



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

CARLOS FONSECA RODRIGUES NETO

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM
MACROFIBRAS DE VIDRO EM RELAÇÃO AO CONCRETO CONVENCIONAL**

FORTALEZA

2022

CARLOS FONSECA RODRIGUES NETO

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM
MACROFIBRAS DE VIDRO EM RELAÇÃO CONCRETO CONVENCIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Rafaela Fujita Lima.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R696a Rodrigues Neto, Carlos Fonseca Rodrigues Neto.
 Análise das propriedades do concreto reforçado com
 macrofibras de vidro em relação ao concreto convencional /
 Carlos Fonseca Rodrigues Neto Rodrigues Neto. - 2022.
 63 f. : il. color.

 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
 Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,
 Fortaleza, 2022.
 Orientação: Profa. Ma. Rafaela Fujita Lima .

 1. Concreto . 2. Tecnologia . 3. Fibras. 4. Macrofibra de Vidro .
I. Título.

CDD 624

CARLOS FONSECA RODRIGUES NETO

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM
MACROFIBRAS DE VIDRO EM RELAÇÃO AO CONCRETO CONVENCIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Rafaela Fujita Lima.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ms. Rafaela Fujita Lima (Orientadora)
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Profa. Ms. Elayne Valério Carvalho
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Profa. Ms. Mariana de Araújo Leite
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

A todos que me acompanharam nessa longa jornada e fizeram parte da realização desse sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado todo amparo e força nos momentos que mais precisei ao longo dessa graduação.

Agradeço aos meus pais, Roberto Carlos e Adriana Sindeaux, e minha irmã Roberta Sindeaux, por garantirem todo suporte e apoio para realização desse meu sonho.

Aos meus pais, eu devo a vida e todas as oportunidades que nela tive e que espero um dia poder lhes retribuir.

Agradeço a minha namorada, Letícia Arteiro, que também faz parte da minha família e foi base para essa fase final da minha graduação.

Agradeço aos meus amigos, Edson Renê, João Célio Paz, Ygor Tavares e Lucas Nunes, que sempre tiveram presentes nos momentos que mais precisei ou solicitei.

Agradeço a minha professora/orientadora/amiga Rafaela Fujita Lima, que fez questão de me orientar e compartilhar comigo o fechamento dessa graduação. Por ela, o meu total respeito e admiração como profissional.

Agradeço a minha banca avaliadora, formada pela Profa. Elayne Carvalho e pela Profa. Mariana de Araújo Leite, que aceitaram participar e contribuir com esse trabalho.

A todos, o meu muito obrigado.

RESUMO

A construção civil brasileira vem passando por grandes mudanças e melhorias contínuas durante os últimos anos. Os métodos construtivos e os materiais evoluem de acordo com o surgimento das novas tecnologias para esse setor. O concreto, que é um dos materiais mais importantes da construção civil, vem recebendo diversos estudos para possíveis melhorias e entendimentos do seu comportamento estrutural, dentre eles, a utilização das fibras para garantir melhores resultados em seu desempenho. O concreto reforçado com fibras (CRF) corresponde a um material compósito formado principalmente por cimento hidráulico, agregado miúdo e graúdo, água e fibras descontínuas. A principal finalidade desse reforço no concreto é o aumento da capacidade resistente pós fissuração do compósito, que reflete no ganho de tenacidade. A fibra utilizada nesse estudo como reforço da matriz cimentícia foi a macrofibra de vidro, no qual se trata de uma fibra mineral estrutural que se difundiu no mercado brasileiro nos últimos anos, principalmente após a normatização no início de 2021. Diante disso, nesta pesquisa foi feita uma avaliação comparativa sobre a influência das fibras de vidro no concreto (CRF) em relação ao concreto convencional para uma avaliação do comportamento mecânico dessas matrizes. Na metodologia desse estudo foi definido as dosagens para o traço referência (sem fibras) e os traços com fibras, diferenciando-se pelo teor de fibras (kg/m^3 de concreto) em cada amostra. No estado fresco foi analisado o abatimento de cada traço e no estado endurecido analisado a resistência à compressão e resistência à tração. Logo, o trabalho concluiu que a utilização da macrofibra de vidro possui grandes vantagens, principalmente quando se trata de resistência a esforços à tração na flexão, tornando-a como uma solução estrutural bastante vantajosa. Além disso, a substituição de parte parcial do aço pelas fibras, também poderá ocorrer como solução financeira, mas é necessário estudos mais profundos para essa análise de viabilidade.

Palavras-chave: Concreto. Tecnologia. Fibras. Reforço estrutural.

ABSTRACT

The Brazilian civil construction has been going through great changes and continuous improvements during the last years. Construction methods and materials evolve according to the emergence of new technologies for this sector. Concrete, which is one of the most important materials in civil construction, has been receiving several studies for possible improvements and understanding of its structural behavior, among them, the use of fibers to ensure better results in its performance. Fiber reinforced concrete (FRC) corresponds to a composite material formed mainly by hydraulic cement, fine and coarse aggregate, water and staple fibers. The main purpose of this reinforcement in concrete is to increase the post-cracking capacity of the composite, which reflects in the gain in toughness. The fiber used in this study to reinforce the cement matrix was macrofiberglass, which is a structural mineral fiber that has spread in the Brazilian market in recent years, especially after the standardization in early 2021. A comparative assessment was made on the influence of glass fibers on concrete (CRF) in relation to conventional concrete for an evaluation of the mechanical behavior of these matrices. In the methodology of this study, the dosages for the reference mix (without fibers) and the mixes with fibers were defined, differing by the fiber content (kg/m^3 of concrete) in each sample. In the fresh state, the slump of each trait was analyzed and in the hardened state, the compressive strength and tensile strength were analyzed. Therefore, the work concluded that the use of macrofiberglass has great advantages, especially when it comes to resistance to tensile stresses in bending, making it a very advantageous structural solution. In addition, the replacement of a partial part of the steel by the fibers may also occur as a financial solution, but further studies are needed for this feasibility analysis.

Keywords: Concrete. Technology. Fibers Structural Reinforcement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tensões devido a presença de fissuras.	18
Figura 2 – Composição do concreto.	19
Figura 3 – Cilindro de Macrofibras e Macrofibras soltas.	28
Figura 4 – Fibras de Vidro	28
Figura 5 – Fissuras e rupturas localizadas por tração das camadas periféricas.	30
Figura 6 – Comportamento mecânico pós fissuração do CRF	31
Figura 7 – Aplicações do crf nos últimos anos no BR.	33
Figura 8 – Fluxograma.	37
Figura 9 – Macrofibra de Vidro (Owens Corning).	43
Figura 10 – Medida do abatimento.	46
Figura 11 – Moldagem dos corpos de prova cilíndrico.	46
Figura 12 – Moldagem dos corpos de prova prismáticos.	47
Figura 13 – Cura úmida dos corpos de prova.	47
Figura 14 – Prensa hidráulica.	48
Figura 15 – Corpo de prova prismático.	49

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.	21
Quadro 2 – Aditivos químicos.	24
Quadro 3 – Classificação e geometria das fibras de aço para reforço de concreto.	27
Quadro 4 – Normas técnicas vigentes.	29
Quadro 5 – Nomenclatura e especificação dos traços.	44
Quadro 6 – Ensaio de abatimento (Slump Test).	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.	22
Tabela 2 – Características mecânica das fibras.	26
Tabela 3 – Ensaio de granulometria: areia natural.	38
Tabela 4 – Ensaio de granulometria: Pó de pedra.	39
Tabela 5 – Ensaio de granulometria do agregado graúdo: brita 0.	40
Tabela 6 – Ensaio de granulometria do agregado graúdo: brita 1.	41
Tabela 7 – Dosagem do traço referência (TR).	44
Tabela 8 – Dosagem dos traços com fibras: TF1 e TF2.	45
Tabela 9 – Idade de ruptura e quantidade de CP'S: TR e TF's.	45

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Curva de distribuição do agregado miúdo: areia natural.	39
Gráfico 2 – Curva de distribuição do agregado miúdo: pó de pedra.	40
Gráfico 3 – Curva de distribuição do agregado graúdo: brita 0.	41
Gráfico 4 – Curva de distribuição do agregado graúdo: brita 1.	42
Gráfico 5 – Comparativo entre os CP'S: Resistência à compressão aos 7 dias.	52
Gráfico 6 – Valores de resistência à compressão: 7 dias.	52
Gráfico 7 – Comparativo entre os CP'S: Resistência à compressão aos 28 dias.	53
Gráfico 8 – Valores de resistência à compressão: 28 dias.	53
Gráfico 9 – Comparativo entre idades: ganho de resistência.	54
Gráfico 10 – Ganhos de resistência entre idades: percentual.	54
Gráfico 11 – Resistência à tração na flexão: 28 dias.	55
Gráfico 12 – Ganhos de resistência à tração: comparativo entre os TF's e o Tr.	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa do Trabalho	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	15
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	15
1.3 Estrutura do Trabalho	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Concreto Reforçado com Fibras (CRF)	17
2.2 Composição	19
2.2.1 <i>Cimento Portland</i>	20
2.2.2 <i>Agregados</i>	21
2.2.3 <i>Água</i>	23
2.2.4 <i>Aditivos</i>	24
2.3 Fibras no CRF	25
2.3.1 <i>Tipos de Fibra</i>	25
2.3.2 <i>Normas Técnicas Vigentes</i>	29
2.3.3 <i>Fenômenos de Fissuração</i>	30
2.3.4 <i>Aplicações e Benefícios</i>	32
2.4 Caracterização mecânica do CRF	34
2.4.1 <i>Controle de qualidade</i>	34
2.5 Estudos pertinentes: fibras no concreto	35
2.5.1 <i>Lucena (2016)</i>	35
2.5.2 <i>Leite (2018)</i>	36
2.5.3 <i>Goes, Fontanini, Pimentel e Jacintho (2016)</i>	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37

3.1 Materiais	37
3.1.1 Cimento Portland	38
3.1.2 Agregado Miúdo	38
3.1.3 Agregado Graúdo.	40
3.1.4 Água	42
3.1.5 Aditivos	42
3.1.6 Fibra de Vidro	43
3.2 Métodos	43
3.2.1 Dosagem do traço referência	44
3.2.2 Dosagem dos traços com fibras	44
3.3 Execução dos concretos analisados e os ensaios necessários para obtenção de resultados	45
3.3.1 Slump Test	45
3.3.2 Moldagem dos corpos de prova	46
3.3.3 Ensaio de resistência à compressão	48
3.3.4 Ensaio de resistência à tração na Flexão	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 Resultados dos ensaios	50
4.1.1 Concreto no estado fresco	50
4.1.2 Concreto no estado endurecido	51
4.2 Considerações finais	56
5 CONCLUSÕES	59
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	59
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados e estudados na construção civil, sendo composto por uma mistura de cimento, agregados, água e aditivos. Devido ao avanço e aumento da complexibilidade das estruturas nos dias atuais e sua alta aplicabilidade dentro desse setor, a intensificação nos estudos sobre as propriedades desse elemento está cada vez maior, fazendo-se necessário um controle de qualidade do concreto com maior rigor a fim de garantir melhores desempenhos e resultados na durabilidade das estruturas.

Com o intuito de preservar e minimizar possíveis problemas nas estruturas, algumas medidas preventivas podem ser realizadas e interferir diretamente na vida útil desses elementos estruturais. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), as estruturas de concreto armado devem atender os requisitos mínimos de qualidade, no qual são classificados em: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade.

Apesar das diversas utilidades do concreto e de sua alta resistência à compressão axial, a sua resistência a tração a flexão é bastante inferior, minimizando seu desempenho e sendo necessário a utilização de outros materiais para contrapor essa característica (FIGUEIREDO, 2011).

Dentre as diversas manifestações patológicas existentes nas estruturas de concreto armado, as fissuras é uma das principais consequências das reações adversas que ocorrem nesse elemento estrutural. De acordo com Molin (1988), a existência de fissuras nos elementos de concreto armado compromete a durabilidade das estruturas por facilitar a penetração de agentes agressivos à armadura e à própria massa do concreto. Além disso, tanto as aberturas das fissuras quanto ao meio que a estrutura está localizada, são fatores determinantes das consequências do fenômeno de fissuração.

A necessidade em obter melhorias constantes, em função do crescimento das tecnologias na indústria da construção, o concreto se torna objeto de maiores investimentos e pesquisas mais aprofundadas, tendo em vista obter resultados mais seguros, econômicos e eficientes.

À medida que a tecnologia melhora e as aplicações se expandem, o uso de novos materiais começam a ser implementados na construção civil. Dentre os

diversos tipos de avanços, o concreto reforçado com fibras utiliza uma tecnologia que está diretamente ligada a diversos benefícios econômicos e ambientais.

A utilização de materiais fibrosos nos últimos anos não tem parado de crescer na engenharia. As fibras, por serem materiais finos, flexíveis e com excelentes propriedades mecânicas, possibilitam reforçar as estruturas, garantindo assim bons desempenhos e um maior período de utilização do material desenvolvido (LUCENA, 2016).

O concreto reforçado com fibras contém materiais fibrosos em adição aos agregados-padrões de mistura para concreto. Pela baixa resistência a tração, o concreto convencional necessitará de um mecanismo de reforço para aumentar a tensão/flexão do estresse causado pelas cargas ou estresse térmico. As fibras podem fornecer uma capacidade ao concreto de tensão/flexibilidade pós fissura similar aos vergalhões ou telas de aço (BONAKDAR, MAHONEY, 20--).

No Brasil, o concreto reforçado com fibras tem avançado de forma significativa como solução estrutural. Dentre suas aplicações, cabe destacar a eficiência dessas macrofibras quando são utilizadas em radiers, pisos industriais, concreto projetado e pavimentos rígidos (POLIDORO, 2021).

Dentro do canteiro de obras, os reforços do tipo convencional requerem toda uma estratégia de recebimento, armazenagem e utilização. Esse tipo de reforço deve ser executado de forma apropriada, pois caso contrário, o uso impróprio do aço, especialmente com as telas, irá resultar em fissuras indesejadas no concreto. A substituição dessas telas de aço ou vergalhões pelas macrofibras indicadas nessa situação, elimina o tempo e o custo associado com a compra, fabricação, entrega e instalação do reforço convencional (BONAKDAR, MAHONEY, 20--).

1.1 Justificativa do Trabalho

A utilização do concreto reforçado com fibras (CRF) é uma das alternativas de mercado com diversas aplicações no qual possibilitam a viabilidade do uso desse tipo de concreto na indústria da construção civil.

No que se trata de durabilidade estrutural, o uso das macrofibras no CRF ajuda a controlar as fissurações e melhorar características como trabalhabilidade, tenacidade e resistência à impactos.

A viabilização do CRF está aumentando de forma acentuada, visto que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) formalizou em fevereiro de 2021 as normas referentes ao uso desse concreto.

Além disso, o significativo aumento da maioria dos insumos que fazem parte da construção civil, o aço, em especial, teve grandes oscilações de preço no mercado brasileiro, sendo assim, a busca por inovações e novas aplicabilidades dentro dos canteiros de obra, ganhou bastante força nesse período pandêmico.

O elevado déficit habitacional brasileiro tem buscado o uso dessa nova tecnologia na construção civil, de forma a elevar a produtividade e a qualidade das estruturas. Aliados aos ganhos de prazo, eficiência e alta produtividade, as construções do Programa Casa Verde e Amarela podem responder de forma rápida a intensa demanda por residências no Brasil, que ainda sofre com milhões de pessoas sem moradia (ABRAINC, 2021).

Tendo como base a hipótese de que o uso do CRF poderá solucionar ou minimizar problemas de natureza estrutural, financeira e redução do déficit habitacional, utilizando estudos e ensaios já realizados nesse sentido, o presente trabalho apresentará um estudo sobre a influência da adição das macrofibras no concreto no estado fresco e endurecido.

Desse modo, questiona-se: Qual a influência das fibras nas propriedades do concreto?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as propriedades do concreto reforçado com fibras, com dosagens diferentes de macrofibras de vidro, em relação ao concreto convencional, por meio de ensaios que avaliem a resistência à compressão e à tração na flexão.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Verificar as diferenças de abatimento no concreto com CRF e no concreto convencional.

b) Comparar os resultados de resistência à compressão entre o CRF e o concreto convencional.

c) Analisar os resultados de resistência à tração na flexão entre o CRF e o concreto convencional.

