

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MAICON ALISON OLIVEIRA SILVA

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS
POLIMÉRICAS

Jataí
2025

MAICON ALISON OLIVEIRA SILVA

**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS
POLIMÉRICAS**

Trabalho apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): M. Sc. Jerônimo Otoni de Carvalho Neto

Jataí
2025



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia - Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho apresentado em evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome completo do autor: Maicon Alison Oliveita Silva

Matrícula: 20171020260096

Título do trabalho: Avaliação de Propriedades do Concreto Reforçado com Fibras Poliméricas

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção 2 ou 3, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
- ☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
- ☐ Outra justificativa: _____.

Declaração de distribuição não-exclusiva

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material

cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Jataí, 26/02/2025.

Local Data

(Assinado Eletronicamente)

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Documento assinado eletronicamente por:

- **Maicon Alison Oliveira Silva, 20171020260096** - Discente, em 25/03/2025 20:29:17.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 617338

Código de Autenticação: f0cb264b83



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Av. Presidente Juscelino Kubitschek,, 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9580 (ramal: 9580)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Silva, Maicon Alison Oliveira.

Avaliação de propriedades do concreto reforçado com fibras poliméricas [manuscrito]/ Maicon Alison Oliveira Silva. - Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, 2025.

72 f.; il.

Orientador: Prof. M.Sc. Jerônimo Otoni de Carvalho Neto.

Bibliografias.

1. Concreto reforçado com fibras. 2. Fibras de polipropileno. 3. Propriedades mecânicas 4. Ensaios experimentais. 5. Construção civil. I. Carvalho Neto, Jerônimo Otoni de. II. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.

Bibliotecária – Rosy Cristina Oliveira Barbosa Sabino – CRB 1/2380 – Câmpus Jataí. Cód. F035/2025-1.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

MAICON ALISON OLIVEIRA SILVA

AValiação de Propriedades do Concreto Reforçado com Fibras Poliméricas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 25 de fevereiro de 2025, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Jerônimo Otoni de Carvalho Neto
Presidente da banca / Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Esp. Ronan de Oliveira Lopes Júnior
Membro Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Engenheira Civil Dhandara Cardoso Lima
Membro Externo
Rio Claro Engenharia de Concretos Ltda

Jataí - GO
2025

Documento assinado eletronicamente por:

- **Ronan de Oliveira Lopes Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/03/2025 00:13:02.
- **Dhandara Cardoso Lima**, 002.528.761-30 - Usuário Externo, em 05/03/2025 07:03:11.
- **Jeronimo Otoni de Carvalho Neto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/03/2025 22:54:46.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 617337

Código de Autenticação: c44676eda1



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek,, 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9580 (ramal: 9580)

DEDICATÓRIA

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade de cursar Engenharia Civil em uma Instituição Federal, a realização de um sonho antigo.

Quero expressar minha profunda gratidão à minha esposa, Morgana Schenkel Junqueira, pelo apoio incondicional, carinho e dedicação ao longo dessa jornada. Seu suporte foi fundamental para que eu pudesse superar os desafios do caminho.

Agradeço também ao meu pai, Edvaldo Luiz da Silva, à minha mãe, Luzia Eliene Soares de Oliveira, ao meu ex-padrasto, Alex Alves da Silva, e aos meus irmãos, Alex Alves da Silva Filho e Jessica Oliveira Silva. Vocês foram minha fortaleza nos momentos de dificuldade, sempre me incentivando a seguir em frente.

Deixo aqui meu reconhecimento à Prefeitura Municipal de Perolândia pelo apoio logístico durante os trajetos entre Perolândia e Jataí. Foram inúmeras viagens no início da minha graduação, e sou grato a todos os motoristas que nos transportaram com seriedade e profissionalismo. Um agradecimento especial ao motorista e amigo Itevaldo Oliveira Vilela, que foi um grande parceiro durante anos, desde os cursos preparatórios para o vestibular até minha vida acadêmica como estudante de engenharia.

Agradeço também aos meus amigos Fagner Evangelista Santana, Humberto Ribeiro Araújo, Ricardo Nunes Rodrigues e Pedro Henrique Faria Lima. Obrigado por todo o apoio e incentivo ao longo dessa caminhada. Vocês fazem a diferença na minha vida.

A todos os meus familiares, meu sincero agradecimento pelo carinho constante. Essa conquista é de todos nós.

Sou especialmente grato aos meus colegas de faculdade, com destaque para José Joaquim, Jorge Kennedy, Yuri (in memoriam), Michele, João Marcello, Thales, Cassiano, Stéfane, Luan, Vinícius, Dairlla, Lucas Vilela e Marcos Rodrigues. Vocês tornaram essa jornada mais leve e significativa.

Por fim, agradeço ao professor Jerônimo, pela orientação no trabalho de conclusão e por sua dedicação ao longo da minha formação. Sua contribuição foi essencial para o meu crescimento acadêmico e profissional.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa caminhada, minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTO

Um agradecimento mais que especial ao professor Ronan, cuja contribuição foi fundamental para a realização deste trabalho. Ele fez a doação de grande parte dos itens a serem analisados na pesquisa, abriu as portas de sua empresa e disponibilizou integrantes de sua equipe para a realização dos rompimentos dos corpos de prova, visto que os equipamentos de laboratório do IFG não estavam adequados para uso. Sem sombra de dúvidas, sem seu apoio, este trabalho não teria sido possível. A você, professor Ronan, minha eterna gratidão e respeito.

Gostaria também de expressar meus sinceros agradecimentos aos professores Aladir, Carmencita, Naara, Aníbal Ataídes, Hailton (in memoriam), Elenilson, Carlos Roberto, Francielle, Vanderlúbio, Clarissa, Vitor, Rafael Pinto Jr., Fábio, Débora Silva, Débora Braga, Sandro, Thiago, Lauro, Eulher. Obrigado pelo conhecimento transmitido ao longo dessa jornada acadêmica.

Um agradecimento muito especial à antiga assistente social Altair, que foi como uma mãe para mim no início dos meus estudos no instituto. Com dedicação e empatia, não mediu esforços para que eu obtivesse o apoio financeiro necessário naquele difícil começo de graduação.

Agradeço também à professora Carol, que, como coordenadora do curso, fez tudo ao seu alcance para que eu conseguisse organizar minha primeira grade de aulas. Como estudante transferido, enfrentei grandes dificuldades, mas com seu apoio, tive sucesso no início dessa caminhada.

Reconheço e valorizo o trabalho dos colaboradores terceirizados do Instituto Federal, que tornaram o ambiente sempre limpo e seguro, bem como dos técnicos administrativos, que garantiram o bom funcionamento de todas as atividades.

A todos vocês, meu eterno carinho e respeito.

EPÍGRAFE

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não
seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma
como nos acostumamos a ver o mundo”.

(Albert Einstein)

RESUMO

Este estudo investiga a eficácia das fibras poliméricas, especialmente de polipropileno, nas propriedades mecânicas do concreto reforçado com fibras (CRF). Inicialmente, foi conduzida uma revisão de literatura para identificar as características das fibras, métodos de incorporação ao concreto e suas aplicações práticas. Com base nessa análise, foram desenvolvidas composições experimentais variando as proporções das fibras para melhorar o desempenho do concreto. As amostras foram preparadas seguindo as orientações técnicas que estão na norma, moldadas e curadas por 24 horas, 7 dias e 28 dias. Foram realizadas a moldagem dos corpos de prova e os ensaios de resistência a compressão conforme estabelecido pela NBR 5738 E NBR 5739. Os resultados foram analisados para identificar incrementos percentuais nas propriedades mecânicas em comparação ao concreto não reforçado. O estudo fornecerá diretrizes práticas para o uso de fibras de polipropileno na construção civil, destacando seu potencial em otimizar resistência e durabilidade.

Palavras-chave: concreto reforçado com fibras. fibras de polipropileno. propriedades mecânicas. ensaios experimentais. construção civil.

ABSTRACT

This study investigates the effectiveness of polymeric fibers, especially polypropylene, on the mechanical properties of fiber-reinforced concrete (FRC). Initially, a literature review was conducted to identify the characteristics of the fibers, methods of incorporation into concrete and their practical applications. Based on this analysis, experimental compositions were developed varying the fiber proportions to improve concrete performance. The samples were prepared following the standard technical guidelines, molded and cured for 24 hours, 7 days and 28 days. The specimens were molded and compressive strength tests were carried out as established by NBR 5738 AND NBR 5739. The results were analyzed to identify percentage increases in mechanical properties in comparison to unreinforced concrete. The study will provide practical guidelines for the use of polypropylene fibers in construction, highlighting their potential to optimize strength and durability.

Keywords: fiber-reinforced concrete. polypropylene fibers. mechanical properties. experimental trials. civil construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de Fibras para o Concreto	21
Figura 2 – Fibras de Aço para o Concreto.....	23
Figura 3 – Fibras de Vidro para o Concreto	25
Figura 4 –Fibras Poliméricas, (a)-Fibra de Polietileno de Alto Módulo; (b)-Fibra de Polipropileno	26
Figura 5 – Fibras Naturais, fibras Utilizadas Na Pesquisa (Sisal, Rami E Polipropileno).....	27
Gráfico 4.1 - Desempenho dos ensaios de concreto aos 24 horas	63
Gráfico 4.2- Desempenho dos ensaios de concreto aos 7 dias	63
Gráfico 4.3 - Desempenho dos ensaios de concreto aos 28 dias	64
Gráfico 4.3 - Comparação do Desempenho dos ensaios de concreto.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Quantidade de fibras no concreto	22
Tabela 3.1 – Tabela quantidades de materiais para um concreto com resistência à compressão de 25 Mpa	48
Tabela 4.1 – Tabela de resultados dos ensaios de compressão	58
Tabela 4.2 – Tabela de Resultados obtidos da determinação granulométrica com a amostra de areia fina (500g).....	59
Tabela 4.3 – Tabela de Resultados obtidos da determinação granulométrica com a amostra de areia grossa (500g).....	60
Tabela 4.4 Resultados obtidos da massa específica areia fina (500g).....	60
Tabela 4.5 Resultados obtidos da massa específica areia grossa (500g).....	60
Tabela 4.6 Resultados obtidos na determinação granulométrica da amostra de brita – 0 (5Kg)	61
Tabela 4.7 Resultados obtidos na determinação granulométrica da amostra de brita – 1 (5Kg)	62
Tabela 4.8 Resultados obtidos da massa específica da amostra de brita – 1 (5Kg)	62
Tabela 4.9 Resultados obtidos no ensaio de massa específica do cimento Portland.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CRF - concreto reforçado com fibras

CRFP - concreto reforçado com fibras poliméricas

fL- Limite de Medição

IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto.

MPa - Mega Pascal

NBR - Normas Brasileiras

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	14
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	15
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo Geral	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 Histórico e Evolução do Concreto Reforçado com Fibras	21
2.1.1 Tipos de Fibras Utilizadas no Concreto	22
2.1.2 Fibras de Aço	24
2.1.3 Fibras de Vidro	25
2.1.4 Fibras Poliméricas	26
2.1.5 Fibras Naturais	27
2.2 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS (CRF)	29
2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS	32
2.3.1 Fibras Poliméricas no Concreto	35
2.3.2 Materiais Utilizados no Concreto Reforçado	37
2.3.3 Normas Técnicas Relacionadas	39
2.3.4 Corpos de Prova para Ensaios	41
2.3.5 Microfibra e Macrofibras no Concreto	43
2.3.6 Impacto da Inclusão de Fibras Poliméricas nas Propriedades Mecânicas do Concreto ..	45
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA	48
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	58
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS	70

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

O concreto estrutural é amplamente reconhecido como o material de construção mais utilizado no mundo devido à sua versatilidade, resistência à compressão e custo acessível. No entanto, apesar de suas vantagens, apresenta limitações intrínsecas, como baixa resistência à tração, baixa tenacidade e comportamento frágil, o que pode comprometer a durabilidade e a segurança estrutural de obras de engenharia civil (NEVILLE; BROOKS, 2013). Esses desafios impulsionaram a busca por soluções inovadoras que aprimorem as propriedades mecânicas do concreto, levando ao desenvolvimento de tecnologias como o concreto reforçado com fibras (CRF).

