a presença de sais não é apenas superficial, mas um indicativo de processos que afetam a durabilidade estrutural (Zhang *et al.*, 2021).

Já durante a etapa de avaliação visual dos corpos de prova submetidos à imersão em solução de sulfato de sódio, foram identificadas alterações superficiais relevantes, incluindo manchas de coloração ferruginosa e depósitos brancos. Tais manifestações, refletem possíveis interações entre o agente agressivo e os materiais constituintes da matriz cimentícia. As Figuras 150 e 151 registram essas evidências.

Figuras 150 e 151 – Corpos de prova expostos ao sulfato de sódio apresentando manifestações patológicas.



Fonte: o autor (2025).

As manchas de ferrugem observadas na superfície dos corpos de prova indicam a início de corrosão das fibras de aço embutidas, causadas pela ação dos íons sulfato que, ao penetrarem na matriz cimentícia por meio da porosidade capilar, encontram as fibras metálicas e iniciam reações eletroquímicas. A ferrugem visível na superfície é um indicativo de que o processo de corrosão já ultrapassou a zona de recobrimento, manifestando-se externamente.

Já os depósitos brancos podem ser atribuídos à formação de ettringita secundária, um produto expansivo da reação entre aluminatos presentes no cimento e os íons sulfato ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$), cuja cristalização ocorre nas microfissuras e vazios da matriz. Essa manifestação é típica do ataque por sulfatos, que pode provocar expansão, aumento da porosidade e posterior desagregação do concreto com o passar do tempo (Xie *et al.*, 2020).

Essas evidências visuais e superficiais demonstram que, mesmo em estágios iniciais, a interação com sulfatos e cloretos já influencia o comportamento físico-químico do compósito. Assim, é possível presumir como apontou o autor Wang (2021), que uma exposição mais prolongada a essas condições agressivas poderia intensificar os mecanismos de deterioração interna, refletindo, em médio ou longo prazo, em perdas efetivas de desempenho estrutural.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar comparativamente o desempenho do concreto com adição de fibras de aço e de vidro quando submetido a condicionantes físicos representados por agentes químicos agressivos, como o sulfato de sódio e o cloreto de sódio. Os ensaios experimentais, conduzidos em diferentes idades de cura e com teores variados de fibras, permitiram identificar o comportamento mecânico e a durabilidade do concreto reforçado sob tais condições.

Os resultados indicaram que a incorporação de fibras, tanto metálicas quanto vítreas, promoveram melhorias significativas na resistência pós-fissuração e na tenacidade do concreto, que nada mais é a capacidade do concreto de absorver energia até a ruptura. As fibras de aço mostraram-se eficientes em contextos de esforços mecânicos elevados, enquanto as fibras de vidro demonstraram, em idades maiores de cura, uma resistência superior e maior estabilidade frente aos agentes químicos, sobretudo nos ensaios de compressão axial após exposição prolongada. Além disso, observou-se que, respeitando os limites de trabalhabilidade, os maiores teores de fibras geralmente proporcionaram melhor desempenho estrutural, o que reforça a importância da dosagem correta e da adaptação do traço para cada aplicação.

Outro aspecto relevante foi a constatação, a partir das análises visuais, de manifestações patológicas que indicam início de degradação da matriz cimentícia, mesmo quando a resistência mecânica não foi imediatamente comprometida. Essas evidências sugerem que a ação contínua dos agentes agressivos pode, com o tempo, provocar perda de desempenho estrutural de forma progressiva.

Diante disso, conclui-se que a utilização de fibras no concreto, em teores adequados, representa uma estratégia promissora para aumento da durabilidade e da segurança estrutural em ambientes agressivos. Entretanto, os dados obtidos neste estudo representam uma etapa inicial de investigação.

Recomenda-se, portanto, a realização de estudos complementares com períodos mais prolongados de exposição química, além de análises microestruturais mais aprofundadas, a fim de melhor compreender os efeitos cumulativos dos agentes agressivos sobre a matriz cimentícia e sobre a integridade das fibras incorporadas ao concreto. Sugere-se também a utilização de um número maior de corpos de prova nos ensaios, com o objetivo de reduzir os desvios padrão dos resultados e obter dados mais consistentes e representativos para embasar futuras aplicações práticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530: Fibras de aço para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2020.

____. **NBR 14859 - 1: Lajes pré-fabricadas de concreto - Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

____. **NBR 16935: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

____. **NBR 7222: Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

____. **NBR 16941: Fibras de vidro álcali-resistentes (AR) para concreto e argamassa - Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2021.

