



**CENTRO UNIVERSITÁRIO REGIONAL DA BAHIA
BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL**

MAICON SOUZA DA SILVA

CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA

Salvador
2023

MAICON SOUZA DA SILVA

CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Regional da
Bahia, como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Msc. Renner

Salvador
2023

CENTRO UNIVERSITÁRIO – UNIRB

Silva, Maicon Souza

Concreto com adição de Fibras: Revisão de literatura / Maicon Souza da Silva. – Salvador – BA, 2023.
50f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia Civil)
Centro Universitário Regional da Bahia – UNIRB, Campus Salvador – BA,
2023.

Orientador: Prof. Me Reiner Requião de Souza

1.Concreto com adição de Fibras. 2.Compósitos poliméricos. I.Título.
CDD:620

TERMO DE ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Declaro para os devidos fins de direito que fizereis necessários, que assumo a absoluta responsabilidade pelo conteúdo apresentado neste Trabalho de Conclusão de Curso, isentando a UNIRB, a Banca Examinadora e o Orientador de toda e qualquer representação a monografia.

Estou informando que posso responder administrativa, civil e penalmente em caso de plágio confirmado do trabalho apresentada para correção.

Salvador/ BA , ____ de _____ de 2023.

Maicon Souza da Silva

MAICON SOUZA DA SILVA

CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Regional da Bahia, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Msc. Renner

Examinador:

Examinador:

Salvador
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus ao meu Senhor Jesus pela minha vida, e por estar do meu lado em todos os momentos me ajudando a superar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

Agradeço, imensamente a minha mãe Ivonice por cada oração e por segurar as minhas mãos quando mais precisei de alguém, sendo meu combustível para não desistir dos meus sonhos.

Ao meu irmão Thiago por todo o incentivo, a minha irmã Ivana, ao meu pai Manoel e toda a minha família.

A todos os meus amigos por me ajudarem na compreensão e na realização deste trabalho, e todos aqueles que compreenderam a minha ausência durante este tempo.

A toda equipe da empresa a qual eu trabalho que foi de onde surgiu a ideia do tema desta pesquisa ao coordenador Renner, e aos professores pelos ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Para todo que citei, vocês fazem parte dessa vitória na minha vida.

RESUMO

O concreto é fraco em tensão e tem um caráter frágil, com isso o conceito de usar fibras para melhorar as características dos materiais de construção é muito antigo. O concreto consiste em um material compósito com propriedades típicas de materiais cerâmicos como por exemplo a fragilidade. Sua composição básica apresenta uma matriz cimentícia, formado por cimento e água, que envolve os agregados graúdos e miúdos, possui uma resistência à compressão, adequada para o uso na construção civil. No entanto, possui baixos valores para a resistência a tração, o que leva a necessidade de reforçar o material para esse tipo de esforço.

Aplicações iniciais incluem adição de palha a tijolos de barro, crina de cavalo para reforçar gesso e amianto para reforçar a cerâmica. O uso de armadura contínua em concreto (concreto armado) aumenta a resistência e a ductilidade, mas requer colocação e mão de obra cuidadosa e habilidade. Alternativamente, a introdução de fibras de forma discreta em concreto simples ou armado pode ser uma solução melhor. A adição de fibras ao concreto torna um material homogêneo e isotrópico, quando o concreto fissa, aleatoriamente as fibras orientadas começam a funcionar, interrompem a formação e propagação de trincas e, assim, melhoram a resistência e a ductilidade. Com isso, o presente trabalho tem como principal objetivo investigar a influência das fibras poliméricas quando adicionadas ao concreto, para tanto, a investigação tem como base artigos científicos de livre acesso publicados em base de dados gratuitas, além de livros. Diante do estudo realizado, é possível compreender que, adição de fibra aumenta a durabilidade geral do concreto, ajudando a diminuir os níveis de corrosão, danos por cavitação e tem um nível mais alto de resistência à tração quando comparado ao concreto não armado, assim como um concreto reforçado com fibras tem menos probabilidade de ser danificado por altas tensões de tração.

Palavras-Chave: Poliméricos. Concreto Polimérico. Compósitos Poliméricos.

ABSTRACT

Concrete is weak in tension and has a brittle character, so the concept of using fibers to improve the characteristics of building materials is very old. Concrete consists of a composite material with properties typical of ceramic materials, such as brittleness. Its basic composition presents a cementitious matrix, formed by cement and water, which involves the coarse and fine aggregates, it has a resistance to compression, suitable for use in civil construction. However, it has low values for tensile strength, which leads to the need to reinforce the material for this type of effort.

Early applications include adding straw to clay bricks, horsehair to reinforcing plaster, and asbestos to reinforcing pottery. The use of continuous reinforcement in concrete (reinforced concrete) increases strength and ductility, but requires careful placement and workmanship and skill. Alternatively, discreetly introducing fibers into plain or reinforced concrete may be a better solution. The addition of fibers to concrete makes a homogeneous and isotropic material, when the concrete cracks, randomly oriented fibers start working, interrupting the formation and propagation of cracks and thus improving strength and ductility. With this, the present work has as main objective to investigate the influence of polymeric fibers when added to concrete, for that, the investigation is based on open access scientific articles published in free databases, in addition to books. In view of the study carried out, it is possible to understand that the addition of fiber increases the overall durability of concrete, helping to reduce the levels of corrosion, cavitation damage and has a higher level of tensile strength when compared to non-reinforced concrete, as well as fiber-reinforced concrete is less likely to be damaged by high tensile stresses.

Keywords: Polymeric. Polymeric Concrete. Polymeric Composites

LISTA DE ABREVIÇÃO

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AR	Álcali-Resistente
NBR	Norma Técnica Brasileira
PRF	Poliméricos Reforçados com Fibra
PRFC	Poliméricos Reforçados com Fibra de Carbono
RFC	Reforço de Fibra de Concreto
PP	Polipropileno

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Concreto Reforçado.....	21
Figura 2: Fibra de Celulose.....	23
Figura 3: Fibras Naturais.....	23
Figura 4: Fibra de Carbono.....	24
Figura 5: Fibra de Poliéster.....	25
Figura 6: Fibra de Vidro	25
Figura 7: Fibra de Polipropileno.....	26
Figura 8: Fibra de Aço.....	27
Figura 9: Malha de Filamentos.....	30
Figura 10: Tensão Rotacional.....	30
Figura 11: Grau de Distribuição	31

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	FIBRAS POLIMÉRICAS.....	15
2.1.1	Compósitos de Polímeros	19
2.1.2	Medições de propriedade mecânica.....	20
2.1.2.1	Alongamento.....	20
2.1.2.2	Módulo	20
2.2	CONCRETO REFORÇADO.....	21
2.2.1	Tipos de concreto.....	22
2.2.2	Normas sobre fibras de aço, vidro e poliméricas	27
2.2.2.1	NBR 15530	27
2.2.2.2	NBR 16941	28
2.2.2.3	NBR 16942	29
2.3	FIBRA DE POLIPROPILENO FIBRILADA.....	29
2.3.1	Estrutura Líquida de Filme de Polipropileno	31
2.3.2	Princípios de aplicação para reforço de fibra plástica.....	32
3	VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS PRINCIPAIS FIBRAS	35
3.1	FIBRAS DE POLIPROPILENO	35
3.2	FIBRAS DE AÇO	36
3.3	FIBRAS DE VIDRO.....	37
3.4	FIBRAS DE CARBONO	37
4	METODOLOGIA.....	38
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	40

5.1	REVESTIMENTO ASFÁLTICO COMPOSTO POR LIGANTE POLIMÉRICO....	40
5.2	COMPOSTO POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL.....	41
5.3	ADIÇÃO DE PRFC E MICROFIBRAS ESTRUTURAIS AO CONCRETO.....	41
5.4	COMPORTAMENTO TÉRMICO DE COMPÓSITO DE POLIESTIRENO.....	42
5.5	CARACTERÍSTICAS DOS COMPÓSITOS ADICIONADOS POR FIBRA	42
6.	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas na área dos concretos em busca de materiais com desempenhos superiores com relação ao comportamento mecânico e à durabilidade (DOMINGUINI, 2015).

O concreto consiste em um material compósito com propriedades típicas de materiais cerâmicos como por exemplo a fragilidade. Sua composição básica apresenta uma matriz cimentícia, formado por cimento e água, que envolve os agregados graúdos e miúdos, possui uma resistência à compressão, adequada para o uso na construção civil. No entanto, possui baixos valores para a resistência a tração, o que leva a necessidade de reforçar o material para esse tipo de esforço.

A utilização de fibras como adição no concreto tem como principal objetivo reduzir o surgimento de fissuras e diminuir suas aberturas. Esse tipo de reforço ganhou muito interesse na indústria da construção e por parte de pesquisadores a partir da década de 60 (CANEVAROLO, 2003).

A atuação das fibras poliméricas e o seu comportamento no concreto tem sido alvo dos pesquisadores tendo em vista a eficiência do concreto sobre múltiplos aspectos. A influência das fibras poliméricas no comportamento do concreto foi analisada e estudada por diversos pesquisadores sobre diferentes aspectos.

A ideia básica de construir com as fibras, é usar o melhor da construção em concreto, ou seja, cimento, vergalhões, protensão, conformabilidade múltipla, e construção em aço, com componentes leves, finos, pré-fabricados e métodos de construção rápidos, para serem combinados da melhor maneira possível (GAZONI, 2022).

A adição de fibras de polipropileno melhora significativamente propriedades mecânicas do concreto, entre elas resistência à tração, tenacidade e resistência à abrasão. A resistência à compressão apresenta pouca ou nenhuma variação com adição de fibras poliméricas (CANEVAROLO, 2003).

O material constituinte da fibra irá definir o módulo de elasticidade e a resistência mecânica da mesma, as quais são duas das propriedades que mais influenciam a capacidade de reforço que a fibra pode proporcionar ao concreto. As fibras que possuem módulo de elasticidade inferior ao do concreto endurecido, como as poliméricas, são chamadas de fibras de baixo módulo. Já as fibras que possuem módulo de elasticidade superior ao do concreto são conhecidas como

fibras de alto módulo, como é o caso das fibras de aço e de carbono.