Historicamente, o concreto armado com barras de aço tem desempenhado um papel fundamental na engenharia civil, sendo amplamente utilizado em aplicações estruturais devido à sua capacidade de resistir a cargas de tração e compressão. No entanto, a armadura convencional não é eficaz para controlar fissurações localizadas em áreas sujeitas a tensões elevadas. Isso se torna particularmente relevante em situações em que a propagação de trincas pode levar à perda de durabilidade da estrutura ao longo do tempo (SCHEERER et al., 2015). O uso de fibras incorporadas ao concreto não é uma ideia recente. Evidências arqueológicas mostram que civilizações antigas, como os romanos, utilizavam crinas de cavalo e outros materiais fibrosos para reduzir a fissuração e melhorar a durabilidade de suas estruturas (NEVILLE; BROOKS, 2013). Na era moderna, a utilização de fibras sintéticas e naturais no concreto ganhou destaque nos últimos 60 anos, especialmente em função dos avanços na ciência dos materiais e na engenharia estrutural (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Dentre as soluções tecnológicas mais recentes, destaca-se o uso de fibras poliméricas, que têm despertado grande interesse devido às suas características únicas, como alta resistência à tração, durabilidade em ambientes agressivos e capacidade de melhorar o desempenho mecânico do concreto. Essas fibras são produzidas a partir de polímeros como polipropileno, poliéster e nylon, cada um com propriedades específicas que podem ser ajustadas para atender às necessidades de aplicações estruturais e não estruturais (KOCH et al., 2015).

As fibras poliméricas desempenham um papel fundamental na distribuição uniforme de tensões, reduzindo a concentração de tensões em pontos críticos e minimizando a propagação de fissuras. Essa característica é particularmente importante em aplicações onde a durabilidade e a segurança são críticas, como em pavimentos, túneis e estruturas expostas a ambientes agressivos. Além disso, o uso de fibras poliméricas no concreto contribui para a sustentabilidade do setor da construção, uma vez que pode reduzir a dependência de materiais

convencionais, como o aço, e promover a utilização de materiais recicláveis (ABNT NBR 16935:2021).

Os avanços nas pesquisas sobre CRF também têm destacado a influência das fibras poliméricas em propriedades do concreto no estado fresco, como trabalhabilidade e coesão, e no estado endurecido, como resistência à compressão, à tração e à flexão. Estudos mostram que a adição de fibras poliméricas pode melhorar significativamente a resistência ao impacto e a capacidade de absorção de energia do concreto, tornando-o mais eficiente em aplicações sujeitas a cargas dinâmicas e vibrações (SCHEERER et al., 2015).

Portanto, o presente trabalho visa explorar as potencialidades do concreto reforçado com fibras poliméricas, investigando suas propriedades mecânicas e o impacto da incorporação de diferentes tipos de fibras no desempenho geral do material. A pesquisa busca popularizar o uso desta tecnologia no sudoeste goiano, contribuindo para o desenvolvimento de soluções inovadoras que possam atender às demandas crescentes da indústria da construção civil.

1.1 JUSTIFICATIVA

O concreto reforçado com fibras (CRF) é um tipo de concreto que incorpora fibras de aço, polímeros ou outros materiais para melhorar suas propriedades mecânicas e de durabilidade. Essas fibras atuam como reforço secundário, ajudando a controlar a fissuração e aumentando a resistência à tração do concreto (KOCH, SILVA & REIS, 2015).

As propriedades do CRF dependem do tipo, quantidade e distribuição das fibras utilizadas. As fibras de aço, por exemplo, são comumente usadas devido à sua alta resistência e capacidade de absorver energia. Quando adicionadas ao concreto, essas fibras melhoram sua capacidade de suportar cargas dinâmicas e impactos, além de reduzir a propagação de fissuras (SCHEERER, JUNG & PETERS, 2015).

Por outro lado, o uso de fibras poliméricas tem ganhado destaque devido a características específicas como leveza, resistência química e flexibilidade. Fibras como as de polipropileno têm sido amplamente exploradas para aplicações em que a resistência à tração e a durabilidade sejam fundamentais. Também apresentam vantagens relacionadas à sua capacidade de dispersão homogênea no concreto, reduzindo significativamente os efeitos negativos da retração plástica (RAMACHANDRAN e BEAUDOIN, 2019).

Outro ponto que justifica a investigação do concreto reforçado com fibras poliméricas é a crescente necessidade de materiais sustentáveis e economicamente viáveis na construção civil. As fibras poliméricas podem ser produzidas a partir de materiais reciclados, como plásticos descartados, contribuindo para a redução do impacto ambiental associado à fabricação de

concreto (JOHNSON et al., 2020). Além disso, o uso de fibras pode diminuir a necessidade de armaduras convencionais, reduzindo os custos totais das obras.

Um aspecto técnico-científico importante a ser destacado é o comportamento do concreto reforçado com fibras sob diferentes condições de carga. Estudos mostram que a adição de fibras pode melhorar a ductilidade do concreto, permitindo que ele suporte deformações maiores antes de falhar (ACI COMMITTEE 544, 2002). Essa característica é particularmente relevante em aplicações que envolvem cargas dinâmicas, como pavimentos, túneis e estruturas sujeitas a impactos.

A presente pesquisa visa investigar a eficácia da utilização de fibras com propriedades distintas, comparando o desempenho dos compósitos resultantes em termos de incremento de resistência à tração e tenacidade. Em contraste com estudos convencionais que se concentram em concretos simples ou na utilização de apenas um tipo de fibra, este trabalho pretende preencher uma lacuna significativa no conhecimento.

Adicionalmente, o uso de fibras com propriedades distintas pode oferecer benefícios econômicos, como a possibilidade de reduzir custos de produção por meio da seleção criteriosa de materiais, bem como a potencial ampliação do leque de aplicações dos compósitos, permitindo que sejam utilizados em uma variedade ainda maior de setores industriais. Essa abordagem também pode contribuir para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras e mais sustentáveis para a construção civil, alinhando-se às demandas contemporâneas por soluções que combinem eficiência e responsabilidade ambiental.

Do ponto de vista prático, o uso de fibras no concreto permite a criação de estruturas mais leves e com melhor desempenho, além de reduzir custos relacionados à manutenção e reparo. Já do ponto de vista científico, esta pesquisa contribui para o entendimento dos mecanismos de interação entre fibras e matriz de concreto, bem como para a otimização de misturas que atendam a requisitos específicos de desempenho.

Embora existam vários estudos sobre o uso de fibras no concreto, ainda há uma lacuna no que se refere à combinação de diferentes tipos de fibras e à análise de seus efeitos sinérgicos no desempenho mecânico do material (SANTOS e ALMEIDA, 2021). Este trabalho pretende abordar essa lacuna, oferecendo novos insights e diretrizes para a aplicação prática do concreto reforçado com fibras poliméricas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar a influência da incorporação de diferentes tipos de fibras poliméricas em propriedades do concreto fresco e endurecido.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da incorporação de fibras poliméricas na trabalhabilidade do concreto fresco.
- Investigar o impacto das fibras poliméricas na resistência à compressão do concreto endurecido e em sua trabalhabilidade .
- Propor recomendações para otimizar o uso de fibras poliméricas no concreto, considerando desempenho e custo-benefício.

Nesse contexto, os objetivos traçados neste estudo visam compreender, de forma abrangente, como as fibras poliméricas influenciam as propriedades mecânicas e físicas do concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido, promovendo ganhos, resistência e durabilidade. Além disso, a comparação entre diferentes tipos de fibras permite identificar aquelas que apresentam o melhor desempenho, fornecendo subsídios técnicos para uma aplicação otimizada na prática.

CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

O concreto reforçado com fibras (CRF) representa uma evolução significativa no campo dos materiais de construção, trazendo inovações que superam as limitações do concreto armado tradicional. O desenvolvimento do CRF começou a ganhar evidência nas décadas de 1960 e 1970, quando pesquisadores perceberam que a adição de fibras poderia melhorar substancialmente a resistência à tração e a tenacidade do concreto. Antes dessa inovação, o concreto armado com barras de aço já era amplamente utilizado para melhorar a resistência à tração, mas essa técnica não conseguia mitigar totalmente problemas como a fissuração localizada e a baixa resistência ao impacto.

Conforme Koch et al. (2015), o período pós-guerra foi crucial para a consolidação do concreto armado, impulsionado pela necessidade de reconstrução e desenvolvimento de infraestrutura. A eficiência e a capacidade de carga desse material o tornaram a escolha principal em projetos estruturais. No entanto, as limitações do concreto armado, como sua propensão à fissuração devido à retração e a baixa resistência à tração, geraram a necessidade de novos materiais e técnicas.

As fibras usadas no concreto reforçado com fibras (CRF) podem variar em material, tamanho e forma. Fibras de aço, vidro, poliméricas (como polipropileno) e naturais (como sisal) são comumente utilizadas. As dimensões das fibras também variam, geralmente tendo comprimentos entre 10 mm e 60 mm e diâmetros que podem ir de micrômetros a milímetros, dependendo do material e da aplicação desejada. Dentro do concreto, as fibras estão distribuídas aleatoriamente, criando uma matriz reforçada que ajuda a controlar a abertura de fissuras e a melhorar a resistência geral do material (SILVA et al., 2020).

Os primeiros estudos focaram principalmente em fibras de aço, devido à sua compatibilidade com o concreto e à facilidade de incorporação. À medida que a pesquisa avançava, outras fibras, como as de vidro, poliméricas e naturais, começaram a ser exploradas. Cada tipo de fibra apresenta suas próprias vantagens e limitações, tornando o CRF um material altamente versátil (SCHEERER, JUNG & PETERS, 2015).

O aumento do uso do CRF trouxe também desafios técnicos e a necessidade de normas específicas para garantir a qualidade e a consistência do material. A NBR 16935:2021 e a NBR 16938:2021 são exemplos de normas que foram desenvolvidas para padronizar o uso e o controle de qualidade do CRF, garantindo que ele atenda às expectativas de desempenho e durabilidade (PEREIRA, 2019).

Além disso, o papel das instituições de pesquisa e associações, como o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), tem sido fundamental na disseminação de conhecimento e na promoção de práticas inovadoras. Essas entidades organizam conferências, publicam estudos e desenvolvem diretrizes que ajudam engenheiros e construtores a aproveitar ao máximo as vantagens do CRF (ALMEIDA, 2018).

2.1.1 Tipos de Fibras Utilizadas no Concreto

No concreto armado, diferentes tipos de fibras são utilizados para melhorar suas propriedades mecânicas e de durabilidade. As fibras de aço são conhecidas por sua alta resistência à tração e ajudam a controlar fissuras, além de aumentar a resistência ao impacto e à fadiga do concreto. As fibras de polipropileno são utilizadas principalmente para reduzir a fissuração por retração plástica e melhorar a durabilidade, sendo leves e resistentes a produtos químicos. As fibras de vidro aumentam a resistência à tração e à flexão do concreto, além de serem resistentes à corrosão, sendo frequentemente usadas em aplicações onde a estética é importante. As fibras de nylon melhoram a resistência ao impacto e à abrasão do concreto, sendo também eficazes na redução de fissuras por retração plástica.

As fibras de carbono oferecem alta resistência e rigidez, sendo utilizadas em aplicações que requerem desempenho superior, como em estruturas de concreto de alto desempenho. Cada tipo de fibra tem suas próprias vantagens e é escolhido com base nas necessidades específicas do projeto. Conforme será descrito nas subseções do texto e ilustrado na Figura 1 e Tabela 2.1.