1.3 Estrutura do Trabalho

Para desenvolver essa pesquisa, a Seção 1 se trata do conteúdo elementar da introdução, seguido da Seção 2 que abrange o Referencial Teórico, onde serão descritos os aspectos como propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, a resistência a tração na flexão e a resistência a compressão, chegando nas análises das propriedades mecânicas do concreto e os fatores que influenciam nas resistências com a adição de fibras ao traço. A Seção 3 aborda a Metodologia onde será desenvolvido todo o detalhamento da pesquisa experimental tal como os ensaios laboratoriais e o desenvolvimento do traço referência. A Seção 4 apresenta os resultados e discussões dos valores obtidos com a pesquisa e a Seção 5 mostra as conclusões geradas através dessas análises.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse tópico contempla os fundamentos teóricos dos assuntos abordados nesse trabalho, com o intuito de apresentar a literatura sobre os materiais necessários para compor o concreto reforçado com fibras, assim como as demais macrofibras usadas nas análises. Também serão abordados assuntos sobre às propriedades mecânicas inerentes a adição das macrofibras de polipropileno e de vidro no concreto e aos ensaios realizados no estado fresco e endurecido, além de abordar sobre a durabilidade dos elementos estruturais, sustentabilidade ambiental e a implementação do CRF no canteiro de obras. Com isso, será detalhado os ensaios necessários a serem realizados, a fim de verificar as alterações nas propriedades mecânicas dos corpos de prova estudados.

2.1 Concreto Reforçado com Fibras (CRF)

O Concreto Reforçado com Fibras é um compósito constituído por uma matriz frágil e algum tipo de reforço fibroso. Os concretos reforçados, tanto com fibras como com barras ou fios de aço, são exemplos de materiais compostos, também conhecidos como compósitos. O próprio concreto também pode ser considerado um compósito, no entanto, esse termo é mais frequente utilizado para os materiais que apresentam algum tipo de reforço (FIGUEIREDO, 2011).

O concreto possui uma grande utilidade dentro da indústria da construção civil, porém apresenta algumas limitações quando se submete a esforços de flexão, apresentando uma baixa resistência a tração. Por esse motivo, faz-se necessário encontrar novas soluções para suprir tal necessidade. Com isso, foi desenvolvido uma associação entre diferentes materiais estruturais para atribuir características satisfatórias de resistência a tração. O concreto recebeu um conjunto de armaduras de aço, o que foi denominado de concreto armado (TEATINI, 2016).

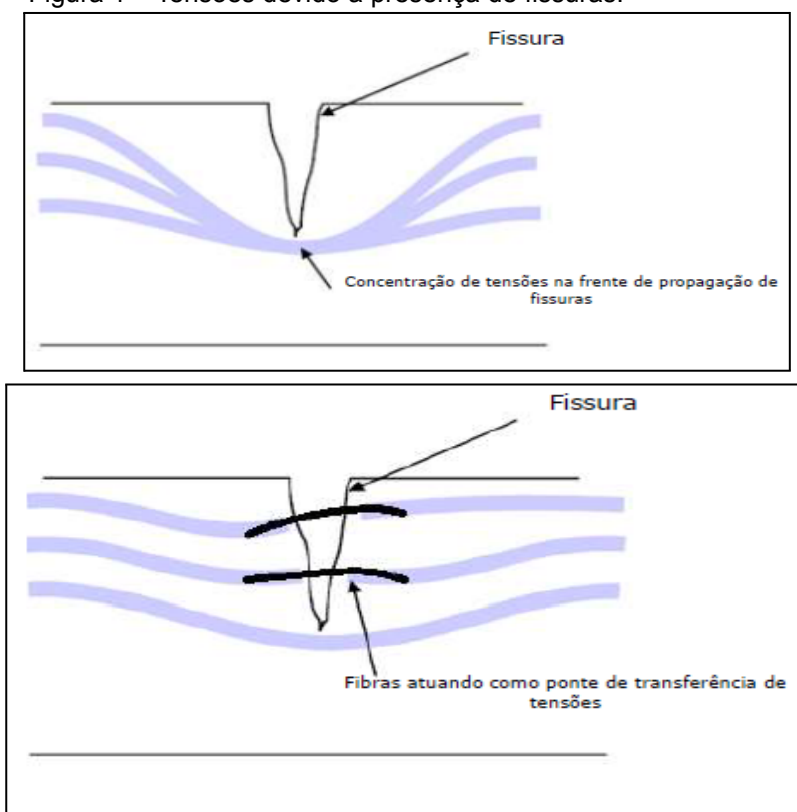
O reforço em aço é tipicamente contínuo e posicionado no concreto em locais específicos para aumentar seu desempenho. Os vergalhões de aço fornecem um esforço bidimensional e necessitam de um trabalho manual para a colocação e posicionamento (BONAKDAR, MAHONEY, 20--).

Ainda segundo Bonakdar e Mahoney (20--), as macrofibras fornecem um reforço tridimensional e são introduzidas no concreto pela própria concreteira. Vários níveis de reforço podem definir uma seção de concreto como:

- a) Reforço para retração plástica
- b) Reforço para retração/controle de fissuras por variação da temperatura
- c) Reforço para controle de fissura, baixo nível de momento
- d) Reforço para controle de fissura, médio nível de momento
- e) Reforço para controle de fissura, alto nível de momento

A matriz de concreto sem o reforço das fibras apresenta comportamento frágil, com baixa capacidade resistente das seções e baixas deformações na ruptura quando submetidos a esforços de tração. O reforço com fibras descontínuas e aleatoriamente distribuídas na matriz tem como expectativa o controle da abertura e da propagação de fissuras no concreto, que pode ser visto na Figura 1, alterando seu comportamento mecânico após a ruptura da matriz, melhorando consideravelmente a capacidade de absorção de energia do concreto e diminuindo o nível de fragilidade do material (CARNIO, 2017).

Figura 1 – Tensões devido a presença de fissuras.



Fonte: Polidoro (2021).

Para Andrade (2013, apud MACÊDO, 2018) as fibras atuam dificultando a propagação de fissuras, com isso, espera-se que o concreto reforçado com fibras tenha uma maior durabilidade e uma maior resistência à abrasão em relação ao

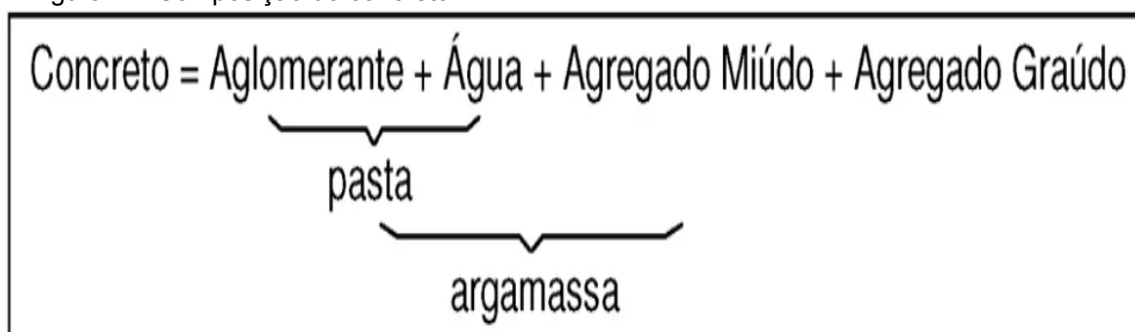
concreto convencional (sem fibras). Geralmente o peso específico do concreto não sofre alteração, mesmo com a adição das fibras. Por outro lado, poderá ocorrer uma redução da trabalhabilidade do concreto, sendo necessário a utilização de aditivos superplastificantes como forma de compensação.

2.2 Composição

O concreto é um material composto, constituído por água, agregado miúdo, agregado graúdo e pode conter adições e aditivos químicos, com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades. O concreto também pode conter outros materiais, como pigmentos, fibras e agregados especiais (BASTOS, 2019).

Nas construções da Antiguidade, os materiais estruturais mais empregados foram pedra, madeira e, mais tarde, as ligas metálicas. Um grande avanço ocorreu com o desenvolvimento dos materiais aglomerantes, que endurecem em contato com a água, que pode ser representado na Figura 2. Os Romanos já utilizavam algum tipo de concreto, tendo como aglomerantes a cal e a pozolana. As primeiras regras de dosagem para o concreto são atribuídas a Leonardo da Vinci, mas seu uso se propagou em 1824 a partir do processo de fabricação industrial do cimento Portland, por Joseph Apsdin, na Inglaterra (TEATINE, 2016).

Figura 2 – Composição do concreto.



Fonte: Teatine (2016).

Quando a mistura dos elementos bases do concreto é formada apenas por água e cimento, é denominada pasta. Quando essa mistura é acrescida de agregados miúdos, como areia e os siltes, a mesma passa a ser denominada argamassa. Ao adicionar agregados graúdos a essa a essa argamassa, finalmente ocorre a formação do concreto. Além disso, podem ser adicionados alguns elementos que possuem a capacidade de modificar certas propriedades desejáveis

do concreto, como a trabalhabilidade e a resistência ao longo do tempo, através do uso de aditivos (PARIZOTTO, 2017).

Ainda para Bastos (2019), a tecnologia do concreto busca a proporção ideal entre os diversos constituintes, procurando atender simultaneamente as propriedades requeridas (mecânica, físicas e de durabilidade), e apresentar trabalhabilidade a fim de possibilitar o transporte, lançamento e o adensamento do concreto para cada caso de aplicação.

2.2.1 Cimento Portland

O concreto de cimento Portland é o material mais importante no setor da construção civil, principalmente quando se trata da sua aplicação com fins estruturais, podendo ser considerado uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade (HELENE, ANDRADE, 2005).

Ainda para Helene (2005), sua descoberta no fim do século XIX e seu intensivo uso no século XX, transformou-o no material mais consumido do mundo juntamente com a água. Essa descoberta revolucionou a arte de projetar e construir estruturas cuja evolução sempre esteve associada ao desenvolvimento das civilizações.

Segundo Ribeiro Júnior (2015), a mistura do cimento Portland com água gera uma pasta que envolve os agregados que são responsáveis pelas propriedades ligantes desse material. De acordo com a sua normatização, pode-se encontrar diversos tipos desse cimento, sendo que cada composição apresenta características específicas e deve ser alinhado com as especificidades de um determinado serviço.

As reações pelas quais o cimento Portland se torna um material aglomerante acontecem na pasta, constituída por água e cimento. A presença de água, dos silicatos e de alguns aluminatos, forma uma massa hidratada, que com o tempo resulta em uma massa firme e resistente, conhecida como pasta de cimento hidratada (NEVILLE, 2016).

Segundo a NBR 1667 (ABNT, 2018), os cimentos Portland compostos são classificados de acordo com sua adição e suas propriedades especiais. Diante disso, recebem siglas de identificação, seguindo da sua classe de resistência mecânica acrescidas dos sufixos RS e BC, quando necessário, conforme especificado no Quadro 1.

Quadro 1 – Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 c	RS a ou BC b -
	Com adição	CP I - S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II - E		
	Com material carbonático	CP II - F		
	Com material pozzolânico	CP II - Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III	ARI d	
Cimento Portland pozzolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI d	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 c	
	Não estrutural	CPB	-	-

a - O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

b - O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

c - As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascal (Mpa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

d - Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 Mpa, quando ensaiado de acordo a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16697 (2018).

Para Nakamura (2009), assim como os aditivos químicos, as adições minerais estão constantemente evoluindo e se aperfeiçoando juntamente com o concreto, afim de atender as crescentes exigências da construção civil, como: aumento do desempenho da durabilidade das estruturas e redução dos impactos ambientais.

2.2.2 Agregados

A princípio, os agregados eram tidos como materiais inertes, dispersos na pasta de cimento, e eram utilizados principalmente por razões econômicas. Entretanto, os agregados não são verdadeiramente inertes, já que suas propriedades físicas, térmicas e, algumas vezes, químicas influenciam o desempenho do concreto (NEVILLE, 2016). Sbrighi Neto (2005, apud WEIDMANN, 2008), relata que até o início do século XX, os agregados eram abundantes, baratos

e de boa qualidade e por isso a eles era atribuído esse papel secundário no concreto.

Ainda para Neville (2016), como grande parte do volume de concreto é composto pelos agregados, não é surpresa que sua qualidade seja de grande importância. Os agregados podem limitar a resistência do concreto e suas propriedades afetam significativamente a durabilidade e o seu desempenho estrutural.

Do ponto de vista econômico, apesar de apresentarem custo, em massa, cerca de quinze vezes menor que o cimento, os agregados ocupam aproximadamente $\frac{3}{4}$ do volume de concreto e por isso merecem destaque. Além disso, uma escolha adequada dos agregados, sobretudo dos miúdos, pode conduzir a grandes reduções no consumo de cimento para determinada trabalhabilidade e resistência (WEIDMANN, 2008).

As propriedades físicas como o tamanho, o volume e a distribuição dos poros, tornam os agregados os principais responsáveis pela massa unitária, pelo módulo de elasticidade e pela estabilidade dimensional do concreto, possuindo uma certa influência no comportamento estrutural do concreto (MEHTA, MONTEIRO, 2008).

2.2.2.1 Agregado Miúdo

A NBR 7211 (ABNT, 2009) considera como agregado miúdo grãos que passam pela peneira com abertura de malha 4.75 mm e fica retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm , em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248, com peneira definidas pela NBR NM ISO 3310-1, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
NOTAS 1 - O módulos de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90. 2 - O módulos de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20. 3 - O módulos de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.				

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7211:2009.

A distribuição granulométrica deve atender os limites estabelecidos na Tabela 1, no qual é determinada pela ABNT NBR NM 248.

2.2.2.2 Agregado Graúdo

Ainda segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados graúdos são os grãos que passam pela peneira com abertura de malha 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248, com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1.

A brita deve ser ensaiada e determinada de acordo com a NBR 7211(2009), onde é obtido um DMC (Dimensão Máxima Característica) e o módulo de finura, podendo assim ser classificado o tipo de agregado graúdo.

As propriedades dos agregados afetam o concreto não só quando diz respeito a dosagem, mas também influenciam no comportamento no estado fresco e no estado endurecido. Metha e Monteiro (2014) dividem o estudo das propriedades dos agregados em três categorias. Nesse estudo são analisados fatores quanto a porosidade, situações de exposição e ao processo de fabricação e composição. Diante disso, é ressaltado a importância de conhecer o tipo de agregado que será utilizado no concreto, já que suas propriedades influenciam diretamente no desempenho do agregado e na qualidade do concreto.

2.2.3 Água

A água é necessária no concreto para possibilitar as reações químicas de hidratação do cimento, reações essas que garantem as propriedades de resistência e durabilidade do concreto. A água por esse e outros motivos acaba se tornando indispensável no concreto porque, juntamente com o cimento, produz a matriz resistente que aglutina os agregados e confere ao concreto a durabilidade e a vida útil prevista no projeto estrutural (BASTOS, 2019).

A água também é fundamental para a realização do processo de cura do concreto. Essa cura é conhecida como um conjunto de medidas que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária para hidratação do cimento, que é responsável pela pega e endurecimento do concreto. O objetivo da cura é manter o concreto saturado e conseqüentemente reduzir sua porosidade, melhorando assim seu desempenho e contribuindo para aumento da durabilidade da estrutura (BARDELLA *et al.*, 2005).

2.2.4 Aditivos

Embora os aditivos não sejam um componente essencial na mistura do concreto, diferentemente do cimento, dos agregados e da água, os mesmos são importantes e cada vez mais difundidos. A razão para o uso crescente dos aditivos é o fato de estes serem capazes de conferir consideráveis vantagens físicas e econômicas ao concreto (NEVILLE, 2016).

No Quadro 2 abaixo pode-se observar alguns aditivos utilizados na construção civil, no qual são responsáveis pelo aumento do desempenho do concreto nas estruturas.

Quadro 2 – Aditivos químicos.