A presente revisão teve como motivação o aumento gradual na frequência com que empresas de todo o mundo tem lidado com materiais reforçados com fibra. O cimento de amianto é provavelmente o material mais conhecido entre esses produtos, a indústria de concreto também tem procurado por décadas reforços de fibra específicos para aplicações e que melhorem o material.

Em ensaios que duraram vários anos com uma ampla variedade de fibras desenvolveu-se o sistema Forta-Ferro, um reforço de fibra de polipropileno em uma estrutura de rede. Este sistema de reforço de fibra acomoda uma ampla variedade de agregados e sistemas de mistura, é fácil de implantar e traz benefícios para a indústria de concreto.

Para tanto, a revisão tem como propósito compreender sobre os efeitos das fibras poliméricas ao serem adicionadas ao concreto e como essa mistura pode ajudar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FIBRAS POLIMÉRICAS

Conforme Figueiredo (2011), o concreto, material bastante utilizado em todo o mundo, tem sido assunto de pesquisas contínuas no ramo da construção. Em parte, isso ocorre em decorrência ao fato desse compósito apresentar certas limitações, como a baixa capacidade de deformação e a rápida propagação de fissuras quando submetido a esforços de tração.

Para Nunes (2006), a incorporação de fibras em misturas cimentícias promove uma melhora significativa em diversas propriedades mecânicas, ressaltando para a tenacidade à flexão e a resistência à fadiga e ao impacto. A principal finalidade é aumentar a capacidade de absorção de energia, pois atuam como ponte de transferência de tensões através das fissuras, reduzindo sua propagação e expansão.

Segundo Kim *et al.* (2008), além disso, concreto reforçado com fibras apresenta maior ductilidade no que diz respeito às matrizes não reforçadas, que se tornam deficientes após a formação de primeira fissura.

Para Machado *et al.* (2015), a utilização de fibras como adição no concreto tem como principal objetivo diminuir o surgimento de fissuras e diminuir suas aberturas. Esse tipo de reforço ganhou muito interesse na indústria da construção e por parte de pesquisadores a partir da década de 60.

Ainda de acordo com Machado *et al.* (2015), diversos tipos de fibras são utilizadas como reforço de concreto, sendo as principais, fibras de aço, fibras poliméricas e fibras naturais. Recentemente diversos estudos sobre a influência das fibras de aço no comportamento concreto foram publicados.

Conforme Aslani e Samali (2014), a influência das fibras poliméricas no comportamento do concreto foi analisada e estudada por diversos pesquisadores sobre diferentes aspectos. A adição de fibras de polipropileno melhora significativamente propriedades mecânicas do concreto, entre elas resistência à tração, tenacidade e resistência à abrasão (IZAGUIRRE, *et al.* 2010).

A resistência à compressão apresenta pouca ou nenhuma variação com adição de fibras poliméricas. O módulo de elasticidade do concreto também mostra não apresenta variação significativa com adição de fibras (BARRERA, *et al.* 2011)

Para Davies (2011), o polietileno de alto módulo, conhecido também pela sigla HMPE, oriunda da nomenclatura em inglês high modulus polyethylene, é um dos principais materiais na confecção de cabos submarinos para serviços de ancoragem. Até a data de publicação deste trabalho não foram encontradas estudos a respeito da utilização das fibras de HMPE como adição ao concreto. Está incluso no escopo deste trabalho, avaliar os resultados obtidos para o concreto reforçado com fibras de HMPE, e comparar esses resultados com os obtidos para o concreto com fibras de polipropileno para o concreto sem adição de fibras.

Conforme João Neto (2018), uma das diferenças entre concreto comum e compósito cimentício projetado está na presença de agregados graúdos. Os agregados graúdos não são utilizados nos ECCs, o que também colabora para que os materiais apresentem comportamento mecânico distintos. Devido a isso, a utilização das fibras em compósitos cimentícios (concretos) confeccionados com agregados graúdos torna a análise da real influência isolada das fibras na matriz mais complexa.

Assim sendo, diferentes tipos de fibras podem ser utilizados como material de reforço em uma matriz cimentícia, cada grupo com as suas especificidades e vantagens tecnológicas.

Segundo Afroughsabet *et al.* (2016), a contribuição mais significativa das fibras é a capacidade distribuir as tensões internas no concreto endurecido que causam a formação de microfissuras, e com isso, retardar a propagação da fissura.

Em consonância ao que foi relatado até agora, apesar dos grandes avanços obtidos com o emprego das fibras de aço em matrizes cimentícias, as pesquisas com fibras poliméricas vêm aumentando e diversas aplicações vem ganhando cada vez mais efetividade, podendo em alguns casos apresentar certas vantagens tecnológicas sobre as fibras de aço como por exemplo melhor relação de rigidez versus peso da estrutura, maior resistência à corrosão, fadiga, impactos, incêndios e melhor trabalhabilidade (HSIE, 2008).

Para Mukhopadhyay e Khatana (2015), outro ponto relevante que merece destaque refere-se à sustentabilidade que cada vez mais é um tema de preocupação em todos os setores, atualmente sendo um dos maiores desafios para o setor de construção. A melhor maneira de se conseguir isso é usando materiais sustentáveis visando sempre aproveitar as suas melhores propriedades. Materiais cimentícios comuns que não são reforçados têm baixa resistência à tração, tenacidade à fratura

e resistência à tração que pode ser consideravelmente melhorada pela adição de fibras. As principais propriedades que podem ser aprimoradas com a inclusão dessas fibras são a resistência à tração, resistência à flexão, tenacidade à fratura, resistência à fadiga, ao impacto e ao choque térmico.

De acordo com Said e Razak (2015), a densidade específica das fibras de polímero é cerca de seis ou sete vezes menor que a das fibras de aço. Ainda conforme os autores, as fibras de polímero possuem um custo significativamente menor quando comparadas às fibras de aço convencionais, e os autores relatam que a adição de fibras de polímero são notoriamente conhecidas por melhorar a resistência mecânica do compósito devido à capacidade das fibras de reforçarem a matriz do compósito cimentício.

Ainda conforme Said e Razak (2015), além disso, as fibras de polímero são vantajosas na diminuição da perda de resistência do material cimentício exposto a temperatura elevada. Isso se deve principalmente ao derretimento das fibras quando expostas a temperaturas acima de seu ponto de fusão, que subsequentemente induzem vazios e atuam como um canal na liberação da pressão dentro do compósito.

Para João Neto (2018), a utilização de fibras poliméricas é favorecida pela sofisticação tecnológica da indústria de fibras sintéticas, que disponibiliza uma ampla gama de fibras de módulos de tensão muito baixos a extremamente elevados. Seu emprego está relacionado a uma necessidade importante do FRC, a durabilidade, que é muito importante, pois as construções de concreto são geralmente projetadas para durar várias décadas. Isso requer que os constituintes da FRC permaneçam quimicamente estáveis durante um longo período em condições de serviço. Os principais componentes do cimento Portland são silicatos e aluminatos de cálcio. Na presença de água, ocorrem reações de hidratação e hidrólise, resultando em uma solução fortemente alcalina (pH 10 a 12) de hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$. Algumas fibras (por exemplo, vidro) perdem a sua resistência gradualmente quando misturadas com cimento Portland. As fibras de nylon, polipropileno e polietileno são muito resistentes aos álcalis e não são verificadas degradação dessas fibras no cimento.

Conforme Mo *et al.* (2017), a proporção que as fibras de polímero possuem um custo significativamente menor do que as fibras de aço convencionais, o uso de fibras de polímero pode apresentar uma alternativa mais atraente em materiais de construção não estruturais, nos quais são dadas grande ênfase aos custos de produção envolvidos. Além disso, as fibras de polímero são vantajosas na redução da perda de resistência mecânica das matrizes cimentícias expostas a temperaturas elevadas. Isto ocorre principalmente devido à decomposição das fibras quando expostas à temperatura acima do seu ponto de fusão, gerando posteriormente vazios que atuam como canais de alívio de pressão dentro do compósito.

A polimerização de uma mistura de dois monômeros de reatividade adequada leva à formação de um copolímero, um polímero no qual os dois tipos de unidades monomérica bifuncional entraram na cadeia de maneira mais ou menos aleatória, se as cadeias de um homopolímero são quimicamente unidas às cadeias de outro, o produto é chamado de copolímero em bloco ou enxerto (CANEVAROLO, 2007).

Ainda conforme Canevarolo (2007), os polímeros isotáticos e sindiotáticos são formados na presença de catalisadores complexos, ou alterando as condições de polimerização, por exemplo, diminuindo a temperatura. Os grupos ligados à cadeia em um polímero estéreo regular estão em um arranjo espacialmente ordenado, as estruturas regulares das formas isotática e sindiotática as tornam muitas vezes capazes de cristalização. Os pontos de fusão cristalinos dos polímeros isotáticos são substancialmente mais altos do que os pontos de amolecimento do produto atático.

Os polímeros orientados espacialmente podem ser classificados em atáticos, sindiotáticos e isotáticos, por exemplo, supõe-se que os títulos fortemente marcados se projetam para cima do papel e os títulos pontilhados para baixo. Assim, em um polímero totalmente sindiotático, os carbonos assimétricos alternam em sua destro ou canhoto, enquanto em um polímero isotático os carbonos sucessivos têm a mesma configuração estérica (CANEVAROLO, 2007).

Segundo Barbosa (2011), entre os vários tipos de catálise de polimerização, a iniciação por radicais livres tem sido a mais estudada e a mais amplamente empregada. Polímeros atáticos são facilmente formados por polimerização de radicais livres, em temperaturas moderadas, de monômeros de vinil e dieno e alguns de seus derivados. Algumas polimerizações podem ser iniciadas por materiais, muitas vezes chamados de catalisadores iônicos, que contêm complexos ou sítios reativos altamente polares.

De acordo com Canevarolo (2017), o termo catalisador heterogêneo é frequentemente aplicável a esses materiais porque muitos dos sistemas de catalisadores são insolúveis em monômeros e outros solventes, estas polimerizações são normalmente realizadas em solução a partir da qual o polímero pode ser obtido por evaporação do solvente ou por precipitação por adição de um não solvente.