Figura 1 – Exemplo de Fibras para o Concreto



Fonte: Revista AdNormas (2019)

Tabela 2.1 – Quantidade de fibras no concreto

Tipo de fibra	Dimensões das fibras	Densidade relativa	Volume de fibras (%)	Teor de fibras (kg/m ³)	Número de fibras por m ³ de concreto	Comprimento das fibras por m ³ de concreto
Barras de aço Armadura convencional (referência para comparação)	diâmetro da barra ø = 25mm	7,85	3 %	240 (teor alto)	61	61 m
Fibras de aço  (Catálogo Dramix)	L = 50mm ø = 0,5 mm	7,85	1 %	80	1×10^6	50 km
Fibras de Polipropileno 	L = 25mm ø= 0,018mm	0,9	0,1 %	0,9	157×10^6	4 000 km
Fibras de Carbono <i>As mais resistentes, porém as mais caras. Usadas em alguns tipos de pré fabricados</i>	L = 6mm ø= 0,018mm	1,70	3 %	48	$19\,600 \times 10^6$	118 000 km

Fonte: KOCH, SILVA & REIS, 2015

2.1.2 Fibras de Aço

As fibras de aço são, sem dúvida, as mais amplamente utilizadas no concreto devido à sua elevada resistência à tração e capacidade de melhorar a tenacidade e a resistência ao impacto do material (KOCH, SILVA & REIS, 2015). Estas fibras são geralmente fabricadas a partir de fios de aço de alta resistência, como o aço carbono, a resistência à tração das fibras de aço pode variar bastante, dependendo da orientação das fibras e da qualidade da fabricação. Em geral, a resistência à tração das fibras de aço utilizadas no concreto reforçado é superior a 1.000 MPa¹. Algumas fibras de aço podem alcançar resistências que variam de 300 a 4.000 MPa².

Os diâmetros dos fios de aço utilizados para fabricar as fibras variam, normalmente, de 0,2 mm a 1 mm. Quanto ao comprimento, as fibras de aço típicas têm dimensões que variam de 25 mm a 60 mm, embora existam variações fora dessa faixa para aplicações específicas. As fibras são cortadas em pequenos pedaços e misturadas ao concreto, proporcionando um reforço tridimensional que ajuda a melhorar suas propriedades mecânicas.

De acordo com Koch et al. (2015), as fibras de aço não apenas aumentam a resistência à tração do concreto, mas também ajudam a controlar a fissuração por retração plástica e a aumentar a durabilidade do material. Ao distribuir tensões de forma mais uniforme e prevenir a propagação de fissuras, as fibras de aço são eficazes em melhorar o desempenho do concreto em condições de carga dinâmicas e de impacto, tornando-o adequado para uma variedade de aplicações estruturais, segundo a Figura 2.

Figura 2 – Fibras de Aço para o Concreto



Fonte: Revista AdNormas (2019)

As fibras de aço podem ser encontradas em várias formas, como retas, em forma de gancho ou com extremidades deformadas, cada uma projetada para melhorar a aderência com a matriz de concreto. Essa característica é essencial para maximizar a eficiência do reforço, especialmente em aplicações sujeitas a cargas dinâmicas e cíclicas, como pavimentos e estruturas sujeitas a vibrações.

2.1.3 Fibras de Vidro

As fibras de vidro são uma escolha popular em aplicações onde a resistência à corrosão e a estética são importantes. Estas fibras são produzidas a partir de vidro resistente a álcalis (AR), o que lhes confere excelente durabilidade em ambientes agressivos. O processo de produção envolve a fusão de matérias-primas de vidro, que são então extrudadas em finos filamentos. Esses filamentos são revestidos com agentes de acoplamento para melhorar a adesão à matriz de concreto.

As fibras de vidro são geralmente de diâmetro pequeno, variando de 10 a 20 micrômetros, e possuem comprimentos típicos entre 12 mm e 50 mm. A escolha do comprimento e do diâmetro das fibras pode variar dependendo das necessidades específicas do projeto e das propriedades desejadas do concreto reforçado.

Segundo Scheerer et al. (2015), as fibras de vidro são eficazes na prevenção de fissuras por retração, aumentando a resistência à tração do concreto e melhorando a durabilidade. Sua incorporação na matriz de concreto resulta em um reforço que ajuda a distribuir tensões de maneira mais uniforme e a limitar a propagação de fissuras, características que são especialmente valiosas em aplicações sujeitas a ambientes corrosivos.

Além disso, as fibras de vidro oferecem vantagens estéticas, pois são menos visíveis no concreto endurecido, mantendo uma aparência mais uniforme e suave. Essa característica é particularmente apreciada em aplicações arquitetônicas e em acabamentos visíveis.

Para ilustrar a eficácia das fibras de vidro, Scheerer et al. (2015) demonstraram no exemplo da Figura 3 como essas fibras ajudam a reduzir a fissuração por retração e a melhorar a resistência estrutural do concreto. A resistência à corrosão das fibras de vidro também faz com que sejam uma escolha preferida em estruturas expostas a ambientes agressivos, como fachadas de edifícios e elementos de infraestrutura costeira.

Figura 3 – Fibras de Vidro para o Concreto



Fonte: Revista AdNormas (2019)

Uma das principais vantagens das fibras de vidro é sua leveza, o que facilita a manipulação e a mistura no concreto. Além disso, elas são transparentes, o que permite a sua utilização em concretos translúcidos, uma inovação que tem aplicações em projetos arquitetônicos modernos.

2.1.4 Fibras Poliméricas

As fibras poliméricas, como o polipropileno e o nylon, são amplamente utilizadas para controlar a fissuração por retração plástica no concreto fresco. Essas fibras são valorizadas por sua leveza, facilidade de mistura e resistência química. O processo de produção das fibras poliméricas envolve a extrusão de polímeros fundidos em filamentos finos, que são então cortados em tamanhos adequados para incorporação ao concreto.

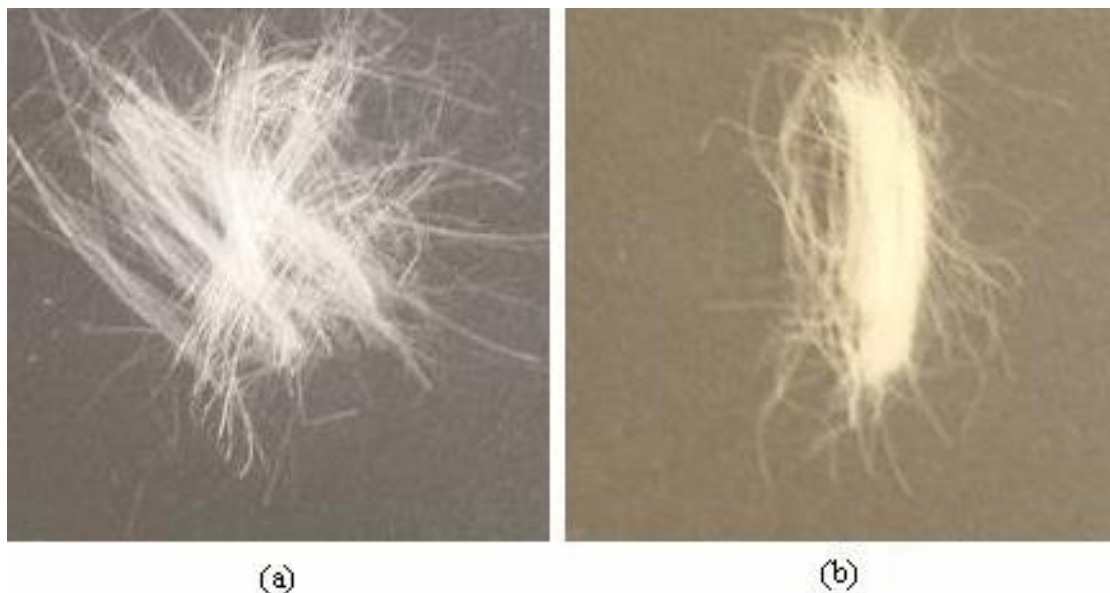
As fibras poliméricas são geralmente fabricadas com diâmetros que variam de 0,5 mm a 1 mm e comprimentos típicos entre 6 mm e 12 mm. O polipropileno, por exemplo, é conhecido por sua boa resistência à umidade e aos produtos químicos, enquanto o nylon oferece uma resistência superior ao impacto e à abrasão.

De acordo com Koch et al. (2015), as fibras poliméricas desempenham um papel crucial na distribuição uniforme das tensões dentro do concreto, ajudando a prevenir a formação de fissuras por retração plástica. Essas fibras atuam como uma rede de reforço que melhora a coesão da mistura e reduz a incidência de fissuras superficiais, especialmente em concreto fresco.

Além de suas propriedades mecânicas e químicas favoráveis, as fibras poliméricas são de fácil manejo e não alteram significativamente a trabalhabilidade do concreto, o que as torna uma escolha prática para diversas aplicações. O exemplo ilustrado na figura 4 demonstra como as fibras poliméricas ajudam a minimizar as fissuras e a melhorar a integridade estrutural do concreto.

Essas características fazem com que as fibras poliméricas sejam adequadas para uma variedade de usos, desde pavimentos e lajes até elementos de concreto pré-moldado, proporcionando uma solução eficaz para melhorar a durabilidade e a performance do concreto em condições variadas.

Figura 4 – Fibras Poliméricas, (a)-Fibra de Polietileno de Alto Módulo; (b)-Fibra de Polipropileno



Fonte: Revista AdNormas (2019)

Estas fibras são particularmente úteis em aplicações onde a resistência química é crucial, como em estruturas expostas a ambientes corrosivos ou sujeitos a produtos químicos agressivos. Além disso, as fibras poliméricas são não condutivas, o que as torna ideais para uso em aplicações elétricas ou onde a condutividade deve ser minimizada.

2.1.5 Fibras Naturais

As fibras naturais, como o bambu, a juta e o coco, têm ganhado atenção devido à sua sustentabilidade e disponibilidade. Estas fibras não apenas melhoram as propriedades mecânicas do concreto, mas também contribuem para a redução do impacto ambiental da

construção. O processo de produção dessas fibras envolve a coleta das plantas, seguida pelo tratamento para remover impurezas e preparar as fibras para a incorporação no concreto.

As fibras de bambu, por exemplo, são obtidas a partir dos caules da planta, que são cortados e processados em filamentos finos. As fibras de juta são extraídas das cascas das plantas de juta e, após secagem e preparação, são cortadas em tamanhos adequados. As fibras de coco, por sua vez, são obtidas das cascas externas dos cocos, que são processadas e separadas em fibras longas e resistentes (SCHEERER, JUNG & PETERS, 2015).

As dimensões das fibras naturais variam conforme o tipo de fibra e o processo de tratamento. Normalmente, as fibras de bambu têm comprimentos que variam de 50 mm a 100 mm e diâmetros que podem variar de 1 mm a 3 mm. As fibras de juta e coco são geralmente um pouco mais curtas, com comprimentos que vão de 10 mm a 30 mm e diâmetros similares.

De acordo com Scheerer et al. (2015), as fibras naturais contribuem para o aumento da ductilidade e da resistência ao impacto do concreto. Elas atuam como reforços que distribuem as tensões de forma mais uniforme e ajudam a controlar a propagação de fissuras, além de melhorar a resistência geral do material. O exemplo ilustrado na figura 5 demonstra como as fibras naturais podem aumentar a ductilidade e a resistência ao impacto do concreto, tornando-o mais adequado para aplicações que exigem maior flexibilidade e resistência a choques.

Além dos benefícios mecânicos, o uso de fibras naturais tem a vantagem de ser uma solução mais ecológica, aproveitando recursos renováveis e reduzindo o uso de materiais sintéticos, o que contribui para a sustentabilidade das práticas de construção (SCHEERER, JUNG & PETERS, 2015).

Figura 5 – Fibras Naturais. Fibras utilizadas na pesquisa (sisal, rami e polipropileno).



Fonte: Revista AdNormas (2019)

O uso de fibras naturais também promove práticas de construção sustentável, uma vez que muitas dessas fibras são biodegradáveis e renováveis. Além disso, elas podem ser uma fonte de renda para comunidades rurais, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico.

2.2 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS (CRF)

O Concreto Reforçado com Fibras (CRF) é uma inovação significativa na engenharia civil, que visa aprimorar as propriedades do concreto convencional, especialmente em relação à resistência à tração, controle de fissuras, resistência à flexão e durabilidade. A adição de fibras à mistura do concreto resulta em um material com comportamento mais equilibrado e resiliente frente a esforços dinâmicos e estáticos, além de proporcionar maior longevidade e resistência à degradação. Embora o uso de fibras no concreto não seja uma tecnologia nova, ela foi significativamente aprimorada ao longo dos anos, com o desenvolvimento de diversos tipos de fibras, como metálicas, poliméricas e naturais. Cada tipo de fibra possui características distintas que influenciam diretamente o desempenho do concreto, proporcionando vantagens em diferentes condições de aplicação.