____. **NBR 11578: Cimento Portland Composto**. Rio de Janeiro, 1991.

____. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2022.

____. **NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

____. **NBR 7211: Agregados para concreto — Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

____. **NBR 7251: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

____. **NBR 16917: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

____. **NBR 16916: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

____. **NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

____. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

AHMAD, Jawad.; ZHOU, Zhiguang. *Mechanical properties of natural as well as synthetic fiber reinforced concrete: a review.* **Construction and Building Materials**, v. 333, p. 127353, 2022.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). C1012/C1012M-18b. **Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution**, ASTM International, 2018.

ARCELORMITTAL. Dramix – Fibras de aço para concreto. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/construcao-civil/dramix>. Acesso em: 15 fev. 2025

Braz, Mariane Caroline de Araujo.; NASCIMENTO, Felipe Bomfim Cavalcante do. CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 43–56, 2015.

BELTRAME, Neusa Aparecida Munhak. **Estudo do uso de resíduos de construção e demolição para a produção de concreto permeável**. 2017. Dissertação (Mestrado em engenharia civil - Componentes e materiais de construção) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

BONIFÁCIO, Jéssica Spricigo da Rocha; GODINHO, Daiane dos Santos da Silva. **Estudo do efeito das fibras de vidro e polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto**. 2015. 19 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015.

CABRAL, Larissa Marques Cunha; DE LIMA, Rodrigo Costa Portela. Comportamento das fibras de aço, polipropileno e combinadas podem causar no estado fresco em concretos autoadensáveis. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, p. 4930-4940, 2023.

CARNIO, Marco Antônio. CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS - Aspectos Gerais Sobre o Uso do Concreto Reforçado Com Fibras no Brasil: Produção, Projeto, Tecnologia, Normalização. **Revista Concreto & Construções**. Ed. IBRACON. n. 87. São Paulo, p. 26-32, 2017.

CARVALHO, Leonardo Lima Costa; MOTTA, Carla Araújo. Uso de Fibras de Aço para Execução do Concreto Armado. **Boletim do Gerenciamento**, [S.l.], v. 8, n. 8, p. 65-74, ago. 2019. ISSN 2595-6531. Disponível em: <<https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/413>>. Acessado em 12 jan. 2025.

CARVALHO, André Róseo de. **Avaliação das propriedades mecânicas do concreto com adição de fibras para confecção de anéis pré-moldados segmentados para revestimento de túnel de metrô**. 2016. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

CORDEIRO, Celso Amaral; CABRAL, Stênio Cavalier. Estudo dos métodos de dosagem de concreto: ABCP e Caldas Branco. **Revista Caderno Pedagógico – Studies Publicações e Editora Ltda.**, Curitiba, v. 22, n. 5, p. 01-24, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n5-063.

COSTA, Ualison Felipe Soares; DE OLIVEIRA, Ricardo Fonseca. Resistência a compressão do concreto reforçado com fibras de aço. **Revista GeTeC**, v. 10, n. 30, 2021.

DEHWAH, H. A. F.; MASLEHUDDIN, M.; AUSTIN, S. A. Long-term effect of sulfate ions and associated cation type on chloride-induced reinforcement corrosion in Portland cement concretes. **Cement and Concrete Composites**, v. 24, n. 1, p. 17-25, 2002.

FARIAS, Marina Barroso de; SANTOS, Amaro Francisco Codá dos. Análise do comportamento à flexão de estruturas de concreto reforçadas com fibras de aço. **Boletim do Gerenciamento**, v. 26, n. 26, p. 44-51, 2021.

FERREIRA, Ludimilla da Silveira *et al.* Fundamentos de Estruturas. V. 1, cap. 4. Belo Horizonte: **Editora Poisson**, Belo Horizonte, p. 42–52, 2023.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de; CHAMA NETO, Pedro Jorge. A nova concepção brasileira para tubos de concreto para águas pluviais. **49º Congresso Brasileiro fazer concreto**. Bento Gonçalves. Anais – Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), São Paulo, 2007.

KAIO, H. F. F. **Ação do Cloreto de Sódio em Corpos de Prova de Concreto Convencional**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.

KRUTSCH, André Leonardo; PORTELLA, Mariana D. Orey Gaivão; BRONHOLO, Jeferson Luiz. Estudo do concreto reforçado com fibras de VIDRO-GFRC (*glass fiber reinforced concrete*) para painéis de fechamento pré-fabricados. **REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA**, v. 14, n. 4, 2022.

LOPEZ Vanessa Ortega; ALONSO José A. Fuente; SANTAMARÍA, Amaia; SAN-JOSÉ, José T; ARAGÓN, Ángel. *Durability studies on fiber-reinforced EAF slag concrete for pavements*.