Para Mei e Oliveira (2017), uma característica distintiva dos catalisadores complexos é a capacidade de alguns representantes de cada tipo de iniciar a polimerização estéreo regular em temperaturas normais ou causar a formação de polímeros que podem ser cristalizados.

2.1.1 Compósitos de Polímeros

Os compósitos poliméricos são qualquer uma das combinações ou composições que compreendem dois ou mais materiais como fases separadas, pelo menos um dos quais é um polímero. Ao combinar um polímero com outro material, como vidro, carbono ou outro polímero, muitas vezes é possível obter combinações ou níveis de propriedades únicos.

Exemplos típicos de compósitos poliméricos sintéticos incluem resinas termoplásticas ou termo fixas reforçadas com fibra de vidro, carbono ou polímero, borracha reforçada com carbono, misturas de polímeros, resinas reforçadas com sílica ou mica e concreto ou madeira.

Para Canevarolo (2007) os compósitos poliméricos reforçados com fibra mais comuns são baseados em fibras de vidro, tecido, manta ou mecha incorporada em uma matriz de resina epóxi ou poliéster. Resinas termo fixas reforçadas contendo boro, poliaramidas e especialmente fibras de carbono conferem níveis especialmente altos de resistência e rigidez. Os compósitos de fibra de carbono têm uma rigidez relativa cinco vezes maior que a do aço.

Devido a essas excelentes propriedades, muitas aplicações são especialmente adequadas para compósitos de epóxi e poliéster, como componentes em novos aviões a jato, peças para automóveis, cascos de barcos, carcaças de motores de foguetes e vasos de reação química.

2.1.2 Medições de propriedade mecânica

2.1.2.1 Alongamento

O alongamento é um tipo de deformação, ou seja, uma deformação sendo simplesmente uma mudança na forma que qualquer coisa sofre sob estresse, quando se fala de tensão de tração, a amostra se deforma ao esticar, tornando-se mais longa, isso se chama alongamento. Normalmente, o alongamento percentual é apenas o comprimento da amostra de polímero após ser esticada (L), dividido pelo comprimento original da amostra (L_0) e depois multiplicado por 100 (DOMINGUINI, 2015).

Há uma série de coisas que são medidas e relacionadas ao alongamento, com isso, o mais importante depende do tipo de material que se está estudando. Tanto o alongamento final e o alongamento elástico, são medidas de extrema importância, sendo o alongamento final a quantidade que se pode esticar a amostra antes que ela se quebre (DOMINGUINI, 2015).

O alongamento elástico é o alongamento percentual que se pode alcançar sem deformar permanentemente a amostra, ou seja, quanto esticá-lo e ainda fazer com que a mesma volte ao seu comprimento original depois de liberar a tensão sobre ela, isso é importante no caso do material ser um elastômero.

Os elastômeros precisam ser capazes de se esticar por uma longa distância e ainda se recuperar, a maioria deles podem esticar de 500 a 1000% de alongamento e retornar ao seu comprimento original sem nenhum problema (SILVA *et al.* 2012).

2.1.2.2 Módulo

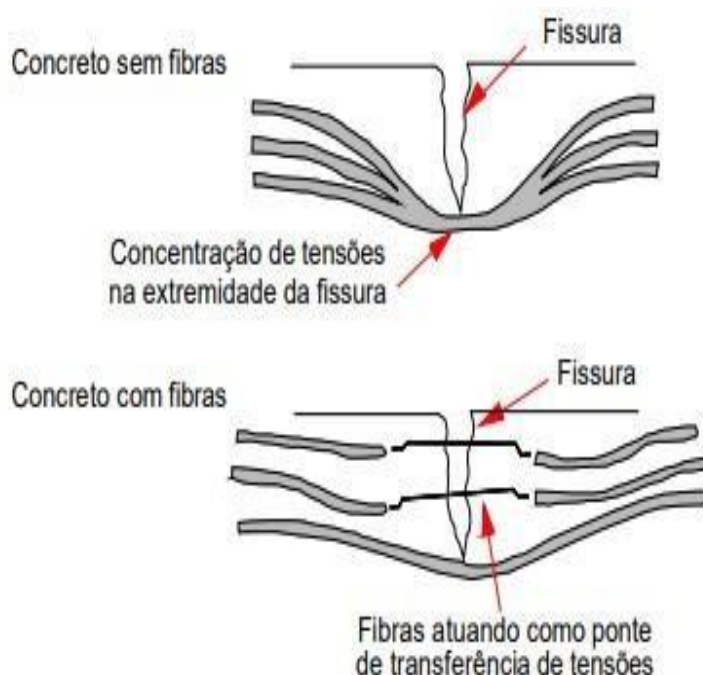
Nos elastômeros são necessários por mostrar o alto alongamento elástico, mas para alguns outros tipos de materiais, como plásticos, geralmente eles não se esticam ou se deformam tão facilmente. Para medir o módulo de tração, mede-se a tensão que se está exercendo no material, ou seja, primeiro aumenta lentamente a quantidade de tensão e, em seguida, mede-se o alongamento que a amostra sofre em cada nível de tensão, continua-se fazendo isso até a amostra quebrar (SILVA, 2021).

A deformação intrínseca é definida como a verdadeira resposta tensão de formação dos materiais durante a deformação homogênea. Como geralmente ocorrem fenômenos de localização de deformação (como *necking*, *shear banding*, *crazing* e *cracking*), a medição da resposta dos materiais intrínsecos requer uma configuração experimental especial, como um teste de tração controlado por vídeo ou um teste de compressão uniaxial (SILVA, 2021).

2.2 CONCRETO REFORÇADO

Para Silva (2012), o concreto é reforçado quando possui fibras adequadas na mistura para aumentar sua tenacidade e ductilidade. O concreto de fibra reforçada manterá sua integridade estrutural, pois é mantido unido por essas fibras quando uma fissura se desenvolve, diferentemente do concreto não armado, que tende a quebrar quando fratura e racha. A Figura 1, demonstra o concreto reforçado.

Figura 1 – Concreto Reforçado



Fonte: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/34905/34905_4.PDF

Suponha-se que uma empresa esteja querendo embarcar em um projeto de construção. Nesse caso, deve-se analisar as vantagens e desvantagens do uso do concreto reforçado com fibras e os diferentes tipos de fibras utilizadas.

Ainda conforme Silva (2012), há as vantagens do concreto reforçado com fibras, como: o fato do concreto reforçado com fibras possuir maior resistência à tração quando comparado ao concreto não armado, o aumenta a durabilidade do concreto, redução do crescimento de rachaduras e aumenta a resistência ao impacto, um concreto reforçado com fibras melhora a resistência contra congelamento e descongelamento e ao reforçar o concreto com fibra, aumenta a resistência à fadiga.

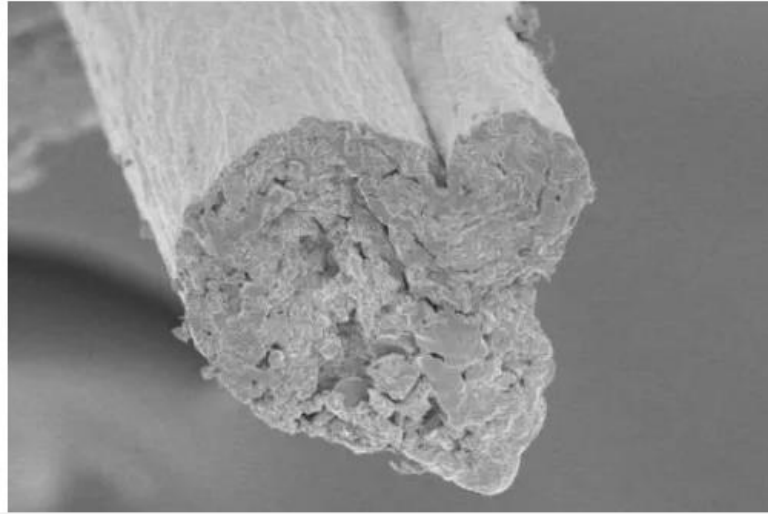
Os autores supracitado, assim como enxergam as vantagens, também discorrem sobre as desvantagens do concreto reforçado com fibras em dias de chuva pois as mesmas ficam expostas; como as fibras se orientam aleatoriamente no concreto, podem resultar em um concreto de baixa qualidade, se não uniforme; outro ponto a ser destacado é o fato do concreto armado ser de 10% a 15% mais caro que o concreto não armado.

2.2.1 Tipos de Concreto Reforçado

Segundo Canevarolo (2007), existem vários tipos de fibras utilizadas no concreto armado. Os tipos mais comuns são, fibras de celulose, naturais, carbono, de poliéster .

- **Fibras de Celulose** - são feitas com ésteres de celulose ou éteres obtidos de folhas de plantas, madeira, cascas de árvores ou outros materiais vegetais. As propriedades mecânicas dessas fibras podem ser alteradas pela introdução de lignina e hemicelulose em proporções variadas. As fibras de celulose são usadas principalmente na indústria têxtil como compósitos de reforço de fibras e filtros químicos. A Figura 2, demonstra fibra tipo celulose.

Figura 2 – Fibra de Celulose



Fonte: Borges, 2017.

- **Fibras Naturais** - é eficiente e econômico, e altamente recomendado, pois é fácil de obter localmente e prontamente disponível. As fibras naturais podem ser obtidas de uma fonte mineral, animais ou vegetais e processadas em tecido não-tecido. Tem-se utilizado fibra de crina de cavalo e palha têm sido usadas na fabricação de gesso e tijolos. A Figura 3, evidencia fibras naturais.

Figura 3 – Fibras Naturais



Fonte: Borges, 2017.

- **Fibras de Carbono** - é composto principalmente por átomos de carbono com um diâmetro de 5 micrômetros a 10 micrômetros. Há muitas vantagens em utilizar fibras de carbono, como:
 - Tem uma baixa expansão térmica;
 - Possui alta resistência química;
 - As fibras de carbono têm uma alta tolerância à temperatura; e
 - Eles são rígidos, de baixo peso e têm uma alta resistência à tração.