O CRF é um tipo de concreto que contém fibras incorporadas à sua matriz, podendo ser estas de materiais como aço, vidro, polipropileno, nylon, entre outros. A principal função das fibras é melhorar a capacidade do concreto em resistir a tensões e deformações, além de prevenir a propagação de fissuras. As fibras atuam como reforços distribuídos ao longo do concreto, criando uma rede que limita o crescimento de trincas, o que contribui para o aumento da resistência à fratura, impactando positivamente a performance geral do material. As fibras podem ser de diferentes comprimentos e, dependendo de sua natureza, também podem melhorar as propriedades térmicas e acústicas do concreto. O processo de incorporação das fibras ao concreto é relativamente simples, com as fibras sendo adicionadas diretamente à mistura do concreto ou aplicadas através de métodos específicos, como o uso de aditivos. No entanto, um dos principais desafios da utilização do CRF é garantir que a distribuição das fibras seja homogênea, o que é essencial para o aproveitamento pleno das suas propriedades.

A utilização do CRF proporciona diversos benefícios, que fazem desse material uma alternativa vantajosa em relação ao concreto convencional. Um dos principais benefícios é o aumento da resistência à fissuração, um dos maiores desafios do concreto tradicional. O concreto comum é suscetível à fissuração sob tensões de tração, compressão ou variações térmicas, o que pode comprometer a durabilidade e a integridade da estrutura. Com a adição de fibras, essa tendência é reduzida, pois as fibras distribuem as tensões e limitam o crescimento das fissuras (SANTOS et al., 2015). Além disso, a resistência à tração do concreto também é significativamente

melhorada. O concreto, por sua natureza, apresenta uma baixa resistência a tensões de tração, o que o torna vulnerável a fissuras e rupturas. A adição de fibras proporciona uma melhoria substancial nessa resistência, tornando as estruturas mais seguras (AZEVEDO et al., 2018).

O CRF também se destaca pela resistência ao impacto e à fadiga. Estruturas de concreto estão frequentemente sujeitas a esforços de impacto, como em pavimentos, pisos industriais e fundações. As fibras, especialmente as metálicas ou poliméricas, aumentam a resistência do concreto a choques e impactos, distribuindo de maneira mais uniforme as cargas aplicadas. O CRF também apresenta uma maior resistência à fadiga, devido à sua capacidade de absorver energia e reduzir a propagação de fissuras (ALMEIDA et al., 2020). Outro benefício importante é o aumento da durabilidade do concreto, particularmente quando exposto a condições adversas, como temperaturas extremas ou ambientes químicos agressivos. A presença das fibras contribui para a redução da necessidade de manutenção e aumenta a vida útil das estruturas, tornando o CRF uma solução econômica a longo prazo (McCarthy, 2012). No que diz respeito ao controle das fissuras plásticas, as fibras ajudam a minimizar as fissuras iniciais que ocorrem durante o processo de cura, especialmente em ambientes quentes ou com ventos fortes. Isso é particularmente importante em grandes obras de concreto, como pavimentos e lajes de grande extensão (COSTA et al., 2019).

A resistência à flexão é outra propriedade importante que é aprimorada com a utilização de fibras no concreto. Elementos estruturais como vigas, lajes e pilares, que são sujeitos a esforços de flexão, se beneficiam do reforço proporcionado pelas fibras, que ajudam a resistir à deformação e evitam a formação de fissuras (PEREIRA et al., 2017). Além disso, o CRF pode reduzir o uso de aço em algumas aplicações, proporcionando uma alternativa mais econômica. As fibras desempenham parte do papel das barras de aço em estruturas que não exigem grandes tensões de tração, como pavimentos e pisos industriais. Isso resulta em uma redução no custo de materiais e contribui para uma construção mais rápida e eficiente (AZEVEDO et al., 2018). Por fim, a maior durabilidade e resistência a fissuras do CRF também resultam em menores custos de manutenção. O concreto convencional frequentemente necessita de reparos devido ao desgaste causado por fissuras e degradação, enquanto o CRF oferece maior resistência ao desgaste e ao envelhecimento, reduzindo a necessidade de reparos e, consequentemente, os custos ao longo da vida útil da estrutura (ALMEIDA et al., 2020).

O CRF tem uma ampla gama de aplicações na engenharia civil, tanto em pequenas quanto em grandes obras de infraestrutura. Em pavimentos e rodovias, o CRF é utilizado devido à sua capacidade de resistir ao tráfego intenso e à abrasão, aumentando a durabilidade e a segurança das estradas. Em estruturas de concreto pré-moldado, como lajes, pilares e vigas, o CRF

melhora a resistência e a durabilidade das peças, reduzindo o risco de fissuração durante o transporte e manuseio. Em pisos industriais, o CRF proporciona maior resistência à abrasão e ao impacto, o que é essencial para superfícies sujeitas a tráfego pesado e cargas dinâmicas. O CRF também é amplamente utilizado em reservatórios de água e tanques, onde a resistência à tração e a durabilidade são essenciais para evitar a infiltração de água e garantir a integridade estrutural. Em construções de pequeno porte, como muros e fundações, o CRF pode ser utilizado para melhorar a resistência e a durabilidade do concreto, sem a necessidade de grandes quantidades de aço (McCarthy, 2012).

O Concreto Reforçado com Fibras (CRF) é uma inovação significativa na engenharia civil, voltada para a melhoria das propriedades do concreto convencional. O CRF é obtido pela adição de fibras à matriz de concreto, e essas fibras podem ser feitas de diversos materiais, como metálicas, poliméricas e naturais. A principal vantagem dessa modificação é a melhoria nas propriedades mecânicas do concreto, especialmente sua resistência à tração, durabilidade, controle de fissuras e resistência à flexão. Além disso, o CRF oferece benefícios adicionais, como maior resistência ao impacto e à fadiga, durabilidade superior em condições adversas, e maior resistência a esforços dinâmicos. O uso de fibras no concreto não é uma tecnologia nova, mas as pesquisas recentes permitiram um refinamento contínuo dessa técnica, com o objetivo de otimizar o desempenho do material. Em particular, as fibras poliméricas têm se destacado por suas propriedades específicas, que as tornam uma solução atraente para diversas aplicações na engenharia civil (AZEVEDO et al., 2018).

As fibras utilizadas no concreto podem ser classificadas em três tipos principais: naturais, metálicas e poliméricas. As fibras metálicas são comumente usadas devido à sua alta resistência à tração e durabilidade, sendo amplamente empregadas em aplicações que demandam resistência ao impacto e à fadiga, como pavimentos e pisos industriais. Já as fibras naturais, embora apresentem vantagens em termos de sustentabilidade, são menos duráveis e com propriedades mecânicas limitadas em comparação às metálicas. As fibras poliméricas, por outro lado, têm se mostrado bastante eficazes no aumento das propriedades mecânicas do concreto, especialmente no que se refere ao controle de fissuras e à resistência à tração. Essas fibras poliméricas podem ser feitas de materiais como polipropileno, nylon e polietileno, e são valorizadas por sua leveza, resistência à corrosão e capacidade de melhorar a integridade estrutural do concreto em ambientes agressivos, como áreas expostas à água e produtos químicos (COSTA et al., 2019).

A incorporação de fibras poliméricas no concreto contribui significativamente para o incremento das propriedades mecânicas do material. As fibras de polipropileno, por exemplo,

têm sido amplamente estudadas por sua capacidade de melhorar a resistência à tração e ao impacto do concreto. Essas fibras são eficazes no controle da fissuração plástica durante o processo de cura, além de promoverem a distribuição uniforme das tensões no concreto, o que ajuda a prevenir o crescimento das fissuras e aumenta a durabilidade das estruturas. A presença de fibras poliméricas também tem sido associada à melhoria da resistência à fadiga e à redução dos custos de manutenção, uma vez que essas fibras reduzem a necessidade de reparos frequentes e prolongam a vida útil das estruturas de concreto. Além disso, a adição dessas fibras pode diminuir a necessidade de armaduras de aço em determinadas aplicações, como pavimentos e elementos pré-moldados, resultando em uma redução nos custos de materiais e tornando a construção mais eficiente (MCCARTHY, 2012).

A durabilidade do concreto reforçado com fibras poliméricas também merece destaque. O CRF com fibras de polipropileno, por exemplo, tem demonstrado resistência superior à agressão de produtos químicos e à deterioração causada por variações térmicas, o que aumenta a vida útil de estruturas expostas a condições ambientais severas. A incorporação dessas fibras contribui ainda para a resistência ao desgaste e à abrasão, fatores críticos em aplicações como pavimentos de rodovias e pisos industriais, que estão sujeitos a tráfego pesado e condições de alta demanda. A utilização de fibras poliméricas no concreto também tem sido associada a uma maior resistência à infiltração de água, o que é particularmente importante em reservatórios, tanques e outras estruturas que necessitam de impermeabilidade (SANTOS et al., 2015).

Dessa forma, o uso de fibras poliméricas no concreto reforçado tem se mostrado uma solução promissora para a engenharia civil, proporcionando melhorias substanciais nas propriedades mecânicas e na durabilidade do material. As pesquisas nessa área continuam a evoluir, buscando novas formas de otimizar a performance do CRF e ampliar suas aplicações em diferentes tipos de projetos de infraestrutura (AZEVEDO et al., 2018).

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

A incorporação de fibras poliméricas no concreto, formando o Concreto Reforçado com Fibras (CRF), resulta em um material com propriedades mecânicas notavelmente aprimoradas em comparação ao concreto convencional. As fibras podem influenciar diversas características importantes do concreto, como a resistência à tração, à compressão, a tenacidade, a resistência ao impacto, a capacidade de absorção de energia e o controle de fissuras. O desempenho do CRF em relação a essas propriedades é essencial para a escolha de sua aplicação em diferentes contextos, como pavimentos, elementos estruturais de concreto e em ambientes sujeitos a condições severas de carga e agressão ambiental. O estudo das propriedades mecânicas do CRF,

especialmente no que se refere à resistência à tração e compressão, à tenacidade e à capacidade de absorção de energia, é fundamental para avaliar sua eficácia e potencial em diversas situações.

A resistência à tração do concreto reforçado com fibras é uma das propriedades mais importantes que se beneficia da adição de fibras poliméricas. O concreto, por sua natureza, tem uma resistência à tração relativamente baixa, o que torna suas estruturas suscetíveis à fissuração quando submetidas a esforços de tração. O aumento da resistência à tração com a adição de fibras poliméricas pode ser explicado pela distribuição mais homogênea das tensões internas, que impede a propagação das fissuras e ajuda a controlar seu crescimento. As fibras poliméricas, como o polipropileno, são particularmente eficazes em impedir o alargamento de fissuras plásticas que podem ocorrer durante o processo de cura do concreto. Em muitas situações, as fibras atuam como um reforço secundário, distribuindo as tensões de maneira mais equilibrada e evitando a formação de fissuras que comprometem a integridade da estrutura. Estudos mostram que a adição de fibras pode resultar em um aumento significativo da resistência à tração do concreto, principalmente em elementos expostos a variações de temperatura e umidade, que são fatores comuns nas construções expostas ao ambiente (AZEVEDO et al., 2018).

Além disso, a resistência à compressão também é uma característica crítica para a avaliação do desempenho do CRF. Embora o concreto convencional apresente uma resistência à compressão considerável, a introdução de fibras no material pode ter um efeito significativo, dependendo da quantidade e do tipo de fibra adicionada. As fibras poliméricas têm a capacidade de melhorar a distribuição das tensões internas do concreto, o que pode resultar em uma maior resistência à compressão sob determinadas condições de carga. As fibras ajudam a reduzir a formação de fissuras, o que, por sua vez, pode evitar a propagação dessas fissuras sob carga compressiva. No entanto, o efeito das fibras poliméricas sobre a resistência à compressão pode ser complexo, dependendo das características do concreto e das fibras utilizadas. Em alguns casos, a resistência à compressão pode ser ligeiramente reduzida, principalmente quando as fibras não são distribuídas de maneira uniforme ou quando são usadas em quantidades excessivas. Portanto, a relação entre a quantidade de fibras e a resistência à compressão deve ser cuidadosamente otimizada para obter os melhores resultados em termos de desempenho do material (COSTA et al., 2019).