Aditivo	Propriedades	Algumas bases químicas
<i>Plastificante</i>	Reduz o consumo de água em pelo menos 6%, diminui o consumo de cimento, aumenta a trabalhabilidade e a fluidez do concreto e da argamassa.	Lignosulfonatos, melamina
<i>Superplastificante tipo I</i>	Reduz o consumo de água em índice mínimo de 12%, mantendo as propriedades habituais dos plastificantes.	Naftaleno e melamina
<i>Superplastificante tipo II (aditivos de 3ª geração)</i>	Acentua as propriedades dos superplastificantes tipo I, conferindo, por exemplo, tempo muito maior de trabalhabilidade, e por reduzir o consumo de água em índices superior a 40%.	Policarboxilato
<i>Retardador</i>	Prolonga o tempo de dissipação do calor e o tempo de pega (tempo no qual o concreto começa a endurecer)	Lignosulfonatos, sacaríneos
<i>Acelerador</i>	Pela ação catalítica, acelera o tempo de pega e endurecimento do concreto e da argamassa.	Cloreto e silicatos
<i>Incorporador de ar</i>	Incorpora a concretos e argamassas minúsculas bolhas de ar, capazes de absorver tensões potencialmente danosas a essas misturas. Muito usado em países de inverno rígido, pois a água, ao congelar no interior do concreto, aumenta de volume, e pode provocar tais tensões.	Resinas sintéticas
<i>Polifuncional</i>	Categoria intermediária entre os plastificantes e os superplastificantes.	Naftaleno e melamina
<i>Impermeabilizante</i>	Via hidrofugação, impermeabiliza o sistema de vasos e canalículos de concretos e argamassas.	Silicones, estearatos
<i>Modificador de viscosidade</i>	Combinado aos superplastificantes mais modernos, pode gerar o concreto auto-adensável, cuja elevada viscosidade permite o preenchimento de formas bastante delgadas apenas sob influência de seu próprio peso, sem a necessidade de realização do processo de vibração	Polímeros de alto peso molecular
<i>Agente de cura</i>	Via ação impermeabilizante, impede a saída da água durante a cura do concreto, aumentando assim sua resistência	Emulsão à base de parafinas, acrílico, borracha clorada
<i>Redutor de retração</i>	Via ação química com o cimento, busca reduzir as fissuras decorrentes de retração plástica ou por secagem.	Cargas minerais
<i>Expansor</i>	Provoca expansão do concreto nas fases iniciais da pega, aumentando sua aderência e sua impermeabilidade, sem porém dotar esse concreto de nenhuma função estrutural.	Pó de alumínio

Fonte: Adaptado de Santomauro (2019).

Para Nakamura (2019), os aditivos possibilitaram a produção de concreto mais duráveis, resistentes, fluidos e sustentáveis. Esses aditivos adicionam propriedades ao concreto tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, onde se utilizam estratégias para alterar fluidez sem perder resistência ou ainda reduzir segregação e o consumo de cimento. Porém, cabe ressaltar que o uso inadequado dos aditivos pode ocasionar riscos ao desempenho estrutural e aumento dos custos.

2.3 Fibras no CRF

Para Figueiredo (2011), as fibras são elementos descontínuos, cujo o comprimento é bem maior que a maior dimensão da seção transversal. As fibras com adequada resistência mecânica à tração, distribuídas homoganeamente dentro do concreto, constituem uma micro-armadura extremamente eficaz para combater o

fenômeno das fissurações, além de conferir considerável ductilidade e proporcionar grande tenacidade ao concreto (SARJALEZO, *et al.*, 2014).

Quando o tamanho e a funcionalidade das fibras são considerados, elas podem ser classificadas entre “microfibras” e “macrofibras”. Para Bonakdar e Mahoney (20XX), as microfibras normalmente são usadas para o controle de fissuração por retração plástica e tipicamente não adicionam qualquer capacidade estrutural à seção do concreto. Estas fibras são relativamente finas com diâmetro que varia de 0,02 – 0,05 mm e um comprimento de 6 – 25 mm.

Já as macrofibras, Bonakdar e Mahoney (20--) afirma que são usadas tanto para o controle de fissurações por retração/temperatura bem como para proporcionar resistência à flexão e tensão ao concreto, substituindo as telas de aço e vergalhões para certas aplicações. Estas fibras são relativamente ásperas com diâmetro que varia de 0,5 – 0,7 mm e comprimento entre 19 – 50 mm.

2.3.1 Tipos de Fibra

Vários tipos de fibra têm sido utilizados, cada uma com suas características, diferindo uma das outras pelo seu material, geometria, processo de fabricação, composição química e física, características mecânicas e resistência a meios agressivos. Diante disso, as fibras podem ser divididas segundo o seu material de origem: metais, cerâmicos e poliméricos sintéticos ou naturais (CARNIO, 2017).

De acordo com o manual técnico Fibras como Elemento Estrutural para Reforço de Concreto, da empresa Maccaferri (2014), que pode ser observado na Tabela 2, existe uma vasta gama de fibras destinadas ao reforço do concreto, classificadas em função da matéria prima com a qual são produzidas: metálicas (aço carbono, suas ligas e alumínio), naturais (amianto, vidro e carbono) e sintéticas (nylon, polipropileno e outras).

Tabela 2 – Características mecânica das fibras.

Fibras	Diâmetro (μm)	Densidade (10^3kg/m^3)	Módulo de Elasticidade (kN/mm^2)	Resistência à tração(kN/mm^2)	Alongamento na ruptura(%)
Aço	5 - 500	7,84	200	0,5 - 2	0,5 - 3,5
Vidro	9 -15	2,6	70 - 80	2 - 4	2 - 3,5
Amianto	0,02 - 0,04	3	180	3,3	2 -3
Polipropileno	20 - 200	0,9	5 -7	0,5 - 0,75	8
Nylon	-	1,1	4	0,9	13 - 15
Polietileno	-	0,95	0,3	0,0007	10
Carbono	9	1,9	230	2,6	1
Kelvar	10	1,45	65 -133	3,6	2,1 - 4
Acrílico	18	1,18	14 - 19,5	0,4 - 1	3

Fonte: Adaptado de Manual Técnico – Fibras como Elemento Estrutural para CRF (2014).

2.3.1.1 Fibras Metálicas

O Brasil conta com a NBR 15530 (ABNT, 2019) intitulada como “Fibras de aço para concreto – Requisitos e métodos de ensaio”. Para Figueiredo (2008), essa norma procura estabelecer parâmetros de classificação e tipologia para as fibras de aço. Esta classificação se encontra apresentada no Quadro 3, onde pode-se observar a configuração geométrica e a classe dessas fibras previstas pela norma.

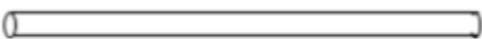
São previstos na norma três tipos básicos de fibras em função da sua conformação geométrica:

- Tipo A: fibra de aço com ancoragens nas extremidades
- Tipo C: fibra de aço corrugada
- Tipo R: fibra de aço reta

Além disso, Figueiredo (2008) preconiza que o formato da seção transversal irá depender do tipo de aço utilizado na produção da fibra, que pode ser trefilado ou laminado. Sendo assim, a especificação brasileira prevê três classes de fibra, as quais foram associadas ao tipo de aço que deu origem as mesmas.

- Classe I: fibra oriunda de arame trefilado a frio
- Classe II: fibra oriunda de chapa laminada cortada a frio
- Classe III: fibra oriunda de arame trefilado e escarificado

Quadro 3 – Classificação e geometria das fibras de aço para reforço de concreto.

Tipo	Classe da fibra	Geometria
A	I	
	II	
C	I	
	II	
	III	
R	I	
	II	

Fonte: NBR 15530 (ABNT, 2019).

2.3.1.2 Fibras Poliméricas Sintéticas

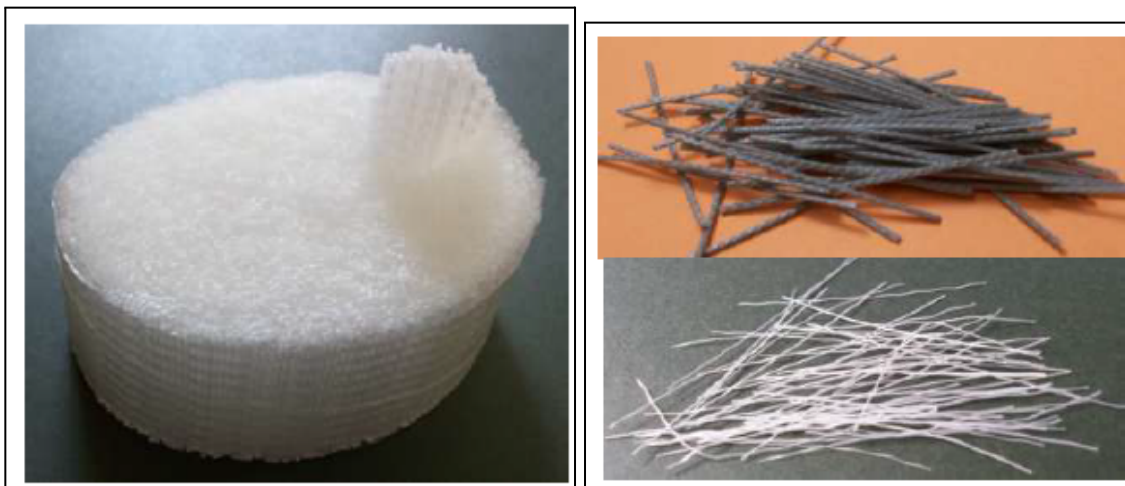
O desenvolvimento e a produção das fibras sintéticas podem estar diretamente atrelados ao uso desse tipo de fibra na indústria têxtil e petroquímica. Entretanto, polímeros derivados das fibras sintéticas, como: polipropileno, náilon, poliéster, acrílico, e aramida, são alguns exemplos de sintéticos utilizados para reforço de concreto em matrizes de cimento Portland (BENTUR, MINDESS, 2018).

Para Figueiredo (2011), as fibras sintéticas podem desempenhar várias características específicas ao concreto. O módulo de elasticidade e a resistência mecânica dessas fibras irão caracterizar qual a capacidade de reforço que será proporcionado para o elemento estrutural.

Leite (2018), preconiza que as fibras sintéticas possuem resistência natural a ambientes extremamente alcalinos. Ainda segundo o autor, estudos mostram eficiência dessas fibras que são expostas a ambientes agressivos, tornando-as extremamente atrativas para a construção civil.

Na Figura 3 abaixo pode-se observar algumas dessas fibras sintéticas que são produzidas para reforço do concreto.

Figura 3 – Cilindro de Macrofibras e Macrofibras soltas.



Fonte: Adaptado de Figueiredo (2011).

2.3.1.3 Fibras Cerâmicas

As fibras cerâmicas, também conhecidas como fibras minerais, mais utilizadas são de vidro e asbesto. Para Carnio (2017), as fibras de vidro, como mostra a Figura 4, são compostas por centenas de filamentos individuais na forma de “cachos”. As fibras produzidas a partir do vidro tipo E (Electrical) são atacadas pelos álcalis presentes nos materiais baseados em cimento Portland. Já as fibras de vidro do tipo AR (Álcali Resistente) apresentam alta resistência ao meio alcalino e vem sendo utilizada com sucesso nas matrizes de concreto à base de cimento Portland.

Figura 4 – Fibras de Vidro



Fonte: Adaptado de Manual Técnico – Fibras como Elemento Estrutural para CRF (2014).

Além disso, Carnio (2017) preconiza que as fibras de asbesto, também conhecidas como fibras de amianto, são de uso mais tradicional que os outros tipos de fibra, devido sua ocorrência natural. Entretanto, o autor ressalta que as estatísticas tem mostrado o rápido decréscimo do consumo em placas de cimento amianto devido, principalmente, aos danos à saúde provocados por esse tipo de fibra.

2.3.2 Normas Técnicas Vigentes

O processo de normalização referente ao uso das fibras no concreto como reforço ou solução estrutural teve início no começo do ano de 2021. Apesar dos estudos serem recentes, essas pesquisas demonstram resultados satisfatórios e por esse motivo, a implementação do CRF dentro da construção civil vem ganhando força para possíveis aplicações dentro dos canteiros de obra. No Quadro 4 mostra-se as normas vigentes referentes ao uso dessas fibras no concreto.

Quadro 4 – Normas técnicas vigentes.

NBR	DESCRIÇÃO
16935	Projeto de estrutura de concreto reforçado com fibras
16938	Concreto Reforçado com Fibras - Controle da qualidade
16939	Controle Reforçado com fibras - Determinação das resistências à fissuração e residuais à tração por duplo puncionamento - Método de ensaio
16940	Concreto Reforçado com Fibras - Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - Método de ensaio
16941	Fibras de vidro álcali-resistentes(AR) para concreto e argamassa - Requisitos e métodos de ensaio
16942	Fibras poliméricas para concreto - Requisitos e métodos de ensaio

Fonte: Autor (2021).

A NBR 16935 (ABNT, 2021) afirma que o concreto reforçado com fibras é um material compósito, caracterizado por uma matriz cimentícia com fibras descontínuas estáveis em meio alcalino. As fibras utilizadas como reforço estrutural melhoram o comportamento do CRF no Estado Limite Último (ELU) e no Estado Limite de Serviço (ELS), podendo reforçar totalmente ou em conjunto com a armadura passiva ou ativa.

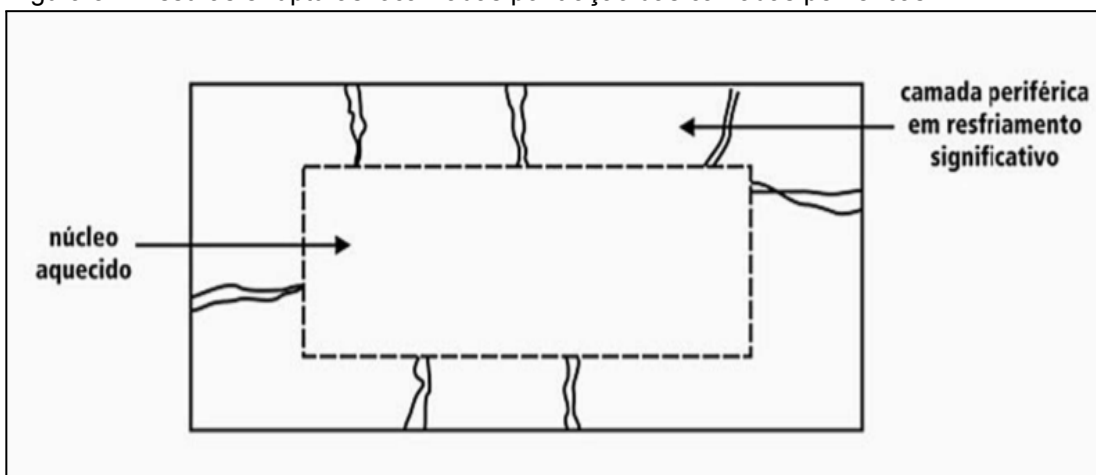
Ainda segundo a NBR 16935 (ABNT, 2021), as estruturas de CRF devem atender os requisitos mínimos de qualidade (capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade) durante sua construção e uso, e aos requisitos adicionais estabelecidos pelas partes interessadas. A capacidade resistente consiste basicamente na segurança a ruptura; o desempenho em serviço consiste na capacidade da estrutura de se manter em condições plenas durante sua vida útil; e a durabilidade consiste na capacidade da estrutura em resistir às influências ambientais previstas e definidas pelo o autor do projeto estrutural e pelo contratante.

2.3.3 Fenômenos de Fissuração

Para Fusco (2012) as reações de hidratação dos compostos de cimento são exotérmicas, o que provoca o aquecimento da massa de concreto durante o seu endurecimento. Durante a fase inicial do endurecimento do concreto, a liberação de calor é mais intensa, gerando uma expansão dessa massa em virtude desse aquecimento.

Fuscos (2012), preconiza que nesta fase inicial a rigidez do concreto é baixa, o que permite uma acomodação da massa, que se expande termicamente à eventuais heterogeneidades. O encurtamento térmico das camadas externas tende a ser impedido pelo núcleo interno ainda quente. Esse estado de coação pode provocar fissuras generalizadas e rupturas localizadas por tração das camadas periféricas, agravando-se muito a possibilidade de ataque do meio externo ao concreto, como mostra esquematicamente a Figura 5.