A Figura 4, demonstra fibras de carbono.

Figura 4 – Fibra de Carbono



Fonte: Azevedo, 2018.

- **Fibras de Poliéster** - as fibras de poliéster são a escolha preferida para armazéns e outros pisos industriais, pavimentos e produtos pré-fabricados. Macro e microfibras de poliéster são misturadas com concreto para garantir integridade estrutural, resistência e proteção contra trincas de retração plástica. A Figura 5, demonstra a fibra de poliéster.

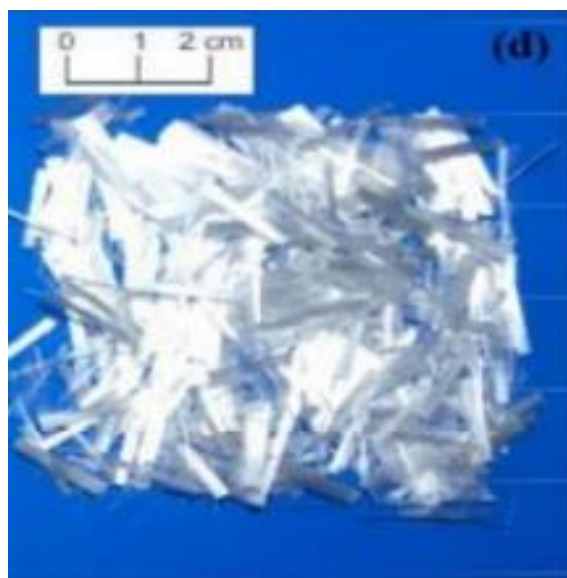
Figura 5 – Fibra de Poliéster



Fonte: Borges, 2017.

- **Fibras de Vidro** - a fibra de vidro compartilha muitas características e propriedades mecânicas com outras fibras, como fibra de carbono e polímero. Este tipo de fibra é menos quebradiço quando usado em compósitos, mas não tão rígido em comparação com a fibra de carbono. Como resultado, as fibras de vidro são usadas como agentes de reforço para muitos produtos poliméricos, um exemplo de plástico reforçado com fibra de vidro, também conhecido como fibrade vidro. A Figura 6, destaca fibra de vidro.

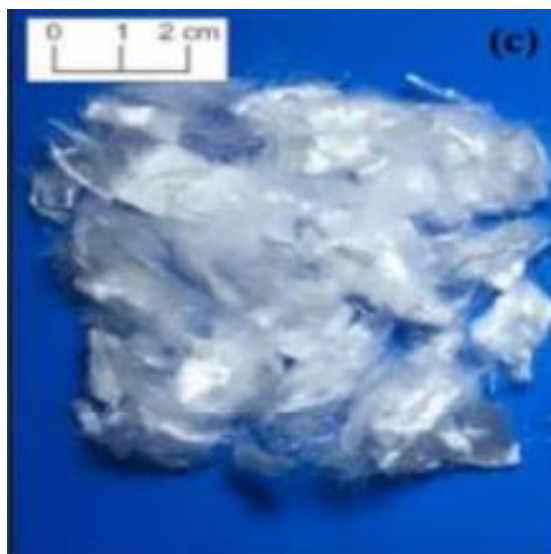
Figura 6 – Fibra de Vidro



Fonte: Azevedo, 2018.

- **Fibra de Polipropileno** - o polipropileno, ou PP, é um tipo de fibra utilizada no concreto por ser resistente à retração por secagem e à retração plástica. Esta fibra ajuda a reduzir o sangramento de água no concreto e reduz significativamente a permeabilidade do concreto. A fibra de polipropileno é um material sintético branco robusto com boas propriedades isolantes e alta resistência a produtos químicos como solventes orgânicos, ácidos e álcalis. A Figura 7, destaca a fibra de polipropileno.

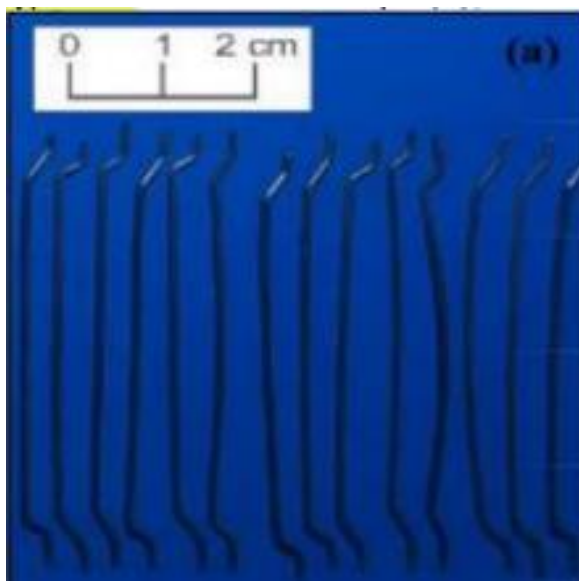
Figura 7 – Fibra de Polipropileno



Fonte: Azevedo, 2018.

- **Fibra de Aço** - a quantidade certa de fibra de aço no concreto pode alterar qualitativamente as propriedades físicas do concreto. A adição de fibra de aço à mistura aumenta significativamente a durabilidade do concreto, resistência a rachaduras, resistência à flexão, resistência e tenacidade. A Figura 8 evidencia a fibra de aço.

Figura 8 – Fibra de Aço



Fonte: Azevedo, 2018.

2.2.2 Normas sobre fibras de aço, de vidro e poliméricas

2.2.2.1 NBR 15530

A norma em vigor para fibras de aço é a ABNT NBR 15530:2019 – Fibras de aço para concreto – requisitos e métodos de ensaio. A qual trata da especificação de fibras de aço destinadas ao uso em concreto reforçado com fibras e outros compósitos cimentícios, tendo aplicação por bombeamento, ou utilizados em pavimentação, pré-moldados, preparação insitu ou reparo, (ABNT, 2019).

Segundo a ABNT (2019), a definição de fibras de aço é:

[...] arames de aço trefilados a frio, retos ou em outras conformações, de chapas; fibras produzidas por fusão (melted-extracted); fibra de arame trefilados a frio refilado (shaved) e fibras usinadas a partir de blocos de aço adequados para formar misturas homogêneas com concreto[...] são adequadas ao uso como material de reforço para concreto por possuírem coeficiente de dilatação térmica igual ao do concreto, módulo de Young (módulo de elasticidade) no mínimo cinco vezes maior que o do concreto [...]. (ANBT, 2019).

A NBR 15530 apresenta os critérios de classificação para as fibras de aço. As fibras podem ser classificadas de acordo com a sua forma geométrica, sendo elas:

- fibras tipo A (com ancoragem nas extremidades);
- fibras tipo C (com ondulações no corpo – corrugada);
- fibras tipo R (reta sem ancoragens).

Ainda com base na norma, no tocante ao processo de fabricação, podem ser classificadas de acordo como:

- Grupo I: arames trefilados a frio;
- Grupo II: chapas cortadas;
- Grupo III: arames trefilados a frio e escarificados (shaved);
- Grupo IV: fibras produzidas por fusão (melt extracted);
- Grupo V: usinadas a partir de blocos de aço.

A NBR 15530 (ABNT, 2019) estabelece as equações necessárias para cálculo do diâmetro equivalente. O fator de forma das fibras de aço é a relação entre o comprimento da fibra e seu diâmetro, caso a fibra não apresente seção circular, utiliza-se o diâmetro equivalente.

2.2.2.2 NBR 16941

Conforme Carnio (2017), as fibras de vidro fazem parte do grupo de fibras cerâmicas ou minerais, também pertencem a este grupo as fibras de carbono e asbesto, entretanto a mais utilizada é a fibra de vidro álcali-resistente (AR). Esta fibra é normatizada de acordo com a NBR 16941 (ABNT, 2021). As fibras de vidro AR apresentam resistência em meio alcalino, característica essencial para utilização em matrizes cimentícias.

Segundo NBR 16941 (ABNT, 2021e), as fibras de vidro AR podem ser classificadas como microfibras ou macrofibras, as microfibras devem apresentar diâmetro menor que 0,30 mm, podendo ser monofiladas ou integrais. Já as macrofibras apresentam diâmetro maior ou igual a 0,30 mm. As microfibras apresentam comprimento inferiores a 30 mm e as macrofibras comprimento varia de 35 mm a 40 mm.

As microfibras de vidro AR são utilizadas exclusivamente para controle de retração do concreto no estado fresco e endurecido, não apresentando capacidade de reforço estrutural. Já as macrofibras de vidro AR atuam no concreto no estado endurecido, com capacidade de reforço estrutural, com atuação similar as macrofibras sintéticas e as de aço (CARNIO, 2017).

2.2.2.3 NBR 16942

A norma que define as fibras de polipropileno é a ABNT NBR 16942:2021 – Fibras poliméricas para concreto – Requisitos e métodos de ensaio. Esta norma especifica os requisitos e métodos de ensaio para fibras poliméricas para uso estrutural e não estrutural. A única classificação das fibras na norma é quanto ao seu diâmetro, as fibras para uso não estrutural classificadas como Classe I: microfibras: diâmetro $<0,30\text{mm}$. E as fibras para uso estrutural, as de Classe II: macrofibras: diâmetro $\geq 0,30\text{mm}$. (ABNT,2021f).