A tenacidade do concreto reforçado com fibras é outra propriedade importante que se beneficia da presença de fibras poliméricas. A tenacidade refere-se à capacidade do material de absorver energia antes de sofrer uma falha, e a adição de fibras tem um impacto significativo nesse

aspecto. A tenacidade do CRF é essencial para aumentar a resistência à fadiga e ao impacto, bem como para melhorar o comportamento do material sob esforços repetidos ou dinâmicos. A presença de fibras poliméricas, como o polipropileno, contribui para a absorção de energia ao impedir a propagação rápida de fissuras, o que permite que o material suporte cargas dinâmicas sem se romper facilmente. A melhoria da tenacidade também resulta em um aumento na capacidade de absorção de energia do material, permitindo que ele dissipe maior quantidade de energia sem falhar, o que é crucial em aplicações sujeitas a impactos ou cargas cíclicas. Estudos têm demonstrado que o CRF com fibras poliméricas tem um desempenho superior em termos de tenacidade quando comparado ao concreto convencional, sendo uma escolha preferencial em estruturas que exigem alta resistência ao impacto, como pavimentos rodoviários e elementos estruturais em zonas sísmicas (MCCARTHY, 2012).

A resistência ao impacto é uma das principais vantagens do CRF, especialmente quando se utiliza fibras poliméricas como o polipropileno. O concreto convencional, embora robusto, pode ser bastante suscetível a danos causados por impactos, o que pode comprometer a integridade estrutural de elementos expostos a condições de impacto frequente. A adição de fibras no concreto melhora significativamente sua resistência ao impacto, pois as fibras atuam como uma rede interna que distribui e amortiza as forças de impacto, evitando o alastramento das fissuras e o colapso do material. As fibras poliméricas são especialmente eficazes em melhorar essa propriedade, já que não corroem e mantêm sua resistência mesmo em ambientes agressivos. A resistência ao impacto do CRF é uma característica altamente desejável em pavimentos de rodovias, pisos industriais e estruturas de concreto expostas a tráfego pesado ou a ações sísmicas. As fibras de polipropileno, devido à sua flexibilidade e resistência, ajudam a absorver e dissipar as forças de impacto, o que contribui para a longevidade e a durabilidade das estruturas (SANTOS et al., 2015).

O controle de fissuras também é uma das funções mais relevantes da adição de fibras ao concreto. As fissuras são um problema comum no concreto, resultando em redução da durabilidade e resistência do material. As fibras poliméricas têm a capacidade de controlar a formação de fissuras plásticas durante o processo de cura do concreto, distribuindo as tensões de maneira uniforme e impedindo o alargamento das fissuras. A adição de fibras no concreto ajuda a melhorar sua capacidade de resistir ao desenvolvimento de fissuras, o que aumenta a durabilidade das estruturas de concreto. Em ambientes sujeitos a variações térmicas, umidade e outras condições ambientais, o controle das fissuras é fundamental para preservar a integridade estrutural e evitar a necessidade de reparos frequentes. As fibras poliméricas, especialmente as de polipropileno, têm se mostrado eficazes no controle de fissuras,

aumentando a vida útil das estruturas e reduzindo os custos de manutenção (SANTOS et al., 2015).

2.3.1 Fibras Poliméricas no Concreto

As fibras poliméricas no concreto têm se mostrado uma alternativa inovadora para melhorar as propriedades mecânicas e de durabilidade desse material. Essas fibras, principalmente as microfibras e as macrofibras, são amplamente utilizadas na engenharia civil devido à sua capacidade de modificar as características do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Sua adição pode melhorar a resistência à tração, a ductilidade, a durabilidade e a resistência à fissuração do concreto, sem afetar significativamente o custo do material. Além disso, as fibras poliméricas desempenham um papel importante na resistência ao impacto e na prevenção de trincas em estruturas de concreto.

As fibras poliméricas podem ser divididas em duas categorias principais: microfibras e macrofibras. As microfibras são fibras com diâmetro inferior a 0,1 mm e comprimento variável, geralmente entre 6 mm e 12 mm. Elas são utilizadas principalmente para melhorar a resistência à fissuração superficial e a durabilidade do concreto. Em contraste, as macrofibras têm um diâmetro maior, geralmente superior a 0,1 mm, e são empregadas para aumentar a resistência à tração e a flexão do concreto, além de reduzir a propagação de trincas em situações de carga elevada (AHMED; OTHMAN, 2019). Essas fibras podem ser feitas de diferentes materiais, como polipropileno, polietileno, nylon, entre outros, e a escolha do tipo de fibra depende das necessidades específicas da obra, como resistência ao desgaste, durabilidade e custo.

No estado fresco, a adição de fibras poliméricas pode alterar a trabalhabilidade do concreto. O efeito dessa adição pode ser tanto positivo quanto negativo, dependendo do tipo e da quantidade de fibra utilizada. A introdução de microfibras, por exemplo, pode melhorar a coesão do concreto e reduzir a segregação dos componentes, mas, ao mesmo tempo, pode dificultar o processo de mistura e aumentar a viscosidade da mistura. Por outro lado, as macrofibras, devido ao seu tamanho e resistência, podem melhorar a retenção de água na mistura, mas sua presença pode dificultar a homogeneização do concreto, principalmente em grandes volumes (GUO; LIU, 2020). A escolha da fibra, portanto, deve ser cuidadosamente planejada, considerando-se as características específicas do projeto e as propriedades desejadas no concreto.

Em relação ao estado endurecido, as fibras poliméricas atuam principalmente na melhoria das propriedades mecânicas do concreto. Elas ajudam a aumentar a resistência à tração e a flexão, além de melhorar a resistência ao impacto e à fadiga. Esse aumento de desempenho ocorre porque as fibras, distribuídas de maneira uniforme no concreto, ajudam a evitar a propagação

de fissuras e a distribuir as tensões de maneira mais eficiente. No caso das microfibras, o principal benefício é a melhoria da resistência à tração inicial e a redução da fissuração, enquanto as macrofibras proporcionam um aumento significativo na resistência à tração pós-fissuração, o que as torna adequadas para uso em pavimentos e em estruturas sujeitas a cargas dinâmicas (MOURA et al., 2021). Além disso, as fibras poliméricas têm um papel importante na resistência à fadiga e na redução do comportamento frágil do concreto, aumentando a sua ductilidade.

A comparação entre as fibras micro e macro revela diferenças significativas em termos de desempenho e aplicações. As microfibras são eficazes na prevenção de trincas finas e no aumento da resistência à abrasão e à corrosão, sendo utilizadas principalmente em concretos de acabamento e pavimentos. Já as macrofibras, devido ao seu tamanho e resistência, são ideais para situações onde se espera maior tensão e maiores esforços, como em concreto estrutural, pavimentos de alto desempenho e na construção de túneis e pontes. Ambas as fibras têm benefícios distintos, e a escolha entre elas deve considerar as condições de aplicação e as propriedades desejadas. Um estudo realizado por SILVA et al. (2020) demonstrou que a adição de macrofibras pode reduzir significativamente o número de fissuras e melhorar a resistência à tração, especialmente em concretos submetidos a altas tensões.

Em termos de durabilidade, as fibras poliméricas também desempenham um papel crucial. Elas podem melhorar a resistência do concreto à ação de agentes agressivos, como cloretos e sulfatos, e à abrasão, além de reduzir a permeabilidade do concreto. As microfibras, devido ao seu pequeno tamanho, têm a capacidade de preencher os espaços vazios dentro da matriz do concreto, tornando-o menos permeável e, conseqüentemente, mais resistente à penetração de agentes agressivos. Já as macrofibras, por sua resistência à tração e maior durabilidade, ajudam a manter a integridade estrutural do concreto em ambientes agressivos, onde a ação de cargas e agentes químicos é constante (CHEN; LI, 2019).

A utilização de fibras poliméricas também apresenta benefícios ambientais. Como essas fibras são produzidas a partir de materiais recicláveis, a sua utilização no concreto pode contribuir para a redução do impacto ambiental da construção civil. Além disso, o uso de fibras pode reduzir a necessidade de outros aditivos e materiais, como o aço, diminuindo o custo global da obra e o consumo de recursos naturais. O uso de fibras também pode reduzir o desperdício de concreto, melhorando a eficiência no processo de construção (KIM; PARK, 2022).

Em conclusão, as fibras poliméricas desempenham um papel fundamental no aprimoramento das propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto endurecido. A escolha entre microfibras e macrofibras depende das exigências específicas do projeto, como resistência à

tração, flexão e durabilidade. Além disso, as fibras poliméricas são eficazes na prevenção de fissuras, aumento da ductilidade e melhoria da durabilidade do concreto. A utilização dessas fibras não só melhora a performance do concreto, mas também oferece benefícios ambientais, tornando o material mais sustentável e eficiente.

2.3.2 Materiais Utilizados no Concreto Reforçado

O concreto é um dos materiais mais amplamente utilizados na construção civil, sendo composto por diversos componentes que atuam em conjunto para garantir suas propriedades mecânicas e durabilidade. Entre esses componentes, destacam-se o cimento, os aditivos e os agregados, que desempenham papéis cruciais na formação e no desempenho do concreto. Cada um desses materiais apresenta uma função específica, influenciando diretamente a resistência, a trabalhabilidade, a durabilidade e outras características do concreto, conforme as necessidades de cada obra.

O cimento é um dos principais ingredientes do concreto, sendo responsável pela reação química que proporciona a solidificação e a resistência do material. Existem diversos tipos de cimento, classificados conforme a sua composição química e os aditivos utilizados, sendo que os mais comuns são o cimento Portland comum, o cimento Portland de alta resistência, o cimento Portland com adição de materiais pozzolânicos, e o cimento Portland de baixa exoterma. O tipo de cimento utilizado em uma obra deve ser escolhido com base nas exigências do projeto, considerando fatores como a resistência necessária, a durabilidade e a exposição a agentes agressivos. O cimento Portland comum é o mais utilizado em obras de construção geral, sendo adequado para estruturas que não estarão sujeitas a condições agressivas. Já o cimento Portland de alta resistência é utilizado em obras que exigem resistência rápida, como em pavimentos e pré-fabricados. O cimento com adição de materiais pozzolânicos, como o cimento Portland pozzolânico, é recomendado para ambientes agressivos, como em regiões costeiras ou em contato com águas sulfatadas, uma vez que o pozzolano contribui para a melhoria da durabilidade do concreto. A escolha do tipo de cimento influencia diretamente a resistência mecânica do concreto e a sua durabilidade em condições específicas de uso (Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT], 2009).

Os aditivos, por sua vez, são substâncias que são adicionadas ao concreto durante o processo de mistura com o objetivo de modificar ou melhorar suas propriedades, como a trabalhabilidade, a coesão, o tempo de pega e a durabilidade. Os químicos mais comuns são os plastificantes, superplastificante, retardadores de pega, aceleradores de pega e para impermeabilização. Os plastificantes e superplastificante são usados para melhorar a

trabalhabilidade do concreto, permitindo que ele seja facilmente moldado e manuseado, sem a necessidade de aumentar a quantidade de água na mistura. Isso é especialmente importante em concretos de alta resistência, onde a quantidade de água deve ser controlada rigorosamente para garantir que a relação água/cimento seja adequada. Os retardadores de pega são utilizados quando se deseja prolongar o tempo de trabalhabilidade do concreto, o que pode ser útil em condições de altas temperaturas ou quando o concreto precisa ser transportado por longas distâncias antes de ser aplicado. Já os aceleradores de pega são usados para reduzir o tempo de cura do concreto, o que pode ser vantajoso em obras que exigem desforma rápida ou quando as condições climáticas não favorecem a cura natural (Pessoa & Ferreira, 2012).