Figura 5 – Fissuras e rupturas localizadas por tração das camadas periféricas.

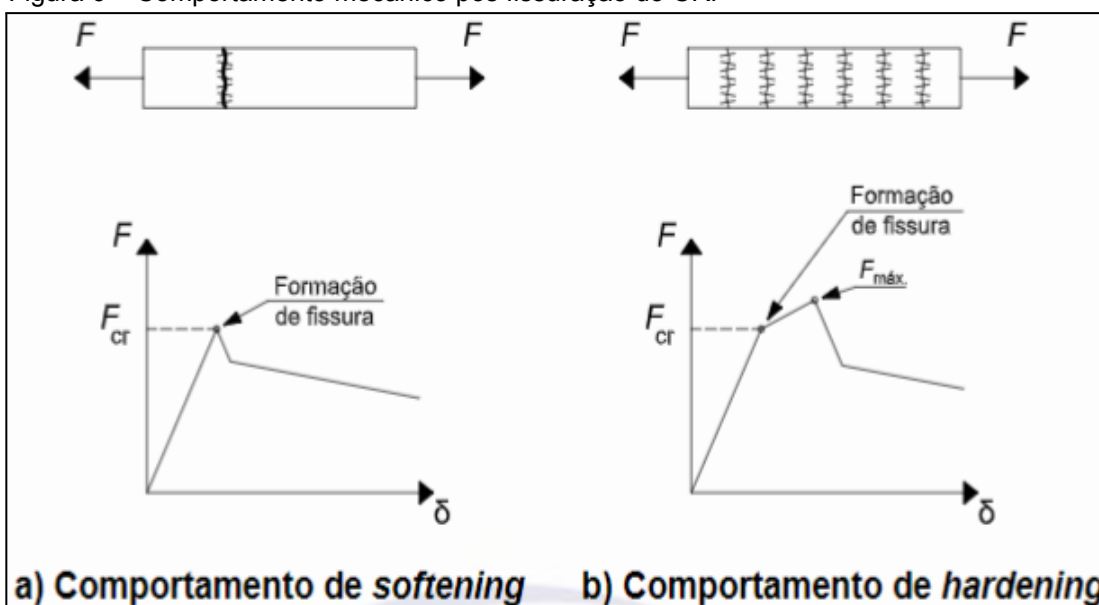


Fonte: Fuscos (2012).

A NBR 16935 (ABNT, 2021) preconiza que a matriz de concreto sem adição de fibras apresenta comportamento frágil quando comparada à matriz CRF. A adição de fibras descontínuas e aleatoriamente distribuídas na matriz atua como reforço estrutural e possibilita o controle da abertura e da propagação de fissuras no concreto, alterando o seu comportamento mecânico após a ruptura da matriz, aumentando a capacidade de absorção de energia do concreto e diminuindo o nível de fragilidade do material.

O comportamento mecânico pós-fissuração do CRF submetido à tração direta, pode ser caracterizado conforme a Figura 6. A Figura 6 indica que, após a fissuração da matriz de concreto (F_{cr}), a curva desse comportamento mecânico pode assumir dois tipos de atuação: softening (a), caracterizado pela redução gradual dos valores de força abaixo da força F_{cr} ; e hardening (b), caracterizado pelo aumento inicial dos valores de força (F) com múltipla fissuração antes de se atingir a forma máxima ($F_{máx}$) (NBR 16935, 2021).

Figura 6 – Comportamento mecânico pós fissuração do CRF



Fonte: NBR 16935 (2021).

Para Bonakdar e Mahoney (20--), a resistência à tração do concreto é tipicamente de 10 a 15% da resistência a compressão. Esse valor é considerado baixo para o concreto no regime plástico. As microfibras podem fornecer resistência à tração necessária dentro da matriz quando o concreto ainda estiver nesse regime, prevenindo ou reduzindo a ocorrência das fissuras de retração plástica. As macrofibras sintéticas, na dosagem mínima de 1.8 kg/m^3 podem também ser usadas

para controlar estas fissuras e fornecer tenacidade e durabilidade para o concreto endurecido.

As fibras vêm sendo bastante utilizadas para reforçar concreto. O emprego dessas fibras nas misturas cimentícias promove diversas melhorias ao concreto armado, como, aumento da resistência a fadiga e ao impacto; tenacidade à flexão; aumento da capacidade de absorção de energia, que transferem tensões através das fissuras, fazendo com que reduza sua propagação e expansão; e maior ductilidade. Em concretos não reforçados com fibras, após a sua primeira fissura, o concreto se torna deficiente (GOES, *et al.*, 2016).

2.3.4 Aplicações e Benefícios

No Brasil, o CRF teve grande avanço nos anos 90 com a iniciativa de fabricação das fibras de aço, no qual foram utilizadas para reforço de concreto em obras de infraestrutura. Já as fibras sintéticas, em especial as macrofibras, surgiu no Brasil em 2004 como material estrutural. As fibras sintéticas foram em sua grande parte utilizadas como material de construção, uma vez que polímeros, como o polipropileno, apresentam maior durabilidade em meio alcalino, não estando sujeito à oxidação como ocorre com o aço (CARNIO, 2017).

O uso de fibras em matrizes cimentícias foi utilizado a muito tempo no setor da construção por meio das telhas de fibrocimento, no entanto, esse compósito era uma argamassa reforçada com fibras, não exatamente um concreto. No campo dos pisos industriais, mercado esse de grande aplicação do CRF, foram executados pisos industriais de CRF de várias concessionárias de automóveis (Renault, Volkswagen e Peugeot) e de aeroportos (CARNIO, 2017).

Projeto de bases de equipamentos industriais em concreto reforçado com fibras com o intuito de reforçar os grandes maciços de concreto, que recebem grandes vibrações dos equipamentos, combatendo os esforços de tração e reforçando o volume dessas bases, aumentando assim a vida útil desse elemento estrutural por meio do controle de abertura e propagação de fissuras (VAZ, CARNIO, 2017).

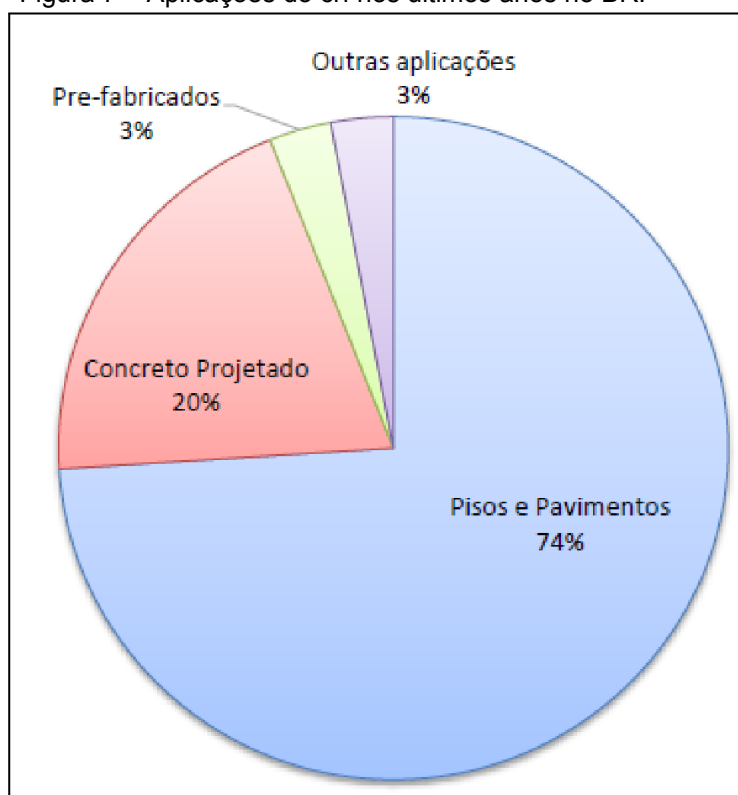
Para Figueiredo (2011) muitas aplicações do CRF estão associadas a obras de grande demanda social e que são carências cruciais na sociedade

brasileira. Obras de infra-estrutura, notadamente as de saneamento básico e de transportes, são exemplos claros disso.

Para Bonakdar e Mahoney (20--), o uso das macrofibras sintéticas podem substituir o reforço de aço em placas de concreto (pisos residenciais, estacionamentos e pisos industriais); pavimentos (ruas e calçadas); capeamentos (pontes, viadutos e estacionamentos); Steel Decks; concreto projetado (túneis, piscinas, encostas e reparos) e alguns pré moldados (tanques sépticos e decorativos).

Em um estudo recente realizado em 2021, a Figura 7 mostra os principais locais de atuações do concreto reforçado com fibras no Brasil.

Figura 7 – Aplicações do crf nos últimos anos no BR.



Fonte: Polidoro (2021).

Além dos benefícios técnicos, a substituição das telas de aço ou vergalhões por macrofibras pode trazer economia de tempo na execução e nos custos. Ao eliminar a necessidade dos reforços de aço, o tempo de aplicação do concreto é reduzido por economias nos gastos iniciais associados com material, transporte, armazenagem e mão de obra (BONAKDAR, MAHONEY, 20--).

O fato de a fibra ser adicionada diretamente na mistura do concreto gera uma facilitação do processo construtivo por reduzir ou mesmo eliminar os serviços

associados ao uso da armadura convencional (montagem e instalação), o que reduz o tempo de execução das obras e também a área demandada para o canteiro (montagem e estocagem de armaduras). Por esses motivos, o concreto reforçado com fibras passa a ser muito atrativo para várias aplicações (FIGUEIREDO, ALFERES FILHO, 2017).

Associadas ABRAINC (2021) e o uso de novas tecnologias na construção, uma das maiores empresas do país, a MRV Engenharia, já testou em quatro empreendimentos do programa habitacional Casa Verde e Amarela a substituição da tela de aço por fibras de vidro, nas paredes de concreto, e conseguiu homologar o uso da tecnologia.

Estudo recente apontou que o déficit habitacional no Brasil chegou a 7,8 milhões de moradias em 2019. Além disso, entre 2020 e 2030, será necessário construir mais de 11 milhões de casas para cobrir a demanda das famílias brasileiras. O uso dessa tecnologia na construção (CRF), em obras do programa habitacional Casa Verde e Amarela, pode ser um dos fatores para elevar a produtividade dessas obras, alinhados aos ganhos de prazo com a finalidade de ajudar a reduzir o déficit habitacional (ABRAINC, 2021).

2.4 Caracterização mecânica do CRF

Ao adicionar fibras no concreto, sejam estas micro ou macro, obtém-se um novo material de características mecânicas distintas das conhecidas para o concreto convencional. Além disso, a avaliação das diferentes propriedades do CRF é efetuada através de ensaios normatizados, alguns dos quais típicos para o concreto convencional e outros desenvolvidos especialmente para os materiais reforçados com fibras (SARJALEZO, *et al.*, 2014).

2.4.1 Controle de qualidade

Segundo a NBR 16938 (ABNT, 2021) as fibras a serem utilizadas como reforço estrutural devem ser qualificadas previamente de acordo com as seguintes normas:

- a) fibra de aço: ABNT NBR 15530;
- b) fibra de vidro álcali-resistentes (AR): ABNT NBR 16941;
- c) fibras poliméricas: ABNT NBR 16942;

Além disso, essa norma preconiza que a qualificação do CRF deve considerar os seguintes ensaios: tração na flexão (resistências e residuais); resistência a compressão e duplo puncionamento; e devem ser realizados ensaios aos 28 dias em no mínimo oito corpos de prova, de acordo com os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 16940 e 16939.

2.4.1.1 Ensaios no estado fresco

A avaliação do concreto fresco compreende a verificação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, que deve ser feita conforme a ABNT NBR 16889, ou do espalhamento do concreto, conforme a ABNT NBR 15823-2, em função do tipo de concreto previamente especificado (ABNT NBR 16938, 2021).

2.4.1.2 Ensaios no estado endurecido

A NBR 16938 (ABNT, 2021) preconiza que o ensaio de resistência a compressão deve ser determinado conforme a ABNT NBR 5739 e para o controle de resistência a tração deve ser realizados os ensaios de tração na flexão. Além disso, o ensaio de duplo puncionamento fica a critério do projetista, que pode utilizar esse ensaio para determinar a resistência à tração (fissuração).

2.5 Estudos pertinentes: fibras no concreto

Na literatura já existem alguns estudos envolvendo o desempenho mecânico do concreto reforçado com fibras. A seguir, será apresentado algum desses estudos, no qual relata grandes resultados obtidos pela implementação dessas fibras no concreto, principalmente quando se trata do comportamento mecânico desse elemento.

2.5.1 Lucena (2016)

O comportamento de painéis alveolares em paredes finas com adição de fibras de polipropileno foi avaliado por Lucena (2016). Em relação ao ensaio de carga concentrada, o comportamento do modelo contendo 2% de fibras de polipropileno em relação ao modelo referência, sem fibras, apresentou aproximadamente dez vezes maior capacidade de carga, cinco vezes maior capacidade de deslocamento e sete vezes maior resistência à punção. As tensões

resistentes à flexão apresentaram cerca de 6% menores para as amostras contendo 2% de fibras. Vale ressaltar que houve dificuldade no ato da modelagem do corpo de prova, pois a trabalhabilidade muito baixa em conjunto com a geometria do painel, torna difícil realizar o adensamento correto. Em boas condições, de modelagem e adensamento, a tendência é que essas tensões resistentes à flexão sejam maiores.

2.5.2 Leite (2018)

A avaliação do uso da macrofibra polimérica na composição de concreto para fins estruturais foi avaliado por Leite (2018). O autor estudou essas fibras como reforço de elementos estruturais atuando na sua capacidade resistente à compressão, tração na flexão e no período pós fissuração do compósito, que reflete no ganho de tenacidade. As amostras avaliadas, com concreto convencional, foram submetidas aos mesmos esforços mecânicos. Diante disso, foi verificado que as fibras poliméricas se mostraram mais eficientes.

2.5.3 Goes, Fontanini, Pimentel e Jacintho (2016)

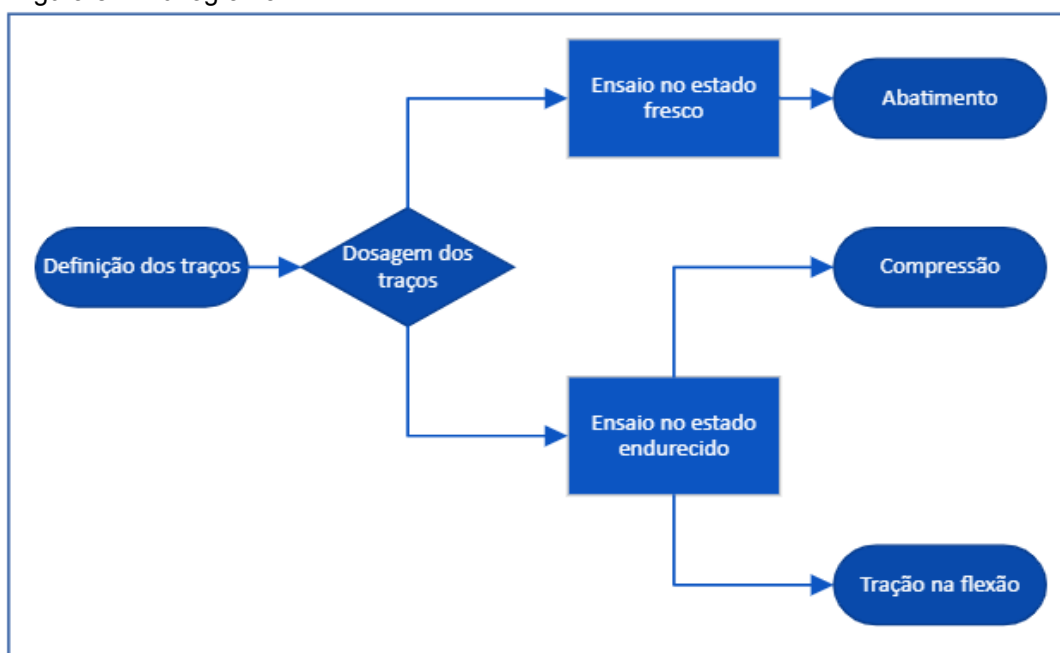
A análise da aplicação de concreto com adição de macrofibras estruturais poliméricas e microfibra de vidro em pisos foi estudado por Goes *et al.* (2016). A partir dos resultados obtidos nesse trabalho, observou-se que os novos traços propostos com adição das macrofibras estruturais sintéticas e as microfibras de vidro no concreto, apresentaram melhores resultados em relação ao concreto convencional do estudo de caso, permitindo um melhor desempenho mecânico, um bom acabamento superficial, um melhor controle de fissurações e uma melhor capacidade de absorção de energia, concluindo que o traço com a utilização dessas fibras citadas é uma melhor opção para utilizar em pisos de concreto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente seção tem como finalidade apresentar o método e os materiais adotados durante o processo experimental. Esse estudo quantitativo tem o intuito de estabelecer os resultados necessários para a avaliação do concreto reforçado com fibras, avaliando-se as alterações mecânicas dos elementos sujeitos a compressão axial e tração na flexão, no estado endurecido, como também no estado fresco, avaliando-se o abatimento. O material escolhido foi a macrofibra de vidro, material esse que tem ganhado bastante força na construção civil, em especial no programa governamental Casa Verde e Amarela. O CRF analisado servirá como base para comparar com o concreto convencional.