Construction and Building Materials. Washington, v.163, n.1, p. 471-481, fev. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.121>>. Acessado em 15 jan. 2025.

MATNI, Luiz Claudio dos Santos; BESERRA, Antonio Adelmo Freire; NETO, Bernardo Borges Pompeu. A Influência da Adição de Fibras de Aço em Tubos de Concreto. **Revista Eletrônica Multidisciplinar UNIFACEAR**, v. 1, n. 7, p. 1-15, 2018.

MATOS, Debora Ferreira. **Análise experimental da adição de fibra de aço nas propriedades do concreto**. 2023. 25p. Artigo de Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão. Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras, Açailândia – MA, 2023.

MEHTA, Povindar Kumar.; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 2014.

MONTE, Renata.; BARBOZA, Aline da Silva Ramos. Controle tecnológico do comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras. **Revista Concreto & Construções**. Ed. IBRACON. n. 87. São Paulo, p. 33-38, 2017.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto - 5ª edição**. Bookman Editora, 2015.

PARK, JangHyun et al. Effect of curing condition on resistance to chloride ingress in concrete using ground granulated blast furnace slag. **Materials**, v. 12, n. 19, p. 3233, 2019.

QUININO, Uziel Cavalcanti de Medeiros. **Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibras**. 2015. 243 f. 2015. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFGRS), Porto Alegre, RS, Brasil.

ROMERO-MANCILLA, Pablo Eduardo; MONTENEGRO-COOPER, José Miguel; KING, Robert W.; LAPEÑA-MAÑERO, Pablo; GARCÍA-CASUSO, Carmen. *Experimental*

Investigation on the Influence of Oven-Drying on the Geotechnical Properties of Volcanic Ash-Derived Residual Soils. Applied Sciences, v. 11, n. 24, p. 11708, 2021.

SAFIUDDIN, Md; ABDEL-SAYED, George; HEARN, Nataliya. *Effects of pitch-based short carbon fibers on the workability, unit weight, and air content of mortar composite. Fibers*, v. 6, n. 3, p. 63, 2018.

SALVADOR FILHO, JOSÉ AMÉRICO ALVES. Compósitos cimentícios de ultra-alto desempenho reforçados com fibras. **Revista Concreto & Construções**. Ed. IBRACON. n. 87. São Paulo, p. 30-42, 2017.

SAKTHIVEL, P. B.; VIJAY ARAVIND, S. Flexural strength and toughness of steel fiber reinforced concrete beams. **Asian Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 8, p. 1309-1330, 2020.

SILVA, Isabela Ereno da. **Análise da resistência ao cisalhamento de concreto reforçado com macro fibras de polietileno por meio do ensaio de push-off**. 2024. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2024.

SILVA, Maria Eduarda Ribeiro da. **Análise de Desempenho do Concreto Com Adição de Microfibras de Vidro**. 2023. 23p. Artigo de Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão. Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras, Açailândia – MA, 2023.

SUPREMO FIBRA. Fibras sintéticas e de aço para concreto. Disponível em: <https://supremofibra.com.br/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

SWIDERSKI, Bruna; DELABONA, Filipe José; RUFATTO, Mariana Eveli; GAVA, Giovanna Patrícia. Avaliação do emprego da cinza da casca de arroz no concreto frente ao ataque por sulfato de sódio. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Paraná, 2019.

VAZ, Viviane Visnardi. **Pavimento intertravado de concreto reforçado com fibras de vidro**. 2015. 131p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia na Área de Ciência dos Materiais) Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. Limeira – SP, 2015.

VAZ, Viviane Visnardi.; CARNIO, Marco Antônio. Projeto de bases de equipamentos industriais em concreto reforçado com fibras. **Revista Concreto & Construções**. Ed. IBRACON. n. 87. São Paulo, p. 72-77, 2017.

VELOSO, Isis Tatiane de Barros Macêdo. **Desenvolvimento de pastilhas vítreas para revestimento a partir da reciclagem de vidros sódico-cálcicos**. 2016. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

XIE, Jun *et al.* *Effect of nano metakaolin on compressive strength of recycled concrete*. **Construction and Building Materials**, v. 256, p. 119393, 2020.

WANG, X. T. *et al.* *Analysis and test of stiffness of bolted connections in timber structures*. **Construction and building materials**, v. 303, p. 124495, 2021.

ZHANG, Fei *et al.* *Study on concrete deterioration in different NaCl-Na₂SO₄ solutions and the mechanism of Cl⁻ diffusion*. **Materials**, v. 14, n. 17, p. 5054, 2021.