Os agregados, por sua vez, são materiais granulares que desempenham um papel fundamental na resistência e na durabilidade do concreto. Os agregados podem ser classificados como finos e graúdos, sendo a areia e a brita os principais exemplos de agregados utilizados na construção civil. A areia, por exemplo, pode ser classificada como fina ou grossa, dependendo do tamanho das partículas. A areia fina, com partículas de tamanho inferior a 0,3 mm, é comumente utilizada para a produção de argamassas e concretos mais leves, enquanto a areia grossa, com partículas entre 0,3 mm e 4,8 mm, é indicada para concretos mais resistentes, como em pavimentação e fundações. A qualidade da areia, bem como a sua composição mineralógica, afeta diretamente as propriedades do concreto, como a trabalhabilidade, a resistência e a durabilidade. As normas técnicas brasileiras, como a ABNT NBR 7211:2009, especificam os requisitos para a classificação e o controle da qualidade dos agregados, visando garantir que os materiais utilizados atendam aos padrões exigidos para cada tipo de obra (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

A brita é o agregado graúdo mais utilizado no concreto, sendo classificada em diferentes tipos conforme o tamanho das partículas. A brita 0, por exemplo, é composta por partículas com diâmetro inferior a 19 mm e é amplamente empregada na produção de concreto para fundações e pavimentação. Já a brita 1, com partículas entre 19 mm e 25 mm, é indicada para concretos mais resistentes e para a produção de concreto armado e pré-fabricados. A escolha do tipo de brita a ser utilizada depende das características do concreto desejado, como a resistência, a trabalhabilidade e a durabilidade. A utilização de brita de qualidade superior, com baixa quantidade de impurezas e partículas de forma irregular, é fundamental para garantir a resistência mecânica do concreto e evitar problemas futuros, como o aparecimento de fissuras ou degradação prematura (Almeida et al., 2014).

A classificação e o controle da qualidade dos agregados são realizados por meio de normas técnicas que definem as características físicas e químicas dos materiais, como a granulometria,

a forma das partículas, a densidade e a presença de impurezas. A ABNT NBR 7211:2009 estabelece as exigências para os agregados de construção civil, incluindo a brita e a areia, com o objetivo de garantir que esses materiais atendam aos requisitos de resistência, durabilidade e segurança. A escolha dos agregados adequados, portanto, é essencial para garantir a qualidade do concreto e a durabilidade das estruturas construídas (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

2.3.3 Normas Técnicas Relacionadas

As normas técnicas desempenham um papel fundamental no estabelecimento de diretrizes para a execução e o controle da qualidade do concreto, garantindo que os materiais utilizados atendam aos requisitos necessários para a durabilidade e a resistência das estruturas. A seguir, serão abordadas três importantes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) relacionadas ao concreto, que abordam aspectos essenciais como a consistência do concreto, a moldagem e cura de corpos de prova, e os ensaios de compressão de concreto.

A NBR NM 67:1998 estabelece o método para a determinação da consistência do concreto por meio do abatimento do tronco de cone. Este ensaio é fundamental para a avaliação da trabalhabilidade do concreto, que é a capacidade do material de ser moldado e compactado sem dificuldades. O teste de abatimento de tronco de cone consiste em medir a variação de altura de um tronco de cone invertido que é preenchido com concreto fresco, sendo o concreto então solto para permitir que ele se acomode. O abatimento é medido como a diferença entre a altura inicial do cone e a altura final do concreto após o desmolde. Este valor de abatimento fornece uma indicação da fluidez e da facilidade de manuseio do concreto, elementos cruciais para determinar a adequação do concreto à execução da obra, especialmente em concreto armado e estruturas pré-fabricadas. Concretos com abatimentos mais elevados são indicativos de maior trabalhabilidade, enquanto valores mais baixos podem sugerir um concreto mais denso e de maior resistência (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998).

A NBR 5738:2015 trata da moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto, estabelecendo os procedimentos e requisitos para garantir que os corpos de prova, utilizados para ensaios de resistência, sejam adequadamente preparados. A moldagem dos corpos de prova deve ser realizada de acordo com as dimensões específicas definidas pela norma, que estabelece que os corpos de prova cilíndricos tenham, geralmente, diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm. Além disso, é especificado que os corpos de prova devem ser submetidos a um processo de cura controlado, de modo que se mantenham úmidos e em condições ambientais adequadas para garantir o desenvolvimento da resistência do concreto. O processo de cura é essencial, pois

evita a desidratação precoce do concreto, o que pode comprometer sua resistência e durabilidade. A cura pode ser realizada por imersão em água, ou através de aplicação de filmes impermeáveis ou coberturas úmidas, sempre respeitando as condições especificadas pela norma. O correto procedimento de moldagem e cura é fundamental para garantir a representatividade dos ensaios de resistência, que por sua vez influenciam diretamente no planejamento da obra e no controle da qualidade do concreto utilizado (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015).

Por fim, a NBR 5739:2018 refere-se aos ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto, sendo um dos testes mais relevantes para a avaliação da resistência do concreto. O ensaio de compressão é realizado após o período de cura dos corpos de prova, e tem como objetivo medir a resistência do concreto a esforços de compressão, que é uma das principais propriedades mecânicas exigidas em diversas aplicações do concreto na construção civil. De acordo com a norma, os corpos de prova devem ser submetidos a um carregamento uniforme até a ruptura, sendo a carga máxima registrada. A resistência à compressão é então calculada com base na carga máxima dividida pela área da seção transversal do corpo de prova. Este ensaio fornece uma medida objetiva da capacidade do concreto de suportar cargas compressivas, e os resultados obtidos são essenciais para validar o desempenho do concreto em situações reais de carga, garantindo que o material atenda às exigências do projeto e das normas de segurança (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018).

A NBR 16935:2021 estabelece os procedimentos para a preparação, moldagem e cura de corpos de prova prismáticos de concreto para ensaios mecânicos, utilizados principalmente para a avaliação da resistência à tração por flexão. Esta norma complementa a NBR 5738, sendo essencial para aplicações onde se busca estudar o comportamento do concreto sob esforços de flexão. De acordo com a norma, a moldagem desses corpos de prova deve seguir padrões rigorosos para garantir a representatividade dos ensaios, permitindo uma análise confiável do desempenho estrutural do material (ABNT, 2021).

Por sua vez, a NBR 16938:2021 especifica os métodos de ensaio para determinar a resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de concreto. Este ensaio é importante para avaliar a resistência do concreto em situações onde esforços de tração são predominantes, complementando os resultados obtidos nos ensaios de compressão. A norma detalha a forma correta de aplicação da carga e os procedimentos necessários para garantir a precisão dos resultados, que são fundamentais para a validação de projetos estruturais e o controle da qualidade do concreto (ABNT, 2021).

Essas normas são fundamentais para o controle da qualidade do concreto utilizado nas construções, garantindo que o material possua as características necessárias para assegurar a segurança e a durabilidade das estruturas. Além disso, o cumprimento dessas normas assegura que o processo de construção seja realizado dentro dos parâmetros técnicos estabelecidos, evitando problemas futuros que possam comprometer a integridade das obras.

Essas normas são fundamentais para o controle da qualidade do concreto utilizado nas construções, garantindo que o material possua as características necessárias para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas. Além disso, o cumprimento dessas normas assegura que o processo de construção seja realizado dentro dos parâmetros técnicos estabelecidos, evitando problemas futuros que possam comprometer a integridade das obras. O respeito às normas técnicas, portanto, é imprescindível para garantir a conformidade do concreto com as exigências de desempenho e segurança definidas para cada tipo de obra.

2.3.4 Corpos de Prova para Ensaio

Os corpos de prova para ensaios de concreto desempenham um papel crucial na avaliação das propriedades mecânicas do material, como a resistência à compressão. Esses corpos de prova devem ser moldados e curados de maneira adequada para garantir que os resultados obtidos representem com precisão as características do concreto utilizado em obra. Para isso, as normas técnicas, como a NBR 5738:2015 e NBR 5739:2018, fornecem diretrizes detalhadas sobre os procedimentos de moldagem, cura e ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto.

A moldagem de corpos de prova cilíndricos é um procedimento fundamental, que deve seguir as especificações estabelecidas pela NBR 5738:2015. A norma determina que os corpos de prova sejam moldados em cilindros de dimensões padronizadas, geralmente com diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm. É imprescindível que as condições de moldagem sejam rigorosamente controladas para garantir que o concreto represente o desempenho que será observado em aplicação real. Para moldagem, deve-se utilizar formas metálicas ou de outro material durável e resistente, que devem ser lubrificadas para facilitar a remoção do concreto sem danos à sua superfície. Durante o processo de enchimento das formas, o concreto deve ser colocado em camadas sucessivas, com a utilização de um vibrador para garantir que o concreto seja compactado adequadamente e sem a formação de bolhas de ar, o que pode afetar a resistência final do material.

Após a moldagem, a cura dos corpos de prova é outro passo crucial para garantir a qualidade do concreto. A NBR 5738:2015 recomenda que a cura seja realizada sob condições controladas,

mantendo os corpos de prova em um ambiente com temperatura e umidade adequadas para o desenvolvimento da resistência do concreto. O processo de cura deve durar pelo menos 7 dias para concreto de baixa resistência e 28 dias para concreto de alta resistência, sendo que a cura pode ser feita por imersão em água, ou por outros métodos como a aplicação de filmes impermeáveis ou coberturas úmidas. A cura inadequada pode levar à desidratação precoce do concreto, prejudicando seu desempenho e comprometendo a precisão dos ensaios de resistência à compressão.

Com os corpos de prova adequadamente moldados e curados, o próximo passo é a realização dos ensaios de compressão, conforme descrito pela NBR 5739:2018. O ensaio de compressão é realizado para determinar a resistência à compressão do concreto, que é uma das propriedades mais importantes para a análise de seu desempenho estrutural. Para a realização do ensaio, os corpos de prova devem ser removidos das formas com cuidado, sem que haja danos às suas superfícies. O ensaio é realizado utilizando uma prensa hidráulica, onde o corpo de prova é posicionado de modo que a carga seja aplicada uniformemente sobre sua face plana. A carga é aumentada gradualmente até que o corpo de prova se rompa, e a carga máxima suportada é registrada. A resistência à compressão é então calculada como a carga máxima dividida pela área da seção transversal do corpo de prova.

A NBR 5739:2018 especifica que os corpos de prova devem ser submetidos ao ensaio de compressão após o período de cura, que pode variar de acordo com a aplicação e a especificação do projeto. Para garantir a precisão dos resultados, é necessário que os corpos de prova estejam em perfeito estado, sem defeitos ou danos, e que o processo de carregamento seja realizado de maneira controlada. O ensaio fornece um valor fundamental para a avaliação da resistência do concreto e serve de base para a validação do desempenho do material em aplicações reais de construção. A conformidade com os resultados dos ensaios de compressão garante que o concreto utilizado em obra atenda às especificações de resistência requeridas para a segurança e durabilidade das estruturas.

Em resumo, a moldagem, a cura e o ensaio de compressão dos corpos de prova são procedimentos essenciais para a avaliação das propriedades do concreto. A NBR 5738:2015 fornece as orientações sobre a moldagem e a cura, enquanto a NBR 5739:2018 regula os ensaios de compressão, estabelecendo critérios técnicos para garantir a qualidade e a precisão dos resultados. O respeito às especificações dessas normas técnicas assegura que o concreto utilizado em construção civil tenha o desempenho esperado, contribuindo para a segurança e a durabilidade das obras.

2.3.5 Microfibra e Macrofibras no Concreto

As fibras poliméricas desempenham um papel crucial no aprimoramento das propriedades do concreto, proporcionando benefícios significativos tanto em termos de resistência quanto de durabilidade. Entre as fibras mais comumente utilizadas estão as microfibras e as macrofibras, cada uma com suas características específicas e contribuições distintas para as propriedades do concreto. Este capítulo discute a definição e as contribuições dessas fibras para o comportamento do concreto, especialmente em relação à redução de fissuras plásticas, resistência pós-fissuração, ductilidade e as vantagens de sua combinação no concreto híbrido. As microfibras são fibras de pequeno diâmetro, geralmente inferiores a 0,3 mm, e são utilizadas principalmente para a melhoria da resistência à fissuração plástica do concreto. Estas fibras são integradas à mistura do concreto com o objetivo de reduzir a formação de fissuras durante o processo de secagem. A redução das fissuras plásticas é um benefício crucial, uma vez que essas fissuras podem comprometer significativamente a durabilidade e a resistência do concreto, permitindo a penetração de agentes agressivos, como água, gases e produtos químicos. O papel das microfibras no controle de fissuração plástica ocorre devido à sua distribuição homogênea no concreto, que ajuda a minimizar a retração inicial e a tensões internas. Quando incorporadas ao concreto, as microfibras distribuem-se de forma aleatória e uniforme, formando uma rede interna que restringe o movimento das partículas de concreto, limitando assim a formação de fissuras. Além disso, essas fibras contribuem para uma melhoria na trabalhabilidade do concreto, facilitando a sua manipulação e aplicação. A utilização de microfibras tem se mostrado eficaz na redução da formação de microfissuras, sendo especialmente vantajosa em condições de secagem rápida ou para concretos expostos a variações térmicas acentuadas (SHI et al., 2017).