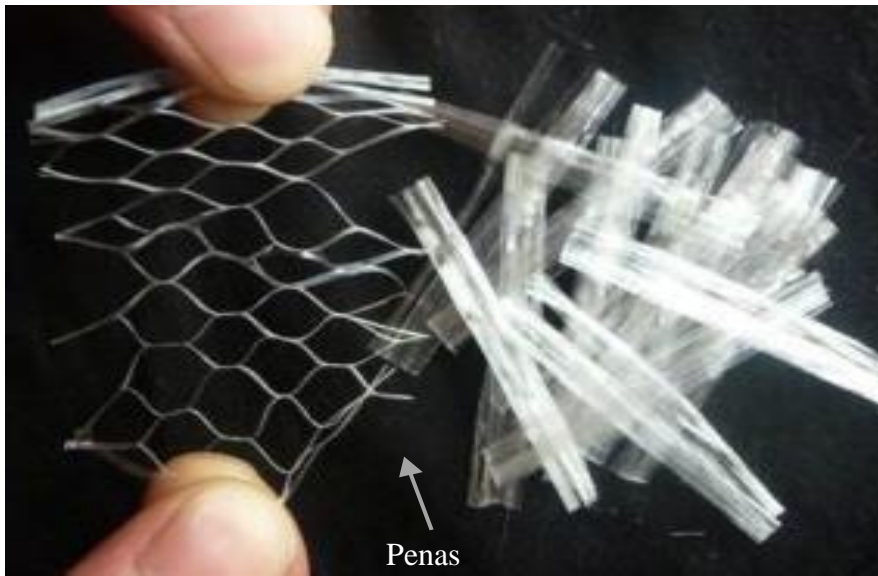
Algumas generalidades apresentadas na NBR 16942 (ABNT, 2021f) são que o polímero-base ou misturas de polímero são definidos pelo fabricante e obrigatoriamente serem resistentes a meios alcalinos. As fibras podem ser retas, lisas ou apresentar conformações, sendo fornecidas soltas ou agrupadas em feixe. O tratamento superficial das fibras químico ou físico é permitido. Este acabamento é utilizado para ajudar a dispersão das fibras no concreto, assim, evitando o embolamento das fibras.

2.3 FIBRA DE POLIPROPILENO FIBRILADA

Para Goes *et al.* (2016), as fibras de filme utilizadas para o reforço do concreto é um produto totalmente sintético do grupo das poliolefinas, obtido através da polimerização do gás hidrocarboneto propileno. O polipropileno de fibra química é adequado para mistura em concreto, a fibra, no entanto, se comporta quimicamente neutra em concreto, é resistente à corrosão e não apodrece. É UV estável contra os efeitos destrutivos da radiação iônica lisado, que é de subárea e importância ordenada depois de ter sido colocado no concreto, isso só é possível como um suplemento simples, quando bem adicionado diretamente à mistura

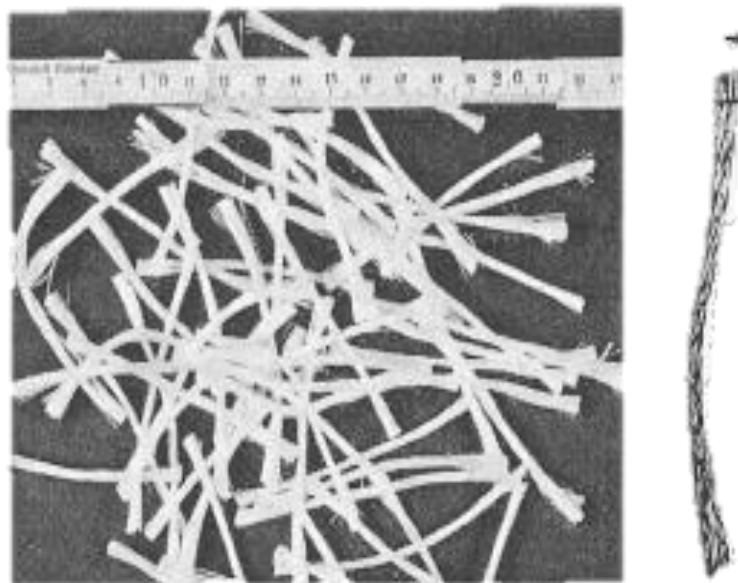
A Figura 9, demonstra a falha de filamentos e a Figura 10 evidencia a tensão rotacional.

Figura 9 – Malha de Filamentos



Fonte: O próprio autor, 2023.

Figura 10 – Tensão Rotacional



Fonte: O próprio autor, 2023.

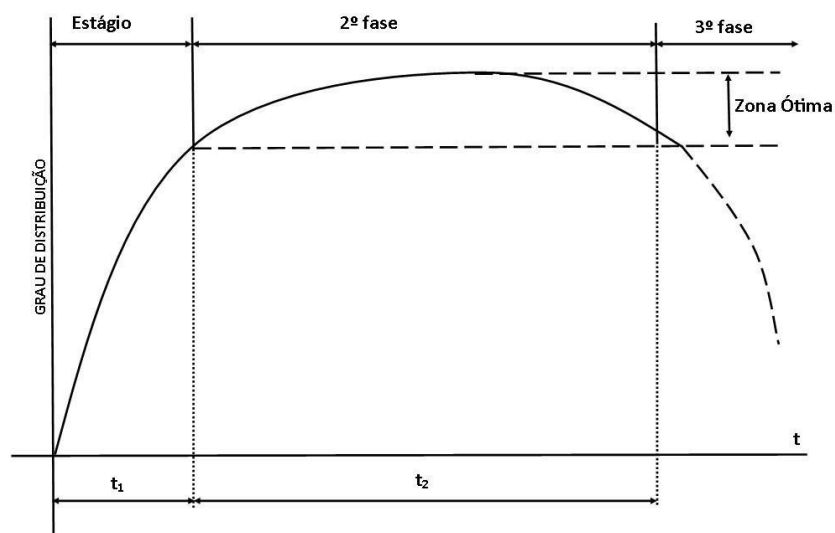
Em decorrência da sua estrutura, até 30% de reforço de fibra pode ser alcançado com qualquer sistema de mistura convencional sem instalação adicional em tempos normais de mistura, que são introduzidos de forma homogênea. As fibras não alteram a imagem do desenho estrutural do concreto nas superfícies visíveis, a trabalhabilidade do material misturado também não é alterada significativamente (PERET, 2003).

2.3.1 Estrutura Líquida de Filme de Polipropileno

A fibra da estrutura da malha é mantida sob uma certa pré tensão rotacional antes de ser adicionada ao material, esse viés é chamado de constante de abertura, com a ajuda desta constante, o chamado tempo de distribuição é controlado, para tanto, as duas primeiras fases são decisivas para o tempo de distribuição. Na primeira fase ocorre a distribuição mecânica e a abertura das fibras, já a segunda fase significa o tempo de bloco, no qual ocorre a distribuição ótima das fibras no concreto. Se o tempo de bloqueio de acordo com a fase 3 for excedido, a distribuição das fibras se deteriora (GOES, *et al.* 2016).

A Figura 11, demonstra o grau de distribuição.

Figura 11 – Grau de Distribuição



Fonte: O próprio autor, 2023.

Para Goes *et. al* (2016), cumprir estas leis, o Forta-Ferro está disponível numa seleção de tipologias que cumprem os respetivos requisitos em termos de tempos de abertura/tempos de bloqueio. Os produtos da série de tipos dificilmente podem ser distinguidos por não especialistas, um teste preliminar para o produto a ser fabricado permite a seleção do tipo, sendo influenciado pelo sistema misturador, a forma de produção e equipamentos, e a forma de produção e a planta.

Ainda segundo Goes *et al.* (2016), Forta-Ferro é fabricado estruturalmente em forma de malha, essa estrutura exerce um efeito de mola através da conexão das fibras individuais. Devido a sua rigidez inerente dessas molas, elas causam uma contra força física à força de atração que atua estaticamente. A rigidez inerente desejada foi determinada em uma série de testes direcionados, que elimina a força de atração, garante o tempo de abertura e, no entanto, garante uma ótima prontidão para distribuição.

Devido ao efeito de repulsão mútua de todas as fibras, que mostram uma ótima prontidão para distribuição em praticamente todas as misturas, contudo, o tempo de abertura das fibras pode ser controlado selecionando a rigidez das molas (GOES, *et al.* 2016).

2.3.2 Princípios de aplicação para reforço de fibra plástica

Peret (2003), afirma que o reforço de plástico ainda não pode substituir o reforço de aço convencional em uma função de suporte de carga em um futuro próximo. Em muitos casos, no entanto, o reforço plástico substitui o reforço estrutural. Uma combinação com aço também é possível, dependendo da área de aplicação e tipo de uso.

Não é incomum que economias de custos de até 30% sejam alcançadas em comparação com o reforço de aço convencional. Processos de trabalho mais racionais são muitas vezes alcançados com os mesmos custos básicos, o que traz economia de tempo. Pequenos custos adicionais podem surgir para construções especiais, mas estes são sempre compensados por um aumento de qualidade.

Para Silva *et al.* (2012), cada estrutura de concreto ou concreto armado sofre mudanças menores ou maiores no comprimento que são estruturalmente causadas por flexão ou como resultado de influências relacionadas à temperatura. Isso força o engenheiro civil a usar reforços desproporcionalmente maciços.

Conforme Peret (2003), o reforço de temperatura construtivo deve ter diâmetros muito pequenos e os menores tamanhos de malha. Nessa área, o comércio de aço não pode oferecer reforço satisfatório ao engenheiro civil. Esta demanda por reforços tão finamente distribuídos quanto possível é atendida de forma confiável pelo reforço de fibra plástica.

2.3.3 Aplicabilidade

A aplicabilidade de reforços de polímero reforçado com fibra (PRF) em estruturas de concreto como substituto de barras de aço ou cabos de pro-tensão tem sido ativamente estudada em vários laboratórios de pesquisa e organizações profissionais em todo o mundo.

Os reforços de PRF oferecem uma série de vantagens, como resistência à corrosão, propriedades não magnéticas, alta resistência à tração, leveza e facilidade de manuseio. No entanto, eles geralmente têm uma resposta elástica linear em tensão até a falha (descrita como uma falha frágil) e uma resistência transversal ou de cisalhamento relativamente baixa, possuem baixa resistência ao fogo e quando expostos a altas temperaturas, perdem força significativa ao dobrar e são sensíveis aos efeitos de ruptura por tensão (SILVA, 2021).

Além disso, seu custo, seja considerado por unidade de peso ou com base na capacidade de carga, é alto em comparação com barras de aço convencionais ou cabos de protensão (SILVA, 2021).

Ainda conforme Silva (2021), do ponto de vista da engenharia estrutural, os problemas mais sérios com os reforços de PRF são a falta de comportamento plástico e a resistência ao cisalhamento muito baixa na direção transversal, tais características podem levar à ruptura prematura do cabo, principalmente quando estão presentes efeitos combinados, como em planos de cisalhamento em vigas de concreto armado onde existe ação de pinos, a ação do pino reduz a resistência residual à tração e cisalhamento no tendão.