De forma esquemática, a Figura 8 ilustra o fluxograma relacionando as principais etapas do processo.

Figura 8 – Fluxograma.



Fonte: Autor (2022).

3.1 Materiais

Para uma maior assertividade na análise desse estudo experimental, é importante determinar e caracterizar os materiais que serão utilizados nos traços das amostras de concreto, uma vez que esses materiais podem influenciar diretamente no comportamento das amostras analisadas. É importante ressaltar que esse estudo

está diretamente atrelado ao uso correto desses materiais de acordo com as normas técnicas vigentes da ABNT, a fim de conseguir resultados plausíveis e satisfatórios.

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para realizar o estudo dos diferentes traços de concreto utilizados no trabalho foi o CP II – F 32. A escolha desse cimento está atrelada a sua vasta comercialização e fácil acesso no mercado local. Esse material possui massa específica de $3,00 \text{ mg/m}^3$, com resistência à compressão esperada aos 28 dias $> 32 \text{ MPA}$ e finura de $2600 \text{ cm}^2/\text{g}$ segundo o Método de Blaine (NM 76), normalizada pela NBR 16372.

3.1.2 Agregado Miúdo

Para iniciar a caracterização dos agregados foi feito o ensaio de granulometria segundo a NBR NM 248. Para essa análise foi utilizado areia natural e pó de pedra. Vale destacar que a utilização do pó de pedra tem como uma das finalidades o aumento do teor de argamassa, visto que as fibras tendenciam uma redução do abatimento do traço. Os agregados miúdos utilizados nessa pesquisa foram fornecidos pelo Centro Universitário Christus. Os requisitos adotados para Dimensão Máxima Características (DMC) será de 4,75 mm.

A Tabela 3 apresenta a distribuição granulométrica do agregado miúdo areia natural, no qual foi realizado em laboratório com duas amostras de 300 gramas e retirado uma média desses resultados.

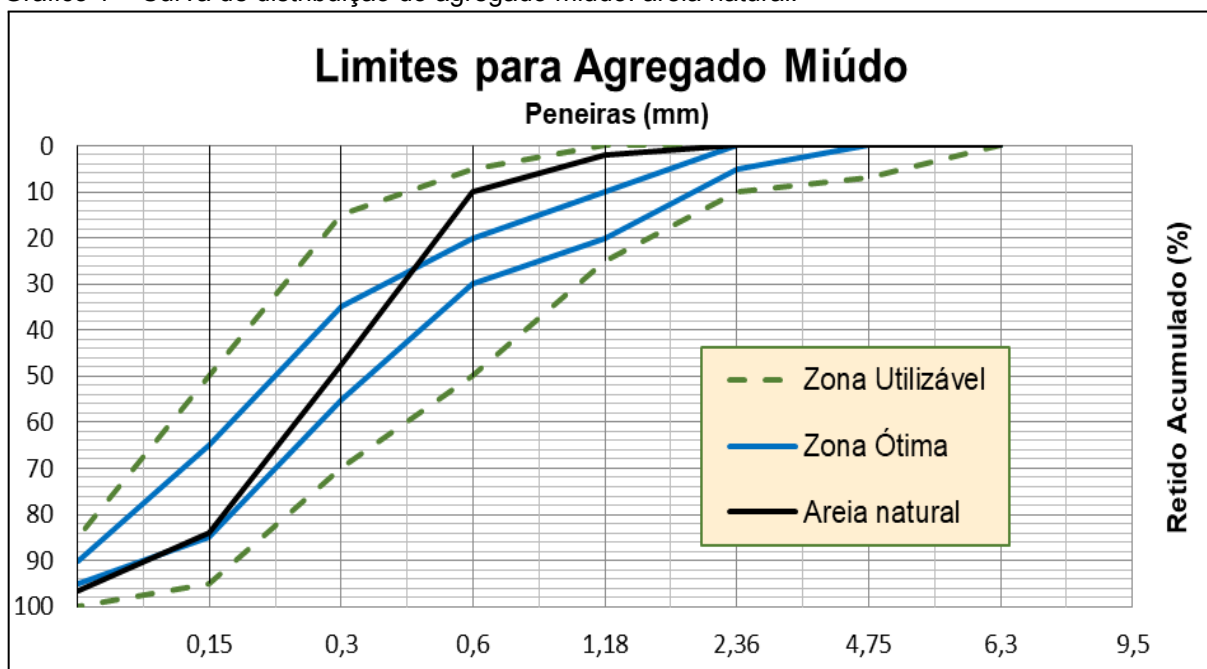
Tabela 3 – Ensaio de granulometria: areia natural.

PENEIRAS		PESO RETIDO (g)			%		
Nº	ABERTURA (mm)	A1	A2	MÉDIA	RETIDA	PASSANTE	ACUMULADO
1/4	6,3	0	0	0,0	0,00	100,00	0,00
4	4,8	0	0	0,0	0,00	100,00	0,00
8	2,4	10	1,9	6,0	1,98	98,02	1,98
16	1,2	30	18,9	24,5	8,15	89,87	10,13
30	0,6	140	83,3	111,7	37,22	52,65	47,35
50	0,3	75	144,8	109,9	36,63	16,02	83,98
100	0,15	35	40,0	37,5	12,50	3,52	96,48
200	0,075	5	9,4	7,2	2,40	1,12	98,88
FUNDO		5	1,3	3,2	1,05	0,07	99,93

Fonte: Autor (2022).

A curva granulométrica deste agregado, areia natural, apresentado no Gráfico 1, é representado por uma linha média de cor preta, indicando que esse material está totalmente inserido na zona utilizável, garantindo sua aprovação de acordo com o ensaio que é regido pela ABNT NBR NM 248.

Gráfico 1 – Curva de distribuição do agregado miúdo: areia natural.



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 4 apresenta as características do agregado miúdo pó de pedra, no qual foi realizado em laboratório com duas amostras de 300 gramas e em seguida retirado uma média desses resultados.

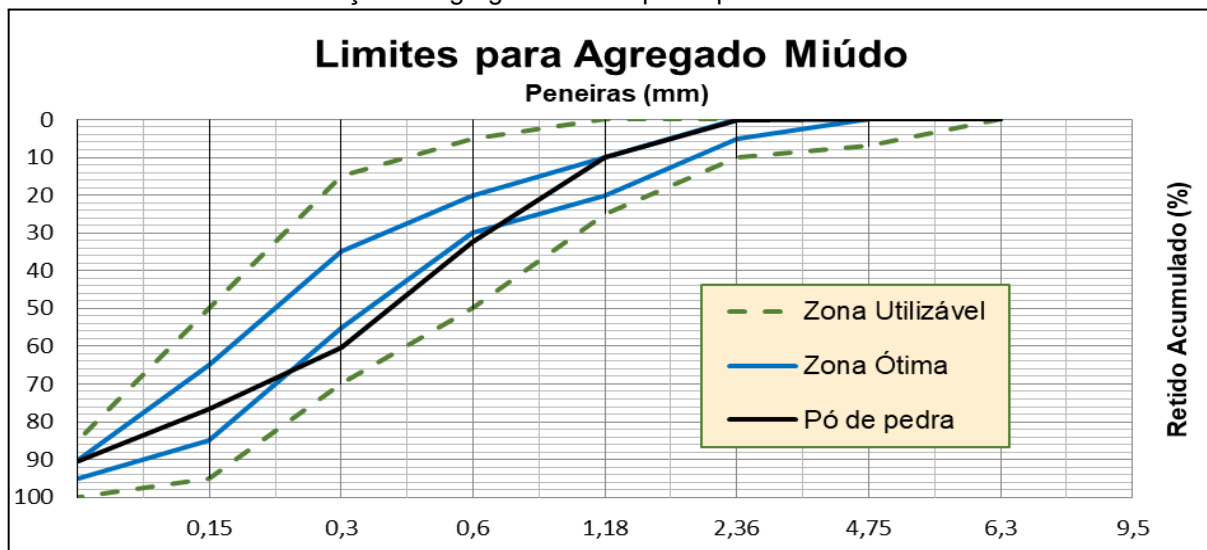
Tabela 4 – Ensaio de granulometria: Pó de pedra.

PENEIRAS		PESO RETIDO (g)			%		
Nº	ABERTURA (mm)	A1	A2	MÉDIA	RETIDA	PASSANTE	ACUMULADO
1/4	6,3	0	0	0,0	0,00	0,00	0,00
4	4,8	0	0	0,0	0,00	0,00	0,00
8	2,4	10	1,9	6,0	1,98	98,02	1,98
16	1,2	30	18,9	24,5	8,15	89,87	10,13
30	0,6	140	83,3	111,7	37,22	52,65	47,35
50	0,3	75	144,8	109,9	36,63	16,02	83,98
100	0,15	35	40,0	37,5	12,50	3,52	96,48
200	0,075	5	9,4	7,2	2,40	1,12	98,88
FUNDO		5	1,3	3,2	1,05	0,07	99,93

Fonte: Autor (2022).

A curva granulométrica deste agregado, pó de pedra, apresentado no Gráfico, é representado por uma linha média de cor preta, indicando que esse material está totalmente dentro da zona utilizável, garantindo sua aprovação de acordo com o ensaio que é regido pela ABNT NBR NM 248.

Gráfico 2 – Curva de distribuição do agregado miúdo: pó de pedra.



Fonte: Autor (2022).

3.1.3 Agregado Graúdo.

Assim como o agregado miúdo, o agregado graúdo também passou pelo o ensaio de granulometria NBR NM 248. Para esse estudo, foi utilizado a brita 0 e a brita 1 para a elaboração dos traços analisados.

A Tabela 5 apresenta a distribuição granulométrica do agregado graúdo brita 0, no qual foi realizado em laboratório com duas amostras de 1000 gramas e retirado uma média desses resultados.

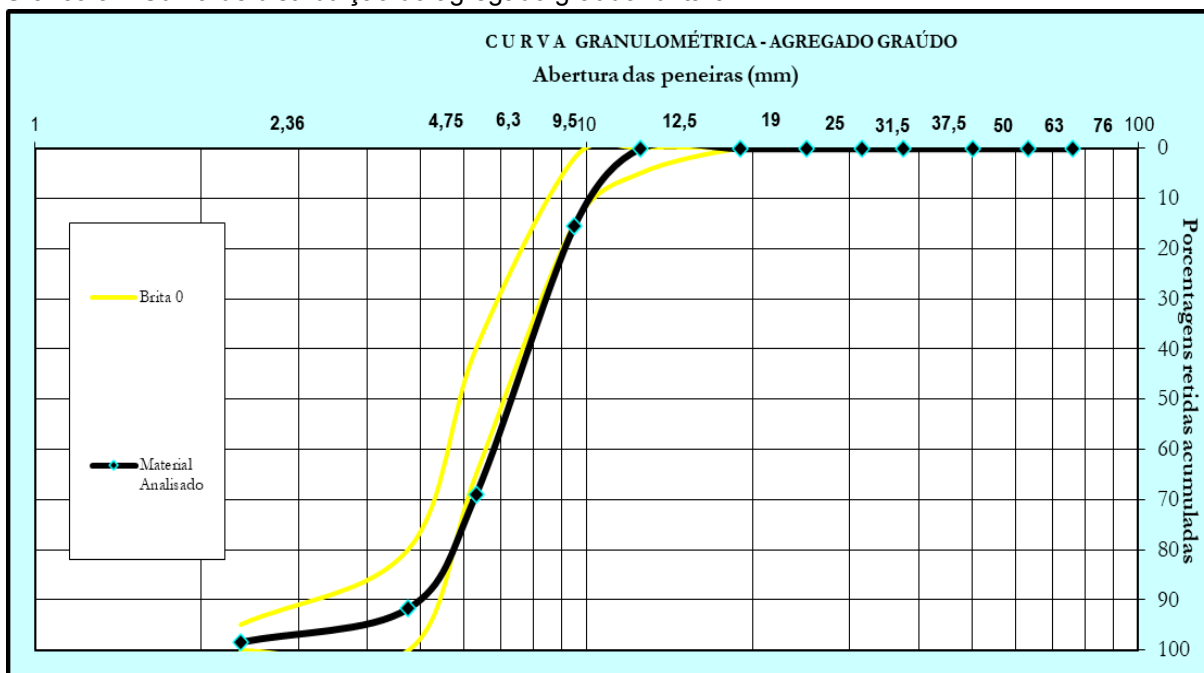
Tabela 5 – Ensaio de granulometria do agregado graúdo: brita 0.

PENEIRAS		PESO RETIDO (g)			%		
Nº	ABERTURA (mm)	A1	A2	MÉDIA	RETIDA	PASSANTE	ACUMULADO
3/4	19	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
3/8	9,5	154,37	155,28	154,83	15,48	84,52	15,48
1/4	6,3	531,36	538,95	535,16	53,52	31,00	69,00
4	4,75	237,18	215,96	226,57	22,66	8,35	91,66
8	2,36	65,66	68,79	67,23	6,72	1,62	98,38
FUNDO		12,50	18,63	15,57	1,56	0,07	99,93

Fonte: Autor (2022).

A curva granulométrica deste agregado, brita 0, apresentado no Gráfico 3, é representado por uma linha média de cor preta, indicando que esse material está inserido na zona utilizável, garantindo sua aprovação de acordo com o ensaio que é regido pela ABNT NBR NM 248.

Gráfico 3 – Curva de distribuição do agregado graúdo: brita 0.



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 6 apresenta a distribuição granulométrica do agregado graúdo, brita 1, no qual foi realizado em laboratório com duas amostras de 1000 gramas e retirado uma média desses resultados.

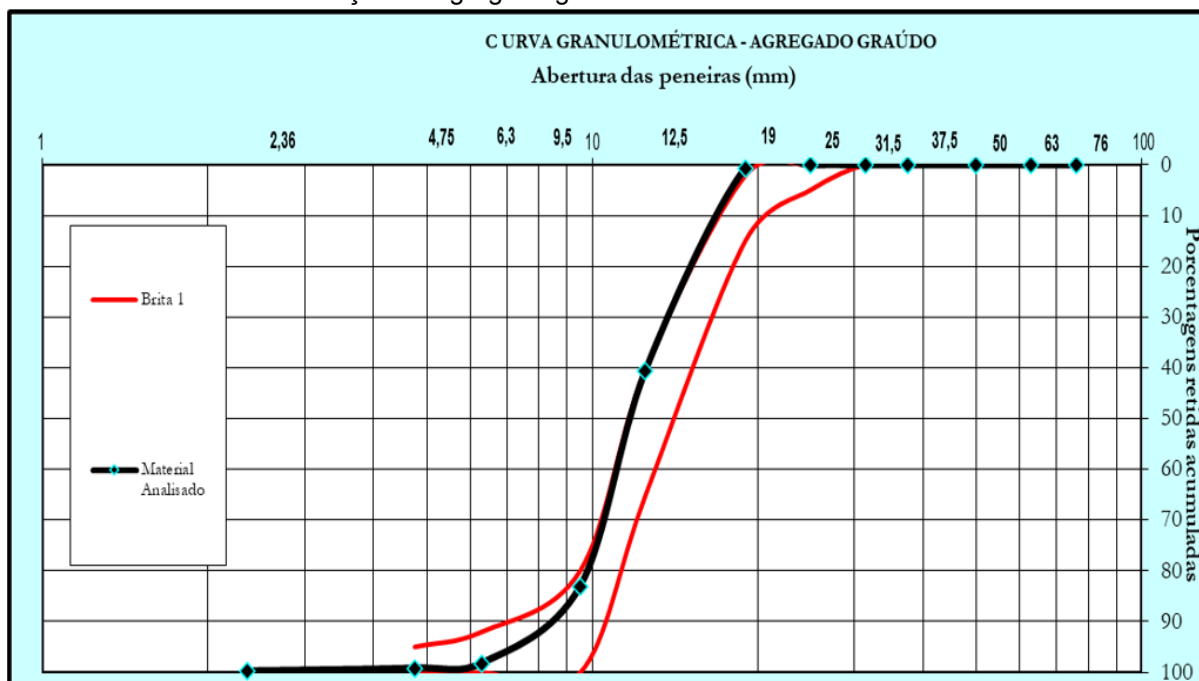
Tabela 6 – Ensaio de granulometria do agregado graúdo: brita 1.