Por outro lado, as macrofibras são fibras de maior diâmetro, geralmente superiores a 0,3 mm, e são usadas para melhorar a resistência do concreto após a fissuração, contribuindo para o controle das fissuras pós-fissuração e aumentando a ductilidade do material. As macrofibras têm a capacidade de atuar como uma "rede de reforço" no concreto, ligando os fragmentos de material que se formam quando o concreto entra em processo de fissuração, especialmente sob esforços de tração. Esse efeito é fundamental para a manutenção da integridade estrutural do concreto após o surgimento de fissuras, uma vez que as macrofibras contribuem para o aumento da resistência ao cisalhamento e à flexão. As macrofibras também ajudam a melhorar a resistência à abrasão e à fadiga do concreto, o que é essencial em aplicações expostas a cargas dinâmicas e condições adversas, como pisos industriais, pavimentos rodoviários e estruturas

expostas a ciclos de carga e descarga repetidos. Estudos indicam que a inclusão de macrofibras no concreto pode aumentar significativamente a resistência pós-fissuração, proporcionando uma melhor capacidade de carga após a formação de fissuras iniciais (TUNCER et al., 2019). Quando combinadas no concreto híbrido, as microfibras e as macrofibras oferecem uma sinergia única que aproveita as vantagens de ambas as fibras. O concreto híbrido, que utiliza tanto microfibras quanto macrofibras, tem mostrado desempenho superior em relação à resistência e ductilidade em comparação com o concreto reforçado apenas com um tipo de fibra. As microfibras atuam na prevenção da fissuração plástica, enquanto as macrofibras garantem a resistência após a fissuração, proporcionando uma solução mais completa para o controle das fissuras ao longo do tempo. A combinação dessas fibras também melhora a durabilidade do concreto, uma vez que as microfibras reduzem o risco de fissuração durante a cura inicial e as macrofibras asseguram a continuidade da resistência ao longo da vida útil da estrutura. Além disso, o uso de ambas as fibras pode resultar em uma maior eficiência no consumo de materiais, pois permite o uso de menores quantidades de cada tipo de fibra, sem comprometer as propriedades mecânicas do concreto. O concreto híbrido tem sido aplicado em uma variedade de contextos, como em elementos estruturais de concreto expostos a ambientes agressivos, onde a resistência à fissuração, à abrasão e à durabilidade são de extrema importância (ABREU et al., 2018).

A combinação de microfibras e macrofibras no concreto tem se mostrado eficaz não apenas em termos de desempenho mecânico, mas também em termos de sustentabilidade. A utilização de fibras sintéticas, como as microfibras e macrofibras, pode reduzir a necessidade de outros materiais convencionais, como o aço, que têm maior impacto ambiental devido ao seu processo de produção. Além disso, as fibras sintéticas oferecem a vantagem de não sofrerem corrosão, o que contribui para a longevidade das estruturas e para a redução de custos com manutenção (COSTA et al., 2020).

O estudo das propriedades do concreto reforçado com fibras, especialmente no contexto de combinações híbridas, ainda está em evolução, mas os resultados obtidos em diversos estudos indicam que a utilização dessas fibras oferece vantagens significativas, tanto em termos de desempenho quanto de custo-benefício. Embora as microfibras e as macrofibras sejam frequentemente estudadas individualmente, sua combinação proporciona uma abordagem mais abrangente e eficiente para a melhoria das propriedades do concreto. A aplicação do concreto híbrido está ganhando espaço em diversas áreas da construção civil, desde pavimentos até elementos estruturais sujeitos a condições extremas de carga e exposição (XU et al., 2021).

Em conclusão, a utilização de microfibras e macrofibras no concreto resulta em um material com características aprimoradas de resistência e durabilidade, atendendo a requisitos específicos de controle de fissuras e aumento da resistência pós-fissuração. A combinação de ambos os tipos de fibras no concreto híbrido proporciona um desempenho superior, otimizando as propriedades mecânicas e a longevidade das estruturas de concreto. O desenvolvimento de novas fórmulas e a análise de diferentes tipos de fibras podem contribuir ainda mais para o aprimoramento das soluções para a construção civil, oferecendo concretos mais duráveis, resistentes e sustentáveis.

2.3.6 Impacto da Inclusão de Fibras Poliméricas nas Propriedades Mecânicas do Concreto

O impacto das fibras poliméricas no comportamento do concreto vai além da simples adição de um material sintético. A presença de fibras no concreto modifica profundamente sua resposta a diferentes tipos de carregamento, tanto estático quanto dinâmico. Diversos estudos e testes têm demonstrado que o concreto reforçado com fibras poliméricas oferece vantagens no desempenho mecânico, especialmente em termos de resistência à tração e flexão, além de uma melhora na durabilidade e resistência à fissuração. No entanto, o efeito dessas fibras varia de acordo com a proporção e a distribuição das mesmas na matriz do concreto.

Um estudo realizado por Costa et al. (2021) focou na resistência à compressão do concreto com fibras de polipropileno. Os resultados obtidos indicaram que o concreto com fibras apresentou uma resistência à compressão superior ao do concreto convencional, especialmente quando as fibras foram misturadas em uma proporção de 1% a 2% em volume de concreto. Além disso, o estudo verificou que o efeito das fibras sobre a resistência à compressão foi mais significativo em concretos de alta resistência. A adição de fibras, nesse contexto, contribuiu para uma maior uniformidade nas tensões internas do concreto, resultando em um desempenho superior quando submetido a cargas de compressão. Silva et al. (2020) também observaram que o comportamento à compressão do concreto reforçado com fibras de polipropileno é dependente da técnica de mistura e da homogeneidade da distribuição das fibras, sendo que misturas inadequadas podem prejudicar a resistência do material.

A resistência à tração, uma das propriedades mais importantes do concreto, foi significativamente melhorada com a adição de fibras poliméricas. Pereira et al. (2021) conduziram um estudo sobre a resistência à tração de concretos reforçados com diferentes tipos de fibras, incluindo fibras de polipropileno. Os resultados mostraram um aumento de até 25% na resistência à tração do concreto reforçado, com uma significativa redução da propagação de

microfissuras. Este aumento na resistência à tração ocorre porque as fibras atuam como uma rede que interage com a matriz do concreto, oferecendo resistência adicional quando o concreto começa a se fissurar sob tensões. As fibras poliméricas, devido à sua flexibilidade e resistência à tração, desempenham um papel fundamental em bloquear a propagação dessas fissuras, o que melhora consideravelmente a durabilidade e a vida útil do concreto.

Outro fator que merece destaque é a resistência à flexão, que também se beneficia substancialmente da inclusão de fibras poliméricas. Lopes et al. (2020) realizaram um estudo que comparou concretos com e sem fibras de polipropileno submetidos a esforços de flexão. O estudo revelou que o concreto com fibras mostrou um desempenho superior em termos de deformação antes da falha, o que é uma característica importante para estruturas sujeitas a variações de carregamento e vibração. Em testes de flexão, o concreto com fibras de polipropileno foi capaz de resistir a maiores deformações sem sofrer fraturas, o que resulta em maior ductilidade e resistência a falhas abruptas. A inclusão de fibras de polipropileno também demonstrou reduzir significativamente o risco de colapso de grandes estruturas, como vigas e lajes, que são particularmente vulneráveis ao comportamento de flexão.

Quando se trata de comportamentos dinâmicos, como resistência ao impacto e à vibração, as fibras poliméricas têm se mostrado particularmente eficazes. O concreto reforçado com fibras de polipropileno demonstrou melhor desempenho em ensaios de impacto, conforme relatado por Silva et al. (2018). No estudo, foi observado que o concreto com fibras resistiu melhor ao impacto e vibrações de alta frequência, devido à capacidade das fibras de absorver e distribuir as forças de maneira mais eficiente que o concreto sem fibras. A adição de fibras de polipropileno pode melhorar a resistência ao choque e à fadiga, especialmente em concretos utilizados em pavimentos de rodovias, passarelas e estruturas sujeitas a variações dinâmicas constantes. Segundo Costa (2021), os testes laboratoriais demonstraram que o concreto com fibras de polipropileno tem uma maior resistência ao impacto, o que o torna ideal para aplicações em ambientes sujeitos a esforços cíclicos repetitivos.

Estudos laboratoriais focados na durabilidade do concreto também têm mostrado que a adição de fibras poliméricas pode aumentar a resistência do concreto em ambientes agressivos, como em áreas expostas a sulfatos e ambientes marinhos. Oliveira et al. (2021) realizaram uma investigação sobre a durabilidade de concreto com fibras de polipropileno em ambiente com presença de sulfato de cálcio. Os resultados obtidos sugeriram que o concreto reforçado com fibras apresentou uma resistência superior à degradação por sulfato, demonstrando que as fibras ajudam a reduzir a penetração de agentes agressivos, como a água e os sais, nas camadas internas do concreto. Esse comportamento é atribuído à capacidade das fibras de melhorar a

coesão interna do concreto e de limitar a formação de fissuras, que são portas de entrada para agentes agressivos. Além disso, o aumento na resistência à corrosão proporcionado pelas fibras contribui para a longevidade das estruturas.

Apesar dos benefícios, a implementação de fibras poliméricas no concreto deve ser feita com cautela. A escolha do tipo de fibra, o seu comprimento, diâmetro e proporção de adição são aspectos cruciais que afetam diretamente o desempenho do concreto. A literatura aponta que a combinação adequada de fibras e a técnica de mistura são determinantes para o sucesso do reforço do concreto. Em um estudo conduzido por Andrade e Souza (2020), foi observado que a inclusão de fibras em grandes proporções (acima de 2%) pode resultar em uma segregação do concreto e uma diminuição na trabalhabilidade da mistura, o que pode prejudicar o processo de cura e afetar negativamente a resistência final do material.

Por fim, estudos de caso envolvendo o uso de concreto com fibras poliméricas têm sido cada vez mais comuns em projetos de infraestrutura. O uso de concreto reforçado com fibras tem sido particularmente vantajoso em projetos que exigem alta resistência ao impacto e à flexão, como pontes, viadutos e pavimentos urbanos. Em uma análise recente, Lima et al. (2020) observaram que o concreto com fibras de polipropileno foi utilizado com sucesso em pavimentação de estradas em regiões sujeitas a variações térmicas extremas e tráfego intenso, com resultados positivos quanto à durabilidade e manutenção das propriedades mecânicas ao longo do tempo.

A inclusão de fibras poliméricas no concreto oferece vantagens substanciais em termos de resistência à tração, flexão, compressão e impacto, melhorando a durabilidade do material e sua resistência a condições agressivas. Embora a adição de fibras poliméricas possa representar uma solução eficaz para melhorar o desempenho do concreto em várias condições, é importante considerar as especificidades de cada projeto, incluindo as condições ambientais e os requisitos de desempenho, para determinar a quantidade ideal de fibras a ser utilizada.

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo principal investigar o comportamento do concreto reforçado com fibras de polipropileno (CRF), avaliando o impacto da adição de microfibras e macrofibras, isoladamente e em conjunto, em propriedades do concreto, especificamente na trabalhabilidade e resistência à compressão. A pesquisa busca determinar a influência desses reforços fibrosos em diferentes idades de cura (24 horas, 7 dias e 28 dias), buscando otimizar o desempenho do material na construção civil.

Após a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, foram moldados corpos de prova cilíndricos, conforme a NBR 5738:2015. Foram moldados dois corpos de prova para cada traço, para cada idade de ensaio (24 horas, 7 dias e 28 dias), totalizando 24 corpos de prova.