No entanto, ainda hoje, existem aplicações em que os reforços de PRF são rentáveis e justificáveis, são casos que incluem o uso de chapas ou placas de PRF coladas no reparo e reforço de estruturas de concreto e o uso de malhas de PRF ou têxteis ou tecidos em produtos de cimento fino (SILVA, 2021).

O custo de reparação e reabilitação de uma estrutura é sempre, em termos relativos, substancialmente superior ao custo da estrutura inicial, o reparo geralmente requer um volume relativamente pequeno de materiais de reparo, mas um comprometimento relativamente alto no trabalho.

3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS PRINCIPAIS FIBRAS

Assim como todo material, as fibras também possuem suas vantagens e desvantagens, no tópico a seguir serão destacadas os pontos positivos e negativos, das fibras mais utilizadas.

3.1 FIBRAS DE POLIPROPILENO

Segundo Brenner et. al. (2022), ao comparar as fibras, pode-se, denotar o seguinte:

1. Vantagens:

- Eles são muito econômicos em comparação com outras fibras, como o aço;
- São quimicamente inertes;
- São muito estáveis no meio alcalino que o concreto representa, apresentando uma superfície hidrofóbica, por isso não absorve água durante a mistura ou posteriormente definido;
- A baixa densidade das fibras faz com que ela se incorpore ao concreto durante a vibração, para que não surja na superfície em contato com o molde, conseqüentemente a estética da peça permanece inalterada;
- Outra das características dessas fibras, quando tratadas, é que são 100% ecológicos e recicláveis, desta forma não agredem o meio ambiente;
- são também resistente aos raios UV.

2. Desvantagens:

- Baixo módulo de elasticidade;
- É suscetível à degradação pela luz, calor e oxigênio; por causa disso é necessário adicionar um antioxidante e um estabilizador à luz ultravioleta, que encarece a produção;
- Como não absorve água durante a mistura ou presa posterior, significa, por sua vez, uma desvantagem em termos de aderência das fibras à matriz cimentícia.

3.2 FIBRA DE AÇO

Gazoni (2022), demonstra em sua obra, os pontos positivos e negativos das fibras de aço:

1. Vantagens:

- Não há falhas ou pontos fracos na armadura, e o comportamento mecânico, as solicitações são as mesmas em todas as direções;
- O uso de fibras de aço melhora a resistência à erosão;
- Melhora a resistência ao degelo;
- As fibras de aço costuram as fissuras no concreto, formando uma “ponte” entre
lábios da ruptura, permitindo a formação controlada das trincas, e levando o concreto a um comportamento dúctil após a fissuração evitando assim fratura frágil;
- Maior resistência à abrasão;
- Proporciona excelente resistência à corrosão, pois controla a abertura das rachaduras e, portanto, a entrada de água;
- Melhora a resistência à tração, flexão e corte, produzindo um aumento na capacidade portante;
- Fornece capacidade de resistência adicional, devido à redistribuição do momento plástico em caso de tensões localizadas, bem como melhora a ductilidade, mesmo em estado trincado;
- Atinge alta resiliência (capacidade de absorção de energia no impacto);
- Devido às características isotrópicas e à distribuição uniforme das fibras, em toda a estrutura, é ideal para cargas sem ponto de aplicação definido;
- Permite economia de material já que, por exemplo, para pavimentos projetados
com concreto reforçado com fibras, as espessuras podem ser diminuídas mantendo as mesmas propriedades.

2. Desvantagens:

- Fibras de Aço na Superfície de Concreto;
- Oxidação de Fibra de Aço;
- Formação de bolas de fibra na mistura, também conhecidas como ouriços;
- Trabalhabilidade do Concreto.

3.3 FIBRAS DE VIDRO

Durante o estudo de Jacomini (2021), foi possível analisar os pontos mais críticos, tal qual as vantagens da fibra de vidro:

1. Vantagens:

- Facilmente fiável em fibras de alta resistência;
- Fácil transporte de peças para a obra;
- Comparado ao concreto com aço convencional, não é necessário respeitar espessuras mínimas para evitar a corrosão.

2. Desvantagens:

- Descobriu-se que a fibra de vidro reage com álcalis no cimento, atacam a fibra e formam compostos que danificam a fibra, mesmo colocando resina epóxi como proteção ou sendo a fibra resistente a álcalis;
- O concreto reforçado com fibra de vidro é, em termos de custo de material, visivelmente mais caro do que o concreto de fibra de aço, por isso é fundamentalmente indicado para peças com espessura de parede pequena.

3.4 FIBRAS DE CARBONO

De acordo com Ganasini (2019), foram observados esses pontos de eficiência e deficiência, nas fibras de carbono:

1. Vantagens:

- Alta resistência mecânica, com alto módulo de elasticidade;
- Baixa densidade, em comparação com outros elementos como o aço;
- Resistência a agentes externos;
- Grande capacidade de isolamento térmico;
- Melhora a resistência a impactos e explosões;
- Alta resistência à tração;
- Reforços de elementos comprimidos.

2. Desvantagens:

- Alto preço de produção;
- Os compósitos apresentam como importante limitação sua baixa resistência ao fogo.

4. METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho se refere a pesquisa bibliográfica, que segundo Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa bibliográfica “não é mera repetição do que já foi dito ou escrito sobre certo assunto, mas propicia o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras”.

Para tanto, o processo da revisão de literatura incluiu articulação do problema a ser estudado, realização de pesquisa bibliográfica bem definida, avaliação da qualidade dos dados, análise dos dados e apresentação das conclusões.

O primeiro passo foi identificação do problema que a revisão está abordando e o objetivo da mesma, para tanto, o processo de pesquisa levou em consideração o processo de seleção do estudo sendo detalhado com as razões de inclusão e exclusão.

Os critérios de exclusão se referem aos estudos que não definem claramente seus objetivos e contribuições, ou seja, aqueles que não esclarecem por completo sobre seu tema desenvolvido gerando uma controvérsia, artigos duplicados também foram excluídos, uma vez que os mesmos não contribuem para o avanço do trabalho por não apresentar um conteúdo diferente.

Para tanto, os artigos que passaram por critérios de inclusão continham texto integral disponível e artigos de livre acesso.

Como forma de enriquecer o conteúdo foi consultado a base de dados científicos Scielo, assim como periódicos universitários e livros, utilizando palavras chave como: “poliméricos”, “concreto polimérico”, “compósitos poliméricos”. A escolha de ambas as bases se dá pelo fato de serem fontes confiáveis.

Os tópicos e subtópicos relevantes existente em cada artigo foram lidas e interpretadas, com o objetivo de determinar as principais etapas metodológicas e assim puderam ser identificadas e definidas.

Estas publicações foram elencadas e organizadas conforme título, autores, metodologia e ano de publicação conforme pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1: Panorama das publicações selecionadas para discussão dos dados bibliográficos.

Nº	TÍTULO	AUTORES	METODOLOGIA	ANO
1	Análise do concreto com adição da fibra de poliolefina e utilização de agregado reciclado.	Oliveira e Alencar	Pesquisa bibliográfica	2022
2	Concreto com adição de fibra de coco.	Santos <i>et al.</i>	Ensaio e bibliográfica	2022
3	Use of mechanistic-empirical method of pavement design for performance sensitivity analysis to asphalt pavement fatigue.	Natalia Silva	Análise Exploratória	2021
4	Análise da adição de fibras de aço no concreto: Revisão de Literatura.	Bezerra <i>et al.</i>	Revisão de Literatura	2020
5	Concretos drenantes: estudo de dosagem e adição de fibras de polipropileno.	Pils <i>et al.</i>	Ensaio de concreto	2019
6	Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais.	Borges e Motta	Ensaio	2019
7	Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina.	Lucena	Estudo de Caso	2017
8	Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando Poli (ϵ -caprolactona) e borra de café.	Lúcia Mei; Natália Oliveira	Análise Exploratória	2017
9	Análise da aplicação de concreto com adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro anti-crack ar em pisos.	Caroline Goes <i>etal.</i>	Análise Exploratória	2016
10	Comportamento térmico de compósitos PS-HDL (Mg-Al) modificados com DBS e SDS.	Lucas Domingui	Pesquisa documental e exploratória	2015

11	Capacidade resistente e modos de ruptura de vigas de concreto armado reforçadas à flexão com fibras de carbono.	Augusto Silva	Pesquisa documental e exploratória	2012
12	Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de Buriti.	Anderson Barbosa	Pesquisa de campo	2011
13	Técnicas de caracterização de polímeros.	Sebastião Canevarolo	Pesquisa documental e exploratória	2003
14	Reforço mecânico por fibras poliméricas e seus efeitos na secagem de concretos refratários.	Caio Peret	Pesquisa documental e exploratória	2003
15	Analysis and Performance of Fiber Composites.	Bhagwan Agarwal <i>et al</i>	Análise Exploratória	2000
16	Aspectos do comportamento de polímeros em condições de incêndio.	Jorge Gallo; José Agnelli.	Pesquisa documental e exploratória	1998
17	The impact Resistance of Composites Materials a Review.	Wesley Cantwel; John Morton	Pesquisa documental e exploratória	1991

Fonte: O próprio autor, 2023.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 REVESTIMENTO ASFÁLTICO COMPOSTO POR LIGANTE POLIMÉRICO

O estudo realizado por Silva *et al.* (2021) com a finalidade de analisar a sensibilidade do desempenho à fadiga do revestimento asfáltico conforme dados derivados de um dimensionamento mecanístico-empírico do pavimento levando-se em consideração diversos modelos de fadiga. O estudo evidenciou que o desempenho à fadiga e o dimensionamento da camada de revestimento asfáltico variaram de acordo com os modelos de fadiga utilizados nos diferentes cenários. Entretanto, a sensibilidade do desempenho à fadiga do revestimento asfáltico

determinado por esses modelos, a partir das variações dos fatores estudados, foi praticamente a mesma.