PENEIRAS		PESO RETIDO (g)			%		
Nº	ABERTURA (mm)	A1	A2	MÉDIA	RETIDA	PASSANTE	ACUMULADO
3/4	19	12,80	0,00	6,40	0,64	99,36	0,64
1/2	12,5	348,00	449,90	398,95	39,90	59,47	40,54
3/8	9,5	428,20	420,70	424,45	42,45	17,02	82,98
1/4	6,3	184,50	115,30	149,90	14,99	2,03	97,97
4	4,75	14,90	5,10	10,00	1,00	1,03	98,97
8	2,36	8,50	2,70	5,60	0,56	0,47	99,53
FUNDO		2,40	2,10	2,25	0,23	0,24	99,76

Fonte: Autor (2022).

A curva granulométrica deste agregado, brita 1, apresenta no Gráfico 4, é representado por uma linha média de cor preta, indicando que esse material está totalmente inserido na zona utilizável, garantindo sua aprovação de acordo com o ensaio que é regido pela ABNT NBR NM 248.

Gráfico 4 – Curva de distribuição do agregado graúdo: brita 1.



Fonte: Autor (2022).

3.1.4 Água

A água que será utilizada para a realização dos traços em análises será fornecida pela concessionária de abastecimento local, CAGECE, empresa responsável pela distribuição da rede de abastecimento da cidade de Fortaleza. A normatização dessa água se dá pela NBR de 2009, no qual garante os requisitos necessários de potabilidade e uso provindo dos seus reservatórios.

3.1.5 Aditivos

Com o intuito de melhorar a trabalhabilidade dos concretos em análise, será adicionado a mistura dos traços estudados, um aditivo polifuncional, de caráter plastificante, da marca MasterPozzolith 211, fornecido por uma empresa local.

Esse aditivo atende os requisitos da norma brasileira ABNT NBR 11768 (Tipo P) e ASTM C494 (Tipo A). O objetivo da utilização desse aditivo, será de melhorar o abatimento dos traços sem gerar os fenômenos de segregação e

exsudação, a fim de garantir um bom lançamento e adensamento nos corpos de prova.

3.1.6 Fibra de Vidro

As fibras de vidro são filamentos ou conjunto de filamentos cortados, apropriados para mistura homogênea em concretos do cimento Portland.

As fibras são elementos descontínuos onde o comprimento predominará sobre a seção transversal. Segundo Carnio (2017), as dosagens usuais atualmente em geral variam de entre 0,25% e 0,50% em relação ao peso específico das fibras. Para esse estudo, a macrofibra de vidro utilizada da marca Owens Corning, fornecida pela MRV Engenharia, de referência Anti-Crack HP 67/36 S54, resistente a álcalis, contendo dióxido de zircônio para uso em concreto, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Macrofibra de Vidro (Owens Corning).



Fonte: Autor (2022).

3.2 Métodos

Nesta seção será determinado os procedimentos realizados para a obtenção dos resultados que serão analisados para fins comparativos e suas possíveis alterações mecânicas a respeito da utilização das fibras de vidro no traço do concreto. Além disso, será apresentado e estabelecido a dosagem dos materiais.

O traço referência (TR), será comparado com os traços com fibras (TF), que é caracterizado pela adição das macrofibras de vidro no concreto. O traço com fibras será dividido em dois, diferenciando-se pela quantidade de fibras por metro

cúbico de concreto. O TF1 terá uma dosagem de 6 kg/m³ e o TF2 uma dosagem de 8 kg/m³. O Quadro 5 abaixo apresenta as nomenclaturas e especificações dos traços descritos anteriormente.

Quadro 5 – Nomenclatura e especificação dos traços.

TRAÇO	ESPECIFICAÇÃO
TR	TRAÇO REFERÊNCIA - SEM FIBRA
TF1	TRAÇO COM FIBRA NA DOSAGEM DE 6 KG/M ³
TF2	TRAÇO COM FIBRA NA DOSAGEM DE 8 KG/M ³

Fonte: Autor (2022).

3.2.1 Dosagem do traço referência

Nesse traço foi realizado a mistura do concreto contendo os materiais base e o aditivo do tipo polifuncional, conforme descrito anteriormente. O TR foi fornecido por uma empresa local. Esse traço passou por ajustes na dosagem com o intuito de atingir um teor de argamassa em torno de 54%, garantindo assim uma melhor fluidez no abatimento e coesão (envolvimento) das fibras com os agregados finos da dosagem.

Atingir essa fluidez se deve ao fato de que o traço referência será acrescido das macrofibras de vidro. Essas fibras quando introduzidas ao concreto exige um teor de argamassa maior (50 a 54%), tanto para o envolvimento da mesma como para garantir um abatimento em torno de 100 +/- 20 mm.

As características desse traço, assim como as especificações detalhadas estão listadas a seguir, como mostra a Tabela 7

Tabela 7 – Dosagem do traço referência (TR).

TRAÇO REFERÊNCIA							
MATERIAIS (KG)	CIMENTO	PÓ DE PEDRA	AREIA NATURAL	BRITA 0	BRITA 1	ÁGUA	ADITIVO
UNITÁRIO	1	0,53	1,25	0,72	1,68	0,55	0,008
UTILIZADO	16	8,48	20	11,52	26,88	8,8	0,128

Fonte: Autor (2022).

3.2.2 Dosagem dos traços com fibras

A dosagem do traço com fibras foi ajustada apenas pela adição das macrofibras de vidro. Para o especialista em CRF, Carnio (2017), as dosagens usuais para esse tipo de concreto giram em torno de 6 kg/m³ a 12 kg/m³.

Para esse estudo, foi escolhido o teor de 6 kg/m³ para o TF1 e o teor de 8 kg/m³ para o TF2, como mostra a Tabela 8

Tabela 8 – Dosagem dos traços com fibras: TF1 e TF2.

TRAÇO COM FIBRAS - MACROFIBRA DE VIDRO								
TRAÇO (KG)	CIMENTO	PÓ DE PEDRA	AREIA NATURAL	BRITA 0	BRITA 1	ÁGUA	ADITIVO	FIBRAS
TF1	16	8,48	20	11,52	26,88	8,8	0,128	0,240
TF2	16	8,48	20	11,52	26,88	8,8	0,128	0,320

Fonte: Autor (2022).

3.3 Execução dos concretos analisados e os ensaios necessários para obtenção de resultados

Neste tópico será definido os ensaios necessários para as análises comparativas entre os traços estudados e as quantidades de corpos de prova do tipo cilíndrico e do tipo prismáticos que serão utilizados para a realização dos ensaios no estado fresco e no estado endurecido.

- a) Concreto Referência – TR;
- b) Concreto com macrofibra de vidro (6 kg/m³) – TF1
- c) Concreto com macrofibra de vidro (8 kg/m³) – TF2.

A Tabela 9 a seguir mostra o detalhamento da quantidade de corpos de provas (CP's) que serão analisados dos traços estudados e a idade de ruptura dos mesmos para a obtenção dos resultados desses concretos no estado endurecido.

Tabela 9 – Idade de ruptura e quantidade de CP'S: TR e TF's.

TRAÇO	ENSAIO 1:			ENSAIO 2:		
	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			TRAÇÃO NA FLEXÃO		
	Nº de CP'S Cilíndricos	Idade		Nº de CP'S Prismáticos	Idade	
		7 dias	28 dias		7 dias	28 dias
TR	4	2	2	1	-	1
TF1	4	2	2	1	-	1
TF2	4	2	2	1	-	1

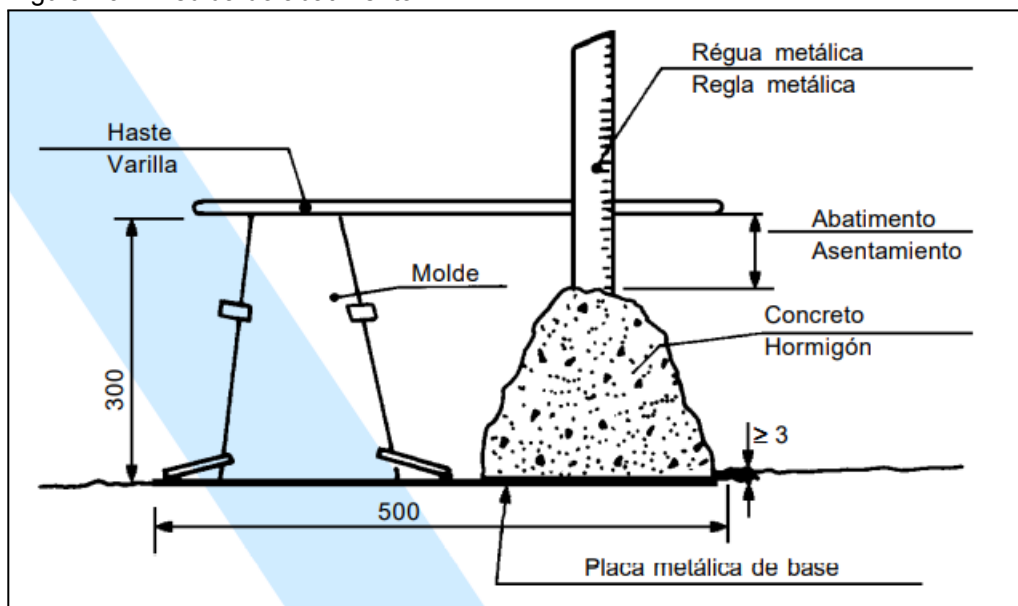
Fonte: Autor (2022).

3.3.1 Slump Test

Para desenvolver os comparativos do concreto no estado fresco entre as amostras do TR, TF1 e TF2, foi utilizado o ensaio de abatimento de tronco de cone,

rígido pela NBR NM 67 (1998). Esses resultados são expressos em milímetros. O abatimento do concreto é determinado entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Medida do abatimento.



Fonte: NBR NM 67 (1998).

3.3.2 Moldagem dos corpos de prova

Para a moldagem dos concretos desse estudo (TR, TF1 e TF2), foram utilizados os corpos de prova do tipo cilíndrico e do tipo prismático.

Os corpos de prova cilíndricos utilizados nesse experimento possuem 100 mm de diâmetro e foram moldados com a aplicação de 12 golpes em duas camadas, de acordo com os parâmetros estabelecidos pela NBR 5738 (2015). A Figura 11 mostra os CP'S dos traços estudados, moldados em laboratório.

Figura 11 – Moldagem dos corpos de prova cilíndrico.



Fonte: Autor (2022).

A moldagem dos corpos de prova prismáticos, com dimensões de 150 x 500 mm, também seguiu conforme as exigências estabelecidas pela NBR 5738 (2015). Os CP'S prismáticos foram moldados com a aplicação de 75 golpes em duas camadas, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Moldagem dos corpos de prova prismáticos.



Fonte: Autor (2022).

Após 24 horas da moldagem dos corpos de prova, tanto os prismáticos como os cilíndricos, os mesmos foram desmoldados e submetidos ao processo de cura úmida no tanque do laboratório, como mostra a Figura 13. Os CP's permaneceram submersos até um dia antes da data dos rompimentos (7 e 28 dias).

Figura 13 – Cura úmida dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2022).

3.3.3 Ensaio de resistência à compressão

Para desenvolver os comparativos do concreto no estado endurecido entre as amostras do TR, TF1 e TF2, o ensaio de resistência à compressão realizado em laboratório seguiu as exigências e critérios determinados pela NBR 5739 (2018). Como descrito anteriormente e detalhado na Tabela 9, as amostras foram divididas em dois corpos de prova cilíndrico e rompidos com as idades de 7 e 28 dias, no qual foi considerado o maior resultado entre o par como a resistência do concreto no estado endurecido para cada idade analisada.

Antes da ruptura, os corpos de prova foram inseridos na máquina retifica faceadora para que fosse realizado o capeamento das amostras, e assim garantir uma sessão plana para o ensaio de compressão axial na prensa hidráulica, como mostra a Figura 14.

Figura 14 – Prensa hidráulica.



Fonte: Autor (2022).

3.3.4 Ensaio de resistência à tração na flexão

Além do ensaio de resistência à compressão, foi realizado também o ensaio de resistência à tração na flexão entre as amostras do TR, TF1 e TF2 para determinar os resultados comparativos para o concreto no estado endurecido.

Esse ensaio foi realizado em laboratório e seguiu todos os parâmetros exigidos pela NBR 12142 (2010). Como descrito anteriormente e detalhado na Tabela 9, foi utilizado uma amostra de cada traço da pesquisa para a moldagem do corpo de prova do tipo prismático. A idade de rompimento apenas aos 28 dias, no qual esse resultado foi considerado como a resistência do concreto no estado endurecido. A Figura 15 apresenta o corpo de prova prismático utilizado no ensaio.

Figura 15 – Corpo de prova prismático.



Fonte: Autor (2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção serão apresentados os resultados obtidos através de toda a metodologia implantada e descrita na seção anterior. Os diferentes traços estudados (TR, TF1 e TF2) irão apresentar os valores obtidos tanto no seu estado fresco como no seu estado endurecido. Além disso, serão realizadas as discussões sobre o impacto desses resultados e os comparativos entre as amostras, a fim de correlacionar as características mecânicas dos ensaios de compressão axial e tração na flexão.

4.1 Resultados dos ensaios

Para melhor análise dos resultados obtidos em cada amostra, será utilizado gráficos, quadros e tabelas com informações claras e precisas a respeito dos valores encontrados nos ensaios realizados para os diferentes comparativos dos traços da pesquisa.

4.1.1 Concreto no estado fresco

O Quadro 6 apresenta os resultados obtidos no ensaio de abatimento de tronco de cone, mais conhecido com Slump Test. Cada traço estudado (TR, TF1 e TF2) foi realizado esse tipo de ensaio para determinar os valores que indicam a consistência (trabalhabilidade) das amostras. Vale ressaltar que o TF foi realizado o abatimento antes e depois do lançamento das macrofibras de vidro.

Quadro 6 – Ensaio de abatimento (Slump Test).

ENSAIO DE ABATIMENTO - SLUMP TEST (mm)					
TR		TF1		TF2	
					
SEM FIBRA	COM FIBRA	SEM FIBRA	COM FIBRA	SEM FIBRA	COM FIBRA
135	-	135	85	140	75

Fonte: Autor (2022).

Os resultados obtidos através desse ensaio evidenciam que a utilização das macrofibras de vidro impacta de forma significativa no abatimento do traço. Observa-se que existiu uma redução da trabalhabilidade do TF1 e do TF2 em relação ao TF.

Quando se compara o TF1 antes e depois do lançamento das fibras, é possível observar uma redução de 37,04%. Já o TF2, para essa mesma análise, mostra-se que teve uma redução ainda maior, no caso de 46,43%.

Para Dakuzaku e Rivera (2017), as fibras promovem travamento dos agregados e consequentemente reduzem as medidas do abatimento do cone (recalque). A quantidade de fibras por metro cúbico, a rugosidade da fibra, seu índice de forma e etc, podem ser considerados como fatores influentes nos resultados para esse tipo de ensaio.