5.2 COMPOSTO POLIMÉRICO BIODEGRADÁVEL

O estudo feito por Mei e Oliveira (2017) buscou destacar a influência do tratamento químico da borra de café diante das propriedades mecânicas e térmicas, morfologia e suscetibilidade à biodegradação quando utilizada durante a preparação de compósitos com Poli (ϵ -caprolactona) em comparação com o polímero puro. Através de tratamento químico, houve uma elevação em relação à estabilidade térmica da borra de café. Além disso, houve um aumento representativo diante do módulo elástico para o compósito com 10% de borra de café acetilada. Identificou-se interação entre a fibra e matriz quanto aos compósitos com borra acetilada. Por meio de análises térmicas notou-se que, a adição de borra de café deslocou positivamente 10° C o pico máximo de degradação térmica em comparação com o polímero puro. Destacou-se ainda que, as amostras mais suscetíveis à biodegradação foram as que possuíam borra de café acetilada.

5.3 ADIÇÃO DE PRFC E MICROFIBRAS ESTRUTURAIS E SINTÉTICAS AO CONCRETO

A pesquisa desenvolvida por Silva, Moreno Júnior e Ferreira (2012) teve o intuito de propor um mecanismo de ancoragem lateral utilizando uma manta de Polímero Reforçado com Fibras de Carbono (PRFC), colado a 45° em relação à face inferior da viga. Ademais, buscou-se estudar o descolamento abrupto da manta, quando não existe esse mecanismo de ancoragem em laço. Em relação ao reforço sem ancoragem, observou-se que, para que fossem evitadas rupturas prematuras e bruscas, as metodologias propostas pelo *American Concrete Institute* (ACI) e *Fédération Internationale du Béton* (FIB) revelaram-se adequadas. A fim de assegurar a deformação última da fibra, foi estudado um mecanismo com ancoragem lateral a 45° feito com o próprio material da fibra. Para isso, foi aplicado o processo de seções balanceadas a fim de prever o modo de ruptura. Em seguida, foram realizadas as comparações entre os valores esperados com os resultados

obtidos nos ensaios em laboratório.

Já o estudo desenvolvido por Goes *et al.* (2016) teve como finalidade apresentar um estudo de caso e propor a realização de dois novos traços de concreto com adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro como reforço de pisos e um traço referência sem adição dessas fibras. Com a realização do estudo foram destacadas as principais vantagens da adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro ao concreto em pisos para diminuição de fissuras e para isso. Ademais, foram analisadas as resistências à compressão axial, diametral, tração na flexão, impacto e módulo de elasticidade, dos novos traços e dos traços de concreto utilizado no estudo de caso. Foram ainda apresentadas as vantagens e desvantagens dessa mistura diante do concreto convencional.

5.4 COMPORTAMENTO TÉRMICO DE COMPÓSITO DE POLIESTIRENO

O estudo de Dominghini *et al.* (2015) buscou comparar o comportamento térmico dos compósitos de poliestireno/hidróxido duplo lamelar magnésio-alumínio (PS-HDL [Mg-Al]) dainte do poliestireno puro. Evidenciou-se que, o PS-HDL modificado comporta-se melhor que o poliestireno puro, já que apresentou maior estabilidade térmica. Levando-se em conta uma perda de massa de 50%, o PS-HDL-SDS revelou-se superior frente ao PS puro, tendo um ganho de aproximadamente 44 °C na temperatura de decomposição térmica.

5.5 CARACTERÍSTICAS DOS COMPÓSITOS ADICIONADOS POR FIBRAS

O estudo desenvolvido por Peret *et al.* (2003) buscou analisar a resistência mecânica e a energia total de fratura de concretos úmidos e secos reforçados a partir de diferentes tipos de fibras poliméricas. Com o estudo, notou-se um grande aumento em relação às propriedades mecânicas com a adição de fibras, de modo que a influência do tipo de fibra adicionado revelou-se mais acentuada em ensaios feitos com o concreto seco. Assim, foi possível explicar o comportamento dos concretos com fibras na etapa de secagem.

O estudo feito por Barbosa (2011) teve como finalidade destacar as principais características físicas, mecânicas e térmicas de compósitos reforçados por fibras

contínuas e alinhados, de uma das mais promissoras fibras lignocelulósicas, o buriti, utilizadas como matriz de resina polimérica, tanto epóxi quanto poliéster. Além disso, foram analisadas as características estruturais avaliando-se a possibilidade destes compósitos substituírem materiais convencionais como a fibra de vidro, aplicada na construção civil. A partir da análise dos diâmetros da fibra de buriti observou-se que os menores diâmetros tiveram maior densidade, Módulo de Elasticidade e resistência à tração. O estudo revelou ainda que, o tratamento da fibra de buriti com irradiação gama tornou o material mais frágil quando exposta a maiores doses de irradiação. Em relação à energia de impacto foram apresentados valores de 20 a 30% maiores em comparação com outras fibras lignocelulósicas. Destaca-se que, este comportamento foi confirmado tendo em vista a interação da fibra e da matriz no ensaio de "Pullout". O estudo destacou também que, o comportamento térmico da fibra e dos compósitos revelam patamares bem definidos diante da perda de solventes, componentes da fibra e decomposição da matriz poliéster e epóxi e seus compósitos.

O estudo feito por Lucena (2017) buscou abordar a composição do concreto reforçado com alto teor de fibras de polipropileno com características apropriadas visando a moldagem do painel alveolar com paredes finas. Além disso, teve o propósito de analisar seu comportamento estrutural. Para isso, utilizou-se teores de fibra de 0 e 2%, sendo produzidos dois tipos de corpos de prova, ambos com seção transversal de 300 mm x 140 mm, e comprimentos de 600 mm e 1200 mm, para cada teor de fibra e respectivamente para os ensaios de carga concentrada e flexão. Quanto aos ensaios de caracterização, não foram evidenciados resultados significativos em relação a adição dos teores de fibras 1 e 2% para a resistência à compressão e módulo de elasticidade. Entretanto, nos ensaios de consistência, resistência à tração e tenacidade, os resultados foram representativos sobretudo diante do teor de fibra de 2%. A respeito dos ensaios nos corpos de prova no painel em relação à carga concentrada, notou-se aproximadamente dez vezes mais a capacidade de carga, cinco vezes mais a capacidade de deslocamento e sete vezes mais a resistência diante da punção. Salienta-se ainda que, os ensaios à flexão no painel revelaram tensões resistentes pouco menores frente aos corpos de prova do painel composto por 2% de fibras.

A pesquisa realizada por Borges, Motta e Pinto (2019) teve o propósito de avaliar o reflexo da adição das fibras vegetais como o sisal e rami nas propriedades

e desempenho do concreto para aplicação em paredes estruturais de edificações. Quanto à retração restringida notou-se que a adição de 0,25% de fibras não provocou incremento em relação ao desempenho comparando-se ao concreto sem adição de fibras. Todavia, a adição de 0,5% de fibras vegetais mostrou-se satisfatória, já foram superiores ao concreto de referência. Ademais, observou-se que as propriedades mecânicas dos concretos com adição de fibras, de modo geral, revelaram-se inferiores ao concreto de referência, não sofreram mudanças representativas, exceto em relação ao concreto com o maior teor de rami, que não apresentou dispersão adequada das fibras. Destacou-se que, o concreto com 0,25% de rami revelou a maior absorção, bem como índice de vazios diante de todos os concretos estudados. No que diz respeito à absorção por capilaridade, os concretos com adição das fibras vegetais evidenciaram melhor desempenho, isto é, foram capazes de promover a redução da absorção por capilaridade.

O estudo feito por Pils *et al.* (2019) teve como finalidade evidenciar um estudo sobre as características do concreto drenante, assim como a resistência em relação à tração, à compressão, à tração na flexão e coeficiente de permeabilidade, considerando-se a realização de diversos traços a fim de ajustar às características dos agregados locais. Tomando-se como base um traço referência, foram estudados oito traços, sendo cinco relacionados ao concreto drenante com adição de agregados mais finos ao traço referência sem estes agregados. Em seguida, foram feitos três traços com a adição de fibras de polipropileno visando analisar os efeitos que a adição de fibras provocaria diante das propriedades do concreto drenante. Constatou-se que a presença das fibras modificou as características do concreto permitindo assim, alcançar maiores resistências, além de uma boa permeabilidade nos traços, evidenciando-se assim, uma melhoria de capacidade de resistência em relação à tração na flexão do concreto drenante, que é a principal propriedade para a utilização em pavimentos, sem prejudicar a permeabilidade.

O estudo realizado por Bezerra (2020) teve como finalidade avaliar o comportamento mecânico do concreto com a adição de fibras de aço. Com a pesquisa, foi possível observar que a adição de fibras de aço ao concreto provoca um aumento de resistência à tração, levando-se em conta ganhos acima de 80% para fibras com ancoragens nas extremidades e aplicadas em um teor de 1,5%. Quanto à resistência à compressão notaram-se variações nos resultados apurados, já que, em alguns casos houve acréscimo de resistência e em outros, decréscimo.

Já o estudo desenvolvido por Oliveira e Alencar (2022) teve o propósito de apontar os impactos da adição de fibra de poliolefina associada com a substituição parcial e total do agregado natural pelo reciclado, tendo em vista as mudanças nas características físicas e mecânicas do concreto. O referido estudo apontou que o método frequentemente utilizado, o de Concreto Reforçado com Fibras de Poliolefina (CRFP), revelou resultados significativos e satisfatórios, levando-se em conta vários estudos. As comparações realizadas foram pautadas em ensaios laboratoriais a fim de avaliar a consistência, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, além da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Evidenciou-se um aumento do teor das fibras de poliolefina refletindo assim, a redução expressiva na consistência do concreto e quando associado com a substituição do agregado está diretamente relacionado ao aumento da resistência à tração e diminuição da resistência à compressão. Em relação à massa específica do concreto houve redução em virtude do acréscimo de fibras e do agregado reciclável. Entretanto, a variação máxima não chegou em 2,6%. Acerca da taxa de absorção de água e do índice de vazios estes aspectos revelaram comportamento crescente, e linear, devido ao aumento da concentração das fibras e do agregado reciclável.

O estudo de Santos *et al.* (2022) buscou avaliar e aprofundar a respeito da composição da fibra de coco diante do concreto, levando-se em consideração a sua resistência. Para isso, foram realizados a flexão a 4 pontos em cada corpo de prova, alcançando-se os resultados e realizando a comparação entre eles. Constatou-se que os corpos de prova com a fibra de coco não tiveram resistência maior em relação ao concreto sem adição de fibra.

6. CONCLUSÃO

Compreende-se que a deterioração do concreto é uma das principais causas de mau desempenho e redução da expectativa de vida de infraestrutura viária de concreto em todo o país.

Devido à baixa resistência à tração do concreto tradicional, estruturas de concreto armado geralmente sofrem rachaduras e lascas, levando à corrosão acelerada de reforço embutido, falha sob carga severa e falta de durabilidade.

Entretanto, o reforço com fibra concreto (RFC) tem uma sólida reputação de resistência superior ao desenvolvimento de rachaduras e abrasão, juntamente com melhorias na resistência, ductilidade, resistência ao carregamento dinâmico e resistência ao congelamento e degelo efeitos. Devido a essas propriedades, o RFC tem sido usado em muitas aplicações, como decks de pontes, reparos e construção de conexões viga-pilar.

Contudo, a presente revisão se iniciou com o objetivo de descrever sobre as fibras poliméricas, investigar a influência da adição de fibras poliméricas no concreto, informar sobre a viabilidade da adição das fibras poliméricas; e relatar as vantagens e desvantagens da adição. Haja vista que no decorrer dos tópicos foram esclarecidos sobre a influência das fibras poliméricas quando adicionadas ao concreto.

Portanto, diante do estudo realizado, é possível concluir que a adição de fibra aumenta a durabilidade geral do concreto, ajudando a diminuir os níveis de corrosão, danos por cavitação e tem um nível mais alto de resistência à tração quando comparado ao concreto não armado, assim como um concreto reforçado com fibras tem menos probabilidade de ser danificado por altas tensões de tração e pode aumentar a quantidade de peso que a estrutura é capaz de suportar, especialmente quando são usadas microfibras, entretanto, as fibras tornará o concreto mais pesado do que o concreto comum, em geral, ou seja, isso adiciona peso à estrutura geral, o que significa que um engenheiro precisa planejar esse peso para manter a integridade estrutural.

REFERÊNCIAS

AFROUGHSABET, V. et al. High-performance fiber-reinforced concrete: **a review**, **Jornal Material Science**, v.51, p. 6517-6551, mar. 2016.

ASLANI, F., SAMALI, B., “High strength polypropylene fibre reinforcement concrete at high temperature”, **Springer Science and Business Media New York**, v. 50, pp. 1229-1247, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15530:2019: Fibras de aço para concreto** – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

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

_____. **ABNT NBR 16942:2021: Fibras poliméricas para concreto** – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2021f.

BRENNER, D. et al. **Estudo Comparativo Entre os Vergalhões de Aço e Polímero Reforçado com Fibra de Vidro**. Universidade Potiguar, Natal, 2022 Disponível em:
<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/24880/1/TCC-Diego%20e%20Gabriel.pdf>

GAZONI, Murilo H. **Concreto com agregado reciclado reforçado com fibras de aço: revisão da literatura e avaliação de modelos analíticos**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em:
<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/16450>

JACOMINI, Guilherme M. **Avaliação da capacidade resistente de vigas de concreto armado reforçado com fibras utilizando os procedimentos normativos da ABNT NBR 16935:2021**. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021. Disponível em:
<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/14714/TCC%20-%20Guilherme%20Jacomini%20-%20Pós%20Defesa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GANASINI, Debora. **Concretos de alto desempenho reforçados com microfibras de polipropileno e submetidos a elevadas temperaturas**. Universidade do Estado De Santa Catarina, Joinville, 2019. Disponível em:
https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/706/2019_11_18_Debora_Ganasini_15801382432403_706.pdf

BARBOSA, Anderson. **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de Buriti**. Tese (Doutorado engenharia e ciências dos materiais) Campos dos Goytacazes, RJ, UENF, Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”, 2011.

BARRERA, G., M., NUÑES, F., U., GENCEL, O., BROSTOW, W., “Mechanical properties of polypropylene-fiber reinforced concrete after gamma irradiation”, **Composites: Part A**, v. 42, pp. 567-572, jan. 2011.

BEZERRA, Rodrigo Mendes *et al.* **Análise da adição de fibras de aço no concreto**: Revisão de Literatura. 2020. Disponível em: http://iosrjen.org/Papers/vol10_issue12/F1012013948.pdf. Acesso em 04 fev. 2023.

BORGES, Ana Paula Silva Nascentes; MOTTA, Leila Aparecida de Castro. **Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais**. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/LprhPDswVZzMg6ZkydLbh7f/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 03 fev. 2023.

CANEVAROLO, Jr.S. V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. Camara brasileira do livro, SP, Brasil – Editora Artliber, 2003.

CARNIO, Marco A. **Aspectos gerais sobre o uso do concreto reforçado com fibras no Brasil**: produção, projeto, tecnologia, normalização. **Revista Concreto e Construções**, São Paulo, Ano XLV, n. 87, p. 26-32, 2017.

DOMINGUINI, Lucas *et al.* **Comportamento térmico de compósitos PS-HDL (Mg-Al) modificados com DBS e SDS**. *Polímeros* [online]. 2015, v. 25, n. spe. Acesso em 27 Junho 2022, pp. 25-30. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1581>. ISSN 1678-5169.

FIGUEIREDO, A.D., “Concreto com fibras”, In: *Concreto: ciência e tecnologia*. 1 ed., cap. 37, **Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON)**, São Paulo, 2011.

GOES, Caroline, et al. 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**. 12. 10.5216/reec.v12i1.37400, 2016

HSIE, M. et al., Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete, **Materials Science and Engineering A**, v. 494, p. 153–157, may. 2008.

IZAGUIRRE, A., LANAS, J., ALVAREZ, J., I., “Effect of a polypropylene fibre on the behaviour of aerial lime-based mortars”, **Construction and Building Materials**, v. 25, pp. 992-1000, jun. 2010.

KIM, D.J., NAAMAN, A.E., EL-TAWIL, S., “Comparative flexural behavior of four reinforced cementitious composites”, **Cement & Concrete Composites**, v. 30, pp. 917-928, 2008.

LUCENA, Júlio César Tavares de. **Concreto reforçado com fibras de polipropileno**: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina. 2017. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-30032017-104705/publico/ME2017_JulioLucena.pdf. Acesso em 05 fev. 2023.

MACHADO, A.C., SILVA, A.A., FILHO, R.D.T., PFEIL, M.S., LIMA, I., LOPES, R.T., "3D investigation of steel fiber distribution in reinforced concrete by x-ray microtomography", In: **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 8, n. 5, pp 707-720, Out. 2015.

MEI, Lúcia Helena; OLIVEIRA, Natália. Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando Poli (ϵ -caprolactona) e borra de café. **Polímeros** [online]. 2017, v. 27, n. Spe. Acesso em 25 Junho 2022, pp. 99-109. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2139>. Epub 16 Jan 2017. ISSN 1678-5169.

MO, K. H. et al., Thermal conductivity, compressive and residual strength evaluation of polymer fibre-reinforced high volume palm oil fuel ash blended mortar, **Construction and Building Materials**, v. 130, p. 113-121, nov. 2017.

MUKHOPADHYAY, S.; KHATANA, S., A review on the use of fibers in reinforced cementitious concrete, **Journal of Industrial Textiles** v. 45, p. 239-264, 2015.

NETO, João Trajano da Silva. **Compósito cimentício reforçado com fibras poliméricas de alta resistência mecânica**. 2018. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/10626/1/TESE_Comp%C3%B3sitoCiment%C3%ADcioRefor%C3%A7ado.pdf. Acesso em 05 fev. 2023.

NUNES, N.L., **Contribuição para a aplicação do concreto reforçado com fibras de aço em elementos de superfície restringidos**, Tese de D.Sc., Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2006.

OLIVEIRA, Daniel Cosmo; ALENCAR, Leila Umbelino de. **Análise do concreto com adição da fibra de poliolefina e utilização de agregado reciclado**. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/1881>. Acesso em 04 fev. 2023.

PERET, Caio M. et al. Reforço mecânico por fibras poliméricas e seus efeitos na secagem de concretos refratários. **Cerâmica** [online]. 2003, v. 49, n. 312 [Acessado 25 Junho 2022] , pp. 257-261. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132003000400011>. Epub 01 Abr 2004. ISSN 1678-4553.

PILS, S., *et al.* Concretos drenantes: estudo de dosagem e adição de fibras de polipropileno. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?pid=S1983-41952019000100101&script=sci_arttext&tlng=pt. **IBRACON Structures and Materials Journal**. 2019. Vol. 12. nº 1. Acesso em 01 fev. 2023.

SAID, S. H and RAZAK, H. A., The effect of synthetic polyethylene fiber on the strain hardening behavior of engineered cementitious composite (ECC), **Materials and Design**, v. 86, p.447-457, jul. 2015.

SANTOS, José Anderson Romão dos *et al.* **Concreto com adição de fibra de coco.** 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/22838/1/Concreto%20com%20adic%cc%a7a%cc%83o%20de%20fibra%20de%20coco%20%e2%80%93%20Caroline%20Pesso%cc%82a%20Sales.pdf>. Acesso em 02 fev. 2023.

SILVA, Augusto O.B., *et al.* Capacidade resistente e modos de ruptura de vigas de concreto armado reforçadas à flexão com fibras de carbono. Rem: **Revista Escola de Minas** [online]. 2012, v. 65, n. 3. Acessado em 24 Junho 2022, pp. 297-304. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672012000300004>. Epub 02 Out 2012. ISSN 1807-0353.

SILVA, Natalia A. B. *et al.* **Use of mechanistic-empirical method of pavement design for performance sensitivity analysis to asphalt pavement fatigue.** *Matéria* (Rio de Janeiro) [online]. 2021, v. 26, n. 03 [Accessed 26 June 2022] , e13045. Available from: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.1345>. Epub 11 Oct2021. ISSN 1517-7076.