Ainda para Dakuzaku e Rivera (2017), em estudo realizado com as macrofibras poliméricas no concreto, para concreto projetado, com teor de fibras de 6 kg/m³, foi avaliado a influência da trabalhabilidade do concreto no estado fresco. O traço sem fibras apresentou o Slump test de 240 mm. Já outros dois traços com fibras, apresentaram Slump test de 175 mm (Fibra A) e 195 mm (Fibra B). A diferença de percentuais para o traço sem fibra e os traços com fibra girou em torno de 27,08% e 18,75%, respectivamente.

4.1.2 Concreto no estado endurecido

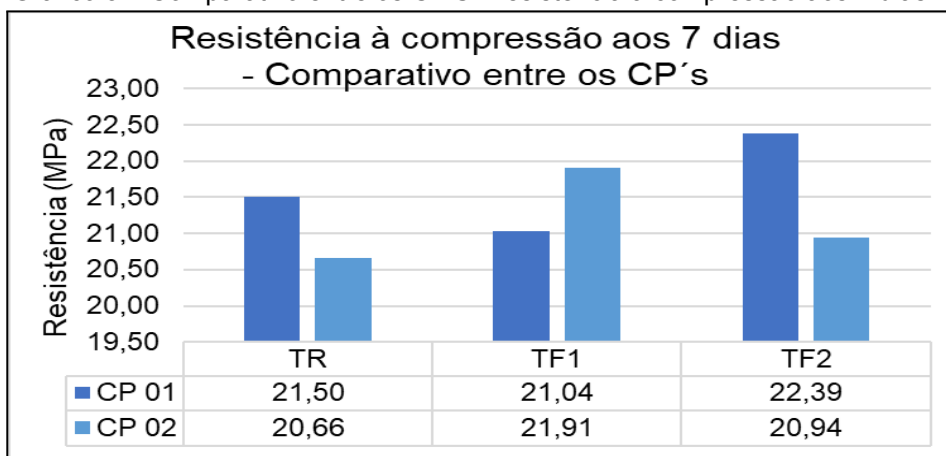
Após essa realização do ensaio no estado fresco, foram moldados os corpos de prova do tipo cilíndrico e do tipo prismático, sendo 2 amostras de cada, como mostra a Tabela 9. Em seguida, os CP'S passaram pelo processo de cura úmida e rompidos com as idades estabelecidas. Para a análise dos resultados dos traços estudados (TR, TF1 e TF2), foi considerado o maior valor entre as amostras como a resistência para os ensaios de compressão axial e tração na flexão.

4.1.2.1 Resistência à compressão: 7 dias

Foram utilizados 2 corpos de prova cilíndrico de cada traço. Após a cura úmida, esses CP'S foram submetidos a uma secagem ao ar livre 24 horas antes da ruptura marcada para o sétimo dia e posteriormente levados ao ensaio de

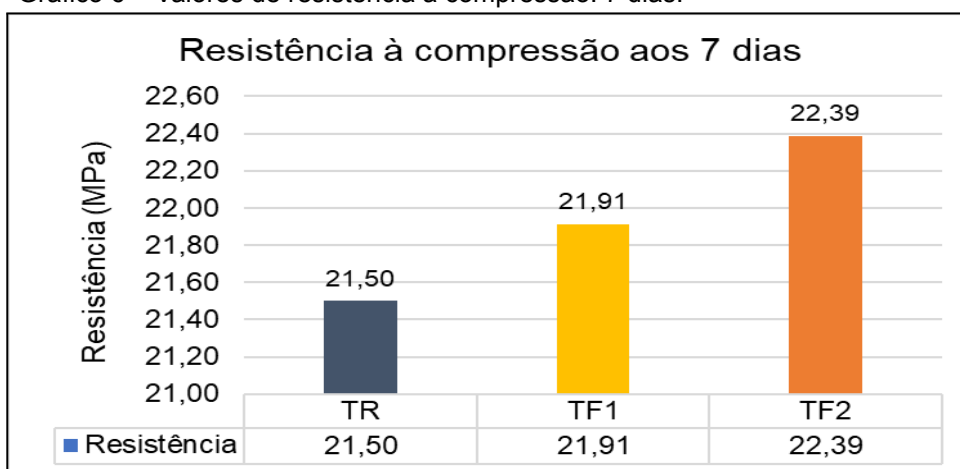
compressão axial na prensa hidráulica. O Gráfico 5 apresenta as resistências das 2 amostras de cada traço estudado e o Gráfico 6 mostra os valores considerados como a resistência à compressão aos 7 dias, no caso, o maior valor entre o par.

Gráfico 5 – Comparativo entre os CP'S: Resistência à compressão aos 7 dias.



Fonte: Autor (2022).

Gráfico 6 – Valores de resistência à compressão: 7 dias.



Fonte: Autor (2022).

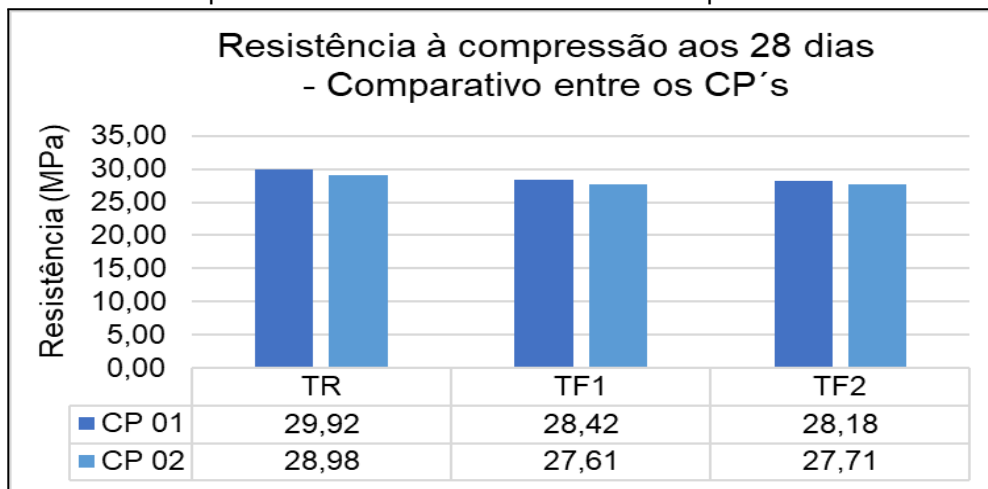
Esses resultados mostram que os traços com fibras (TF1 e TF2) tiveram uma resistência à compressão aos 7 dias maior do que traço sem fibra (TR). Correlacionando os TF's e o TR, observa-se que o TF1 teve um aumento de 1,91% e o TF2 um aumento ainda maior, no caso de 4,14%.

4.1.2.2 Resistência à compressão: 28 dias

Para a realização do ensaio aos 28 dias, foi feito o mesmo procedimento para o ensaio de 7 dias, descrito anteriormente. O Gráfico 7 apresenta as resistências das 2 amostras de cada traço estudado e o Gráfico 8 mostra os valores

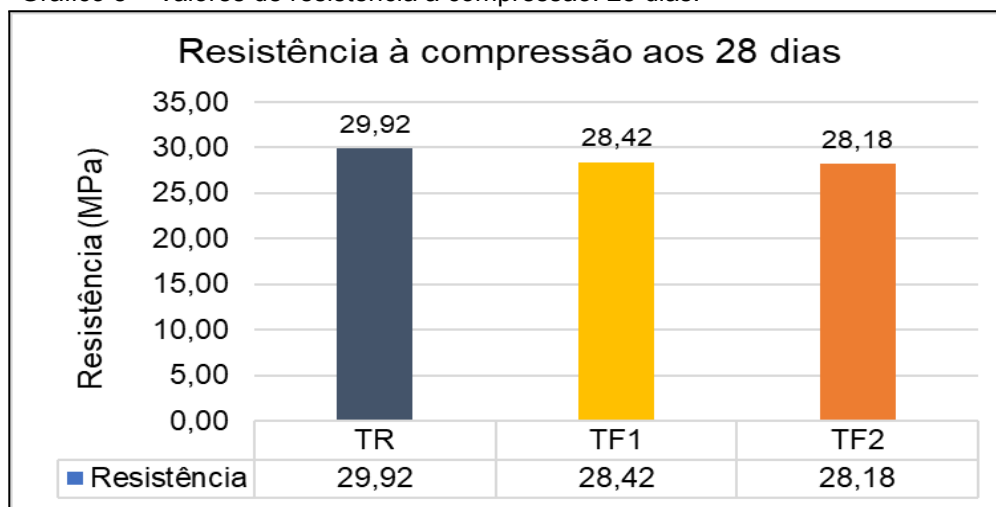
considerados como a resistência à compressão aos 28 dias, no caso, o maior valor entre o par.

Gráfico 7 – Comparativo entre os CP'S: Resistência à compressão aos 28 dias.



Fonte: Autor (2022).

Gráfico 8 – Valores de resistência à compressão: 28 dias.



Fonte: Autor (2022).

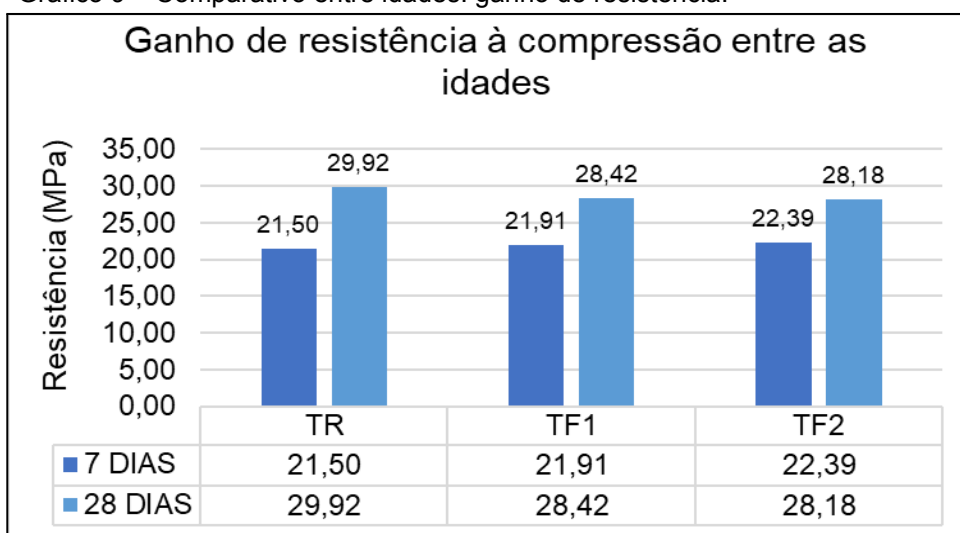
Aos 28 dias de idade, diferentemente do ensaio aos 7 dias, o TR obteve o maior resultado na resistência à compressão. Isso mostra que os TF's não obtiveram ganhos de resistência quando se comparado ao TR. Essa redução de resistência girou em torno de 5% para o TF1 e 6% para o TF2.

Para Bonifácio e Godinho (2014) em uma pesquisa comparativa entre o CRF e o concreto convencional, verificou-se que o concreto com a adição de fibras de vidro teve uma queda na resistência à compressão axial em relação ao traço sem fibra. Essa redução, em percentual, girou em torno de 9,7%.

Já para Leite (2018), que utilizou a macrofibra sintética como reforço do concreto, os resultados foram superiores em relação ao concreto referência. O autor utilizou teores de fibras diferentes, sendo considerado como alta e baixa concentração (kg/m^3). Os ganhos de resistência, em percentual, giraram em torno de 11,9% para a amostra com baixa concentração de fibras e 5,8% para a amostra com alta concentração de fibras.

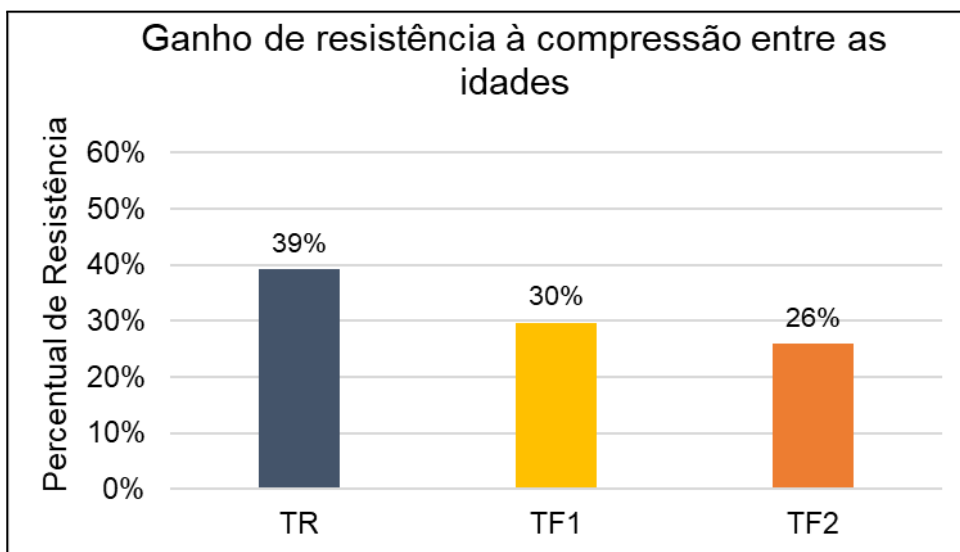
Silva *et al.* (2015) afirma em seus estudos que a presença das fibras no concreto pode reduzir a relação água/cimento. Essa redução se faz por conta da alta absorção de água pelas fibras nas primeiras idades do concreto. Porém, essas mesmas fibras podem colaborar para as reações de hidratação do cimento, podendo afetar nos ganhos de resistência entre idades. Para o comparativo entre idades (7 e 28 dias) o Gráfico 9 apresenta essas variações na resistência e o Gráfico 10 esses ganhos em percentuais.

Gráfico 9 – Comparativo entre idades: ganho de resistência.



Fonte: Autor (2022).

Gráfico 10 – Ganhos de resistência entre idades: percentual.



Fonte: Autor (2022).

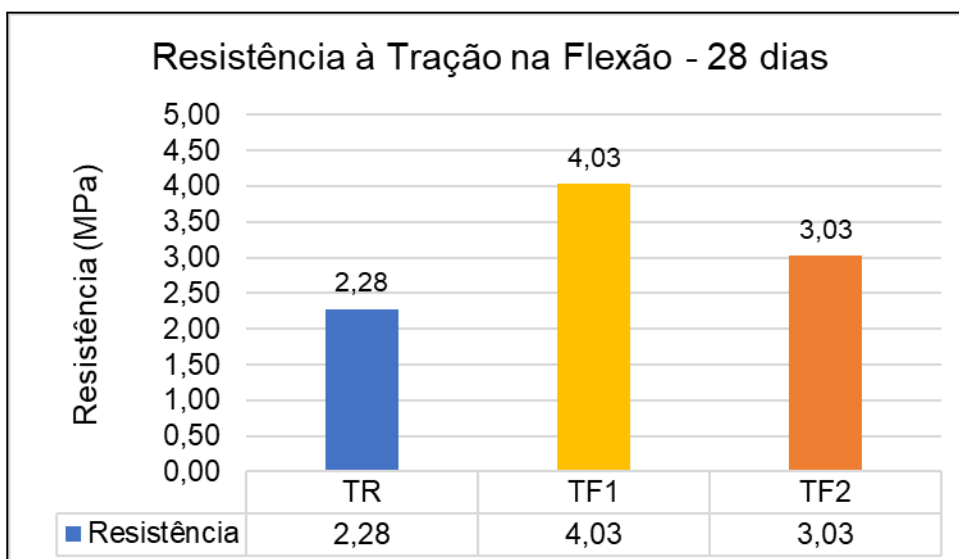
Os resultados mostram que o TR teve o maior percentual de ganho de resistência entre idades (39%). Já os TF's tiveram os menores ganhos de resistência entre idades. Vale ressaltar que o TF2, traço com maior teor de fibras no concreto, teve o menor ganho de resistência entre idade em comparação aos outros traços.

4.1.2.3 Resistência à tração na flexão

Para esse ensaio foi usado apenas 1 corpo de prova do tipo prismático para cada traço estudado (TR, TF1 e TF2). A idade de ruptura desses CP's ocorreu apenas aos 28 dias. As amostras passaram pelo mesmo procedimento de cura úmida descrito anteriormente e retiradas do tanque 24 horas antes da ruptura (secagem ao ar livre) antes do rompimento na prensa hidráulica.

O Gráfico 11 apresenta os resultados de resistência à tração na flexão obtidos após o rompimento de 28 dias de cada traço.

Gráfico 11 – Resistência à tração na flexão: 28 dias.



Fonte: Autor (2022).

Os resultados mostram que os TF's são mais resistentes à tração do que o TR. Vale destacar o TF1, traço com menor teor de fibras em relação ao TF2, no qual obteve um grande destaque em seu desempenho.

Para Figueiredo (2011), o concreto convencional apresenta um comportamento marcadamente frágil e uma baixa capacidade de deformação antes da ruptura quando submetido a esforços de tração. A utilização das barras de aço e por último as fibras, surgiram para compensar essas limitações e fragilidades do concreto convencional.

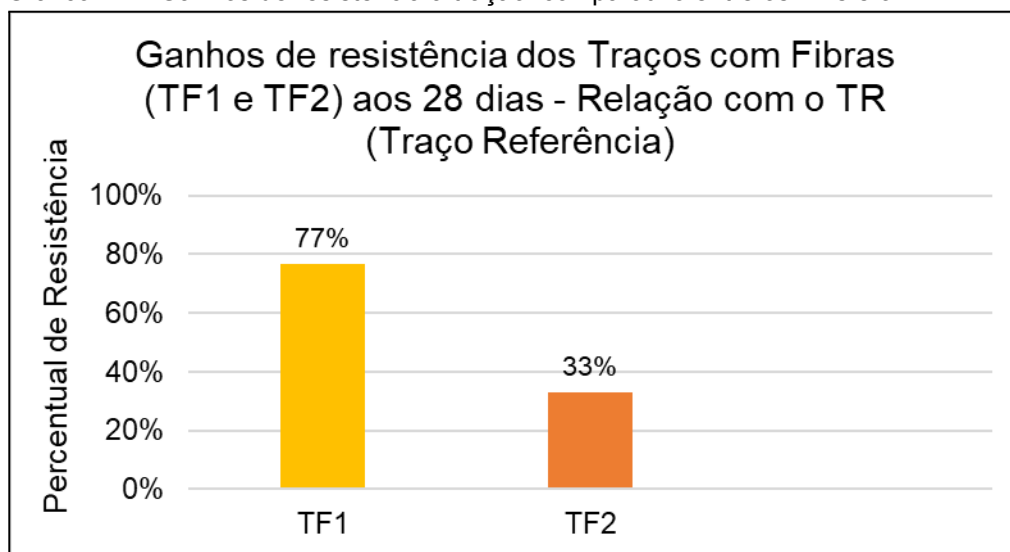
No DATec (Documento de Avaliação Técnica) desenvolvido pela empresa MRV Engenharia no Programa Casa Verde e Amarela, a utilização das macrofibras de vidro (6k/m^3) no sistema construtivo paredes de concreto obtiveram resultados de resistência à tração em torno de 4,20 Mpa (DATEC, 2020).

É importante frisar que o TF1 da pesquisa teve um resultado bem próximo (4,03 Mpa) ao resultado do concreto utilizado na MRV Engenharia (4,20 Mpa). Vale destacar também que o nível de exigência desse DATec em relação a essa pesquisa é bem superior, visto que esse tipo de construção é de nível profissional e totalmente regulamentado em sua atuação.

Bonifácio e Godinho (2014), no estudo comparativo entre o CRF e o concreto convencional, apresentou em seus resultados que o reforço com a fibra de vidro teve um ganho de resistência à tração de 6,1%. O concreto sem fibra resistiu 4,9 Mpa e o concreto com fibra de vidro resistiu 5,2 Mpa.

Esses resultados apontam que a utilização das macrofibras fibras de vidro no concreto obteve um grande desempenho em relação ao traço sem fibras. Essa diferença de valores dos ganhos em resistência à tração na flexão pode ser evidenciada no Gráfico 12, no qual apresenta essa diferença de valores em percentual do TF1 e TF2 em relação ao TR.

Gráfico 12 – Ganhos de resistência à tração: comparativo entre os TF's e o Tr.



Fonte: Autor (2022).

4.2 Considerações finais

Esse tópico abordará os principais dados coletados na pesquisa e será apresentado as considerações com maior relevância sobre esses resultados.

Após a realização dos ensaios foi possível observar que as macrofibras de vidro tiveram propriedades mecânicas importantes para serem utilizadas como reforço da matriz do concreto.

No estado fresco, através do ensaio de slump test, foi possível observar que ao utilizar fibras na dosagem, ocorreu uma redução no abatimento da amostra. O teor de fibras (kg/m^3) utilizado, foi outro importante fator a ser analisado, visto que a maior concentração dessas fibras também resultou na maior perda de abatimento do concreto.

Além disso, devido essa perda de abatimento com a utilização das fibras, é de suma importância a validação do traço para a aplicação dessas fibras como reforço de concreto. Com a trabalhabilidade afetada, é relevante utilizar meios para que esse abatimento não seja atingido de forma tão significativa. O ajuste no teor de

argamassa, devido a esse travamento do traço, é outro fator importante para essa adequação do traço.

Para o ensaio de resistência a compressão axial, os resultados não foram os mais esperados. Para a ruptura dos corpos de prova cilíndricos aos 7 dias, os traços com fibras obtiveram os melhores resultados. Já para o rompimento com a idade de 28 dias, o traço sem a utilização das fibras se sobressaiu sobre os traços com fibras, ou seja, obteve uma maior resistência. Apesar de uma diferença pouco significativa, em torno de 5 à 6%, o TR se mostrou mais eficaz. Dentre as possíveis variáveis que podem ter influenciado nesse resultado negativo podemos citar que esses CP's não foram retificados da maneira correta, ou seja, não garantiu uma seção plana utilizável das amostras para esse ensaio. O mínimo desnivelamento na cabeça desses corpos de prova pode ter interferido nesses resultados.

Já no ensaio de tração na flexão, pode-se considerar que a utilização das macrofibras de vidro obteve um ótimo desempenho. Essa capacidade de aumentar a resistência a esse tipo de esforço é bastante considerável e relevante, visto que, segundo a literatura, as fibras estão ganhando cada vez mais visibilidade e utilidade no mercado da construção civil.

É importante frisar que o traço que teve o menor teor de fibras foi o que mais resistiu aos esforços de tração na flexão. Em tese, o intuito de aumentar o teor de fibras em outro traço nessa pesquisa, foi justamente para essa amostra obter possivelmente uma maior resistência. Por esse motivo, o ideal seria aumentar em outra pesquisa a quantidade de corpos de prova do tipo prismático a fim de verificar se os resultados encontrados se repetem em um maior número de amostras.

O pós fissuração dos corpos de prova com fibras também obteve destaque. No ensaio de compressão axial, os CP's fibrosos não romperam de forma generalizada nas regiões mais extremas dos cilindros. Já no ensaio de tração na flexão, os resultados apontam que a utilização das fibras ajudou a dissipar as tensões ao longo das fissuras no estado endurecido e assim gerar uma resistência ao cisalhamento devido ao fator de tenacidade das fibras, ou seja, sem a ruptura brusca da seção, como verificou Polidoro (2021).

Diante de todas essas análises, pode-se concluir nessa pesquisa que as macrofibras de vidro podem favorecer algumas propriedades importantes do concreto, principalmente em elementos sujeitos a esforços de tração na flexão.

Porém, não se pode afirmar com esse trabalho algo sobre durabilidade, visto que até o presente momento poucos estudos foram apresentados sobre essa fibra.

Do ponto de vista estrutural, essa alta resistência aos esforços de tração, tendenciam a utilização dessas fibras como reforço de matriz de concreto. Com isso, se torna necessário estudos mais aprofundados para o desenvolvimento desse material como solução técnica. Além desse aspecto, é importante destacar que as fibras podem substituir grande parte do aço nas estruturas de concreto armado, como diz a literatura. Sendo assim, devido ao grande aumento do preço do aço, as fibras também podem apresentar uma possibilidade de alternativa para a viabilização financeira/econômica dentro da construção civil.

5 CONCLUSÕES

Os ensaios realizados com as macrofibras de vidro mostraram que esse tipo de fibra pode proporcionar alterações nas propriedades mecânicas do concreto, tanto em estado fresco como em seu estado endurecido. Além disso, essa pesquisa mostrou que o teor de fibras utilizado em um traço influencia diretamente na forma com que essas fibras possam atuar como reforço do concreto, principalmente aos esforços de tração na flexão.

O objetivo geral do trabalho foi alcançado. Através dos ensaios realizados em laboratório foi possível analisar as propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido, que foram influenciadas pela utilização das macrofibras de vidro no concreto. Ademais, também foi possível averiguar as alterações provocadas nas características do concreto pela alteração do teor de fibras na dosagem.

Quanto aos objetivos específicos:

a) Através do ensaio no estado fresco, o slump test, foi possível verificar as diferenças de abatimentos das amostras entre o concreto convencional e o concreto reforçado com macrofibras de vidro. Além dessa análise, foi averiguado também o comportamento do CRF com os diferentes teores de fibras utilizado nas amostras desse ensaio.

b) Através do ensaio no estado endurecido, foi possível verificar a resistência à compressão das amostras e realizar os devidos comparativos entre o concreto convencional e o concreto com macrofibras de vidro. Além dessa análise, foi averiguado também o comportamento do CRF com os diferentes teores de fibras utilizado nas amostras.

c) Através do ensaio no estado endurecido, foi possível verificar a resistência à tração na flexão das amostras e realizar os devidos comparativos entre o concreto convencional e o concreto com macrofibras de vidro. Além dessa análise, foi averiguado também o comportamento do CRF com os diferentes teores de fibras utilizado nas amostras.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros podem ser propostos os seguintes estudos:

- a) Realizar um estudo semelhante utilizando as fibras sintéticas, como a fibra de polipropileno.
- b) Realizar um estudo semelhante utilizando as fibras metálicas, como a fibra de aço.
- c) Realizar um estudo direcionado a verificação do pós-fissuração do concreto sem fibras com o concreto com fibras.
- d) Realizar um estudo de viabilidade econômica, no caso, substituindo o aço das estruturas pelas macrofibras.
- e) Realizar um estudo de viabilidade econômica no sistema construtivo paredes de concreto, no caso, substituindo as telas de aço das paredes pelas macrofibras de vidro.
- f) Realizar um estudo de viabilidade econômica em fundações do tipo radier, no caso, substituindo os vergalhões de aço pelas macrofibras de polipropileno.

REFERÊNCIAS

- ABRAIN.org.br. **Uso de novas tecnologias na construção eleva produtividade e ajuda a reduzir o déficit habitacional.** Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias, 7 jun. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ARAÚJO, C. T. F. **Estudo do Comportamento de Juntas de Argamassa Reforçadas com Fibras de Polipropileno.** 94p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.
- _____. **NBR 16697: Cimento Portland** – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- _____. **NBR 16935: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras** – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- _____. **NBR 16938: Concreto reforçado com fibras** – Controle de qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- _____. **NBR 16939: Concreto reforçado com fibras – Determinação das resistências à fissuração e residuais à tração por duplo puncionamento** – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- _____. **NBR 16940: Concreto reforçado com fibras – Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais)** – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- _____. **NBR 16941: Fibras de vidro álcali-resistentes (AR) para concreto e argamassa** – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- _____. **NBR 16942: Fibras poliméricas para concreto** – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- _____. **NBR 7211: Agregados para Concreto** – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado.** 2019. 89f. (Disciplina: 2117 – Estruturas de concreto I) – Universidade Estadual Paulista, 2019.
- BENTUR, Arnon; MINDESS, Sidney. **Fibre Reinforced Cement Composites.** Capter 3. Reino Unido: IntechOpen, 2018.
- BONAKDAR, Amir; MAHONEY, Mike. **Guia de Engenharia para Concreto Reforçado com Fibras.** Cleveland: Euclid Group, 201- 61f.
- BONIFÁCIO, Jéssica; GODINHO, Daiane. **Estudo do efeito das fibras de vidro e polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto.** UNESC -2014/02.

CARNIO, M. A. Aspectos Gerais sobre o uso do Concreto Reforçado com fibras no Brasil: produção, projeto, tecnologia e normalização. **Revista Concreto & Construções** do IBRACON. São Paulo, ed 87, p 26-32, jul-set 2017.

DAKUZAKU, R; RIVERA, A, F. Práticas para qualificação de macrofibra no concreto. **Revista Concreto & Construções** do IBRACON. São Paulo, ed 87, p 63-71, jul-set 2017.

DATEC, Nº 035-A. **Paredes moldadas no local de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro - CRFV**. Documento de Avaliação Técnica; 2021.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 247f. Dissertação (Título de livre docente) – Universidade de São Paulo, 2011.

FIGUEIREDO, A. D; ALFERES FILHO, R.S. Os desafios da avaliação da trabalhabilidade do concreto com fibras. **Revista Concreto & Construções** do IBRACON. São Paulo, ed 87, p 86-90, jul-set 2017.

GOES, Caroline Marção Wolf de; Fontanini, Patrícia Stella Pucharelli; PIMENTEL, Lia Lorena; JACINTHO, Ana Elisabete Paganelli G. de Avila. Análise da aplicação de concreto com adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro ANTI-CRACK AR em pisos. **REEC – Revista eletrônica de engenharia civil**, Goiás, v.12, nº1, p. 40-53, jun – dez, 2016.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. v2. São Paulo: IBRACON, 2005.

LEITE, Alex Macêdo. **Avaliação do uso da macrofibra polimérica na composição de concreto para fins estruturais**. 2018. 257f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade de São Paulo, 2018.

LUCENA, J. da Fonseca; OLIVEIRA, F. Ribeiro; SILVA, K. Kelly da. Estudo das propriedades mecânicas de fibras têxteis para posterior aplicação como reforço em estruturas de concreto. In: **4º Congresso Científico Têxtil e Moda**, Contexmod, Santa Catarina, 2016.

MEHTA, P. Kumas; MONTEIRO, Paulo. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3ª Edição. São Paulo: IBRACON, 2008.

MOLIN, Denise Carpena Coitinho Dal. **Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. 1988. 220f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Construção Civil) – Escola de engenharia, Universidade federal do Rio Grande do Sul, 1988.

NAKAMURA, Juliana. Aditivos e adições. **Revista Técnica**, São Paulo, ed.150, p. 1-9, set, 2009.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 5ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PARIZOTTO, Liana. **Concreto armado**. Porto Alegre: SAGAH, 2017.

RIBEIRO JUNIOR, Enio. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. **IPOG – Revista Especialize On-line**, Goiânia, v.01, nº10, dez, 2015.

SARZALEJO, A. G, *et al.* **Manual Técnico: Fibras como elemento estrutural para reforço de concreto**. São Paulo: Maccaferri, 2014. 238f.

SAVASTANO JUNIOR, Holmer. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: Reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. 144f. Tese (Concurso de livre-docência em engenharia Civil) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

SANTOMAURO, Antonio C., 2018. Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/aditivos-para-concreto-quimica-ajuda-a-construir-estruturas-mais-resistentes-com-maior-rapidez/3/>>. Acesso em 23 abril 2021.

SILVA, Everton; MARQUES, Maria Lidiane; FORNARI JUNIOR, Celso; VELASCO, Fermin. Análise técnica para o reaproveitamento da fibra de coco na construção civil. **Ambiência – Revista do setor de ciências agrárias e ambientais**, Guarapuara, v.11, n3, p.669-683, Set-Dez, 2015.

TEATINI, João Carlos. **Estruturas de concreto**: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 3ª Edição. Rio de Janeiro: ElseVier, 2016.

VAZ, V. V; CARNIO, M. A. Projetos de bases de equipamentos industriais em concreto reforçado com fibras. **Revista Concreto & Construções** do IBRACON. São Paulo, ed 87, p 72-77, jul-set 2017.

WEIDMANN, Denis Fernandes. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 2008. 295f. Dissertação (Pós-Graduação em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.