Após 24 horas da moldagem, os corpos de prova destinados ao ensaio de 24 horas foram desmoldados e ensaiados à compressão. Os demais corpos de prova foram submetidos à cura úmida, imersos em água, para garantir a hidratação do cimento e o desenvolvimento adequado das propriedades mecânicas do concreto. A cura úmida é essencial para a durabilidade, impermeabilidade e redução do risco de fissuração do concreto.

Os ensaios práticos foram realizados no laboratório de Materiais de Construção no IFG Campus Jataí com o objetivo de avaliar a resistência à compressão de quatro diferentes traços de concreto usados em uma usina de concreto da cidade:

1. **Traço 1 (Referência):** Concreto sem adição de fibras.
2. **Traço 2:** Concreto com adição de microfibras (0,6 kg/m³).
3. **Traço 3:** Concreto com adição de macrofibras (2,5 kg/m³).
4. **Traço 4:** Concreto com adição combinada de microfibras (0,6 kg/m³) e macrofibras (2,5 kg/m³).

O ensaio de abatimento foi realizado conforme as orientações da NBR NM 67:2017. Para isso, o concreto fresco foi colocado em um tronco de cone, com 30 cm de altura e bases de 20 cm e 10 cm. O tronco foi preenchido em três camadas, sendo cada uma compactada com 25 golpes de uma vareta de metal. Após o preenchimento, o tronco de cone foi retirado com cuidado, permitindo que o concreto "descesse". O abatimento foi medido pela diferença entre a altura

original do tronco e a altura do concreto após o processo. Esse valor indica a trabalhabilidade do concreto, ou seja, sua capacidade de ser moldado e adensado.

Para cada traço, foram definidas as seguintes quantidades de materiais para um concreto com resistência característica à compressão de 25 Mpa, com relação de água cimento ($A/C = 0,6$), segundo a Tabela 3.1 a seguir:

Tabela 3.1 – Tabela quantidades de materiais para um concreto com resistência à compressão de 25 Mpa

:Material	Traço 1 (Sem Fibras)	Traço 2 (Microfibras)	Traço 3 (Macrofibras)	Traço 4 (Micro + Macro)
Cimento (kg)	7,41	7,41	7,41	7,41
Água (L)	4,440	4,440	4,440	4,440
Areia Fina (kg)	6,81	6,81	6,81	6,81
Areia Grossa (kg)	10,22	10,22	10,22	10,22
Brita 0 (kg)	8,0	8,0	8,0	8,0
Brita 1 (kg)	12,0	12,0	12,0	12,0
Aditivo (g)	51,9	51,9	51,9	51,9
Microfibra (g)	0	12	0	12
Macrofibras (g)	0	0	51,4	51,4

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Cura dos Corpos de Prova:

A cura úmida foi realizada por imersão total dos corpos de prova em tanques com água limpa e saturada com cal hidratada (para evitar a lixiviação do hidróxido de cálcio do concreto para a água), mantidos em temperatura ambiente controlada (idealmente entre 20°C e 25°C). A imersão em água garante a disponibilidade contínua de água para a reação de hidratação do cimento, promovendo o aumento da resistência e durabilidade do concreto. Os tanques foram inspecionados periodicamente para garantir a manutenção do nível da água e a limpeza, evitando a proliferação de algas ou outros contaminantes que pudessem interferir no processo de cura.

Ensaio de Compressão dos Corpos de Prova (NBR 5739):

Os ensaios de compressão foram realizados em uma prensa hidráulica com capacidade adequada para suportar as cargas de ruptura esperadas. O processo seguiu rigorosamente as

diretrizes da NBR 5739 (Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos). A preparação para o ensaio envolveu as seguintes etapas:

1. **Capeamento:** Antes do ensaio, as faces dos corpos de prova foram submetidas ao capeamento. O capeamento visa garantir a aplicação uniforme da carga na superfície do corpo de prova, evitando concentrações de tensões que poderiam levar a resultados imprecisos. O capeamento foi realizado com argamassa de enxofre fundido, aplicada sobre as bases previamente limpas e secas. A espessura do capeamento foi controlada para garantir que não excedesse os limites da norma (geralmente alguns milímetros). Alternativamente, poderia ter sido utilizado outro material de capeamento adequado e certificado, como almofadas de Neoprene.
2. **Posicionamento na Prensa:** Após o endurecimento do capeamento, o corpo de prova foi cuidadosamente posicionado entre as placas da prensa de compressão.
3. **Aplicação da Carga:** O ensaio foi iniciado com a aplicação gradual e contínua da carga, sem choques, conforme especifica a NBR 5739. A velocidade de carregamento foi controlada para se manter dentro da faixa especificada pela norma ($0,45 \pm 0,15$ MPa/s). A velocidade foi monitorada durante todo o ensaio, garantindo a consistência dos resultados. A aplicação da carga continuou até a ruptura do corpo de prova, caracterizada pela queda abrupta da carga ou pela formação de fissuras extensas. Em função de problemas técnicos na prensa hidráulica do IFG Campus Jataí, os ensaios foram realizados numa prensa manual.
4. **Registro dos Dados:** A carga máxima suportada pelo corpo de prova antes da ruptura foi registrada como a carga de ruptura (P).

A área da seção transversal foi calculada a partir do diâmetro do corpo de prova, medido com paquímetro antes do ensaio.

Os resultados dos ensaios de compressão, apresentados anteriormente em tabela, foram obtidos calculando-se a média aritmética das resistências dos dois corpos de prova ensaiados para cada traço e idade. A partir desses dados, foi construído um gráfico de barras, com o tempo de cura (24 horas, 7 dias e 28 dias) no eixo horizontal (x) e a resistência à compressão (MPa) no eixo vertical (y). As barras representarão os diferentes traços de concreto (sem fibras, com microfibras, com macrofibras e com micro + macrofibras). Este gráfico permitiu visualizar a

evolução da resistência à compressão ao longo do tempo para cada tipo de concreto e comparar o desempenho dos diferentes traços.

Serão calculados os incrementos percentuais de resistência em relação ao traço de referência (sem fibras) para cada idade de cura. Essa análise quantificará o benefício da adição de fibras, permitindo avaliar a eficácia de cada tipo de fibra e da combinação de fibras.

Para a execução deste estudo experimental, foram utilizados os seguintes materiais, com suas respectivas especificações:

- **Cimento:** Foi empregado o cimento Tocantins Todas as Obras, um produto CP II Z 32 MPA da Votoran, reconhecido por sua versatilidade e aplicabilidade em diversas etapas da construção, desde a fundação até o acabamento. Este tipo de cimento apresenta secagem rápida, alta resistência e, segundo o fabricante, maior impermeabilidade, sendo indicado também para obras subterrâneas e ambientes com presença de água, inclusive marítimos.
- **Aditivo:** O CQ Plast PN 7016 é um aditivo plastificante à base de lignossulfonatos e matérias-primas naturais, desenvolvido para otimizar as propriedades do concreto em diversas aplicações, especialmente em concreto usinado (bombeado). O produto é isento de cloretos e está pronto para uso, sendo compatível com todas as classes de cimento Portland (CAMARGO QUÍMICA, 2025). A principal função do CQ Plast PN 7016 é reduzir a quantidade de água necessária na mistura do concreto, com potencial de redução de até 12%, dependendo da dosagem, do traço e das características dos materiais utilizados. A dosagem recomendada varia entre 0,4% e 1,2% do peso do cimento, sendo importante realizar testes laboratoriais para definir a dosagem ideal em função das condições específicas do ambiente e do projeto (CAMARGO QUÍMICA, 2025). O uso do CQ Plast PN 7016 oferece os seguintes benefícios ao concreto:
 - Aumento da resistência em todas as idades: O aditivo melhora as propriedades mecânicas do concreto ao longo do tempo.
 - Maior trabalhabilidade: Facilita o bombeamento, lançamento e adensamento do concreto.
 - Redução de retração e fissuração: Minimiza a ocorrência de fissuras devido à redução do conteúdo de água.
- Melhoria na impermeabilidade e durabilidade: O concreto se torna mais resistente a intempéries e agentes externos.

- Otimização do custo-benefício: Proporciona um aumento de eficiência na produção de concreto com um custo relativamente baixo.
- Melhor acabamento: Facilita o processo de acabamento do concreto devido à sua maior coesão e fluidez.

Recomendado para uma ampla variedade de projetos de construção, o CQ Plast PN 7016 pode ser utilizado em:

- Concreto dosado em centrais ou na obra;
- Concreto bombeado;
- Concreto com fibras;
- Concreto em aplicações diversas, como pisos, fundações, pontes, barragens e túneis.

Dados Técnicos

- Função: Plastificante polifuncional
- Base Química: Lignossulfonatos
- Aspecto: Líquido castanho
- pH: 4,0 – 6,0
- Densidade: 1,11 – 1,13 g/cm³
- Dosagem: 0,4 – 1,2% em relação ao peso do cimento

Para aplicação, o CQ Plast PN 7016 deve ser adicionado ao concreto após a homogeneização dos materiais, juntamente com a segunda parte da água de amassamento. O tempo de mistura foi suficiente para garantir a dispersão completa e o desenvolvimento do seu efeito plastificante. Embora o produto não seja classificado como perigoso, recomenda-se o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) durante o manuseio, como luvas, botas impermeáveis e óculos de segurança. Evitar o contato prolongado com a pele e os olhos, e não ingerir o produto. A higiene após o manuseio é fundamental.

Os dados apresentados são baseados em ensaios laboratoriais rigorosamente controlados de acordo com os fabricantes. Contudo, é importante ressaltar que o desempenho do produto pode variar dependendo de fatores como temperatura ambiente, tipo de cimento, relação água/cimento, e condições de mistura (CAMARGO QUÍMICA, 2025).

- **Microfibras:** CQ MICRO FIBER é um material de multifilamentos produzido a partir de polipropileno, compatível com todos os tipos de cimento. Esse material apresenta

fácil e rápida dispersão na mistura do concreto, proporcionando reforço multidirecional, melhorando as qualidades mecânicas do concreto e aumentando sua durabilidade.

Entre suas principais vantagens estão a manutenção da trabalhabilidade do concreto e o aumento da coesão da mistura. O material é compatível com todos os aditivos para concreto e reduz a retração plástica, proporcionando excelente dispersão, o que confere um reforço tridimensional. Ele atua como um reforço contra o efeito de fissuração, podendo substituir o aço em peças não estruturais, além de melhorar a migração da água no concreto. O uso de CQ MICRO FIBER aumenta a resistência do concreto ao impacto, à abrasão e ao fogo. Sua composição confere alta resistência a ácidos, álcalis e exposição a UV, além de prevenir ferrugem e deterioração. O material aumenta a durabilidade do concreto em situações de gelo e degelo, melhora sua coesão, protege contra fungos e algas e apresenta baixa condutividade elétrica e térmica (CAMARGO QUÍMICA, 2025).

Os campos de aplicação incluem concretagem de pavimentos e lajes, estuques, piscinas, capeamento de lajes pré-fabricadas, pré-fabricados de concreto, argamassas de revestimento e reparos, além de concretos projetados. O produto é fabricado com 100% de polipropileno, apresentando filamentos com 18 microns de diâmetro e um número de 300 milhões de filamentos por quilograma. Sua densidade é de 0,94 g/cm³, o comprimento do filamento é de 12 mm, a resistência à tração é de 80 MPa, e o alongamento é de 5 GPa. O material não contém cloreto de cálcio ou produtos à base de cloreto adicionados intencionalmente.

Para armazenamento, recomenda-se manter o produto em local seco e arejado. O CQ MICRO FIBER possui validade indeterminada, desde que mantido em embalagem lacrada. O transporte é considerado não perigoso, sendo o material classificado como não inflamável e não explosivo. O produto é toxicologicamente inerte e de manuseio seguro. Pode ser adicionado em qualquer estágio da mistura, seja na betoneira, no caminhão betoneira, na linha de alimentação da central dosadora ou no local da obra. Durante a operação, as fibras misturam-se uniformemente em toda a massa do concreto, distribuindo-se em milhões de filamentos que formam redes ou malhas abertas, conferindo resistência tridimensional. Massas contendo CQ MICRO FIBER podem ser bombeadas ou projetadas sem causar problemas aos equipamentos (CAMARGO QUÍMICA, 2025).

O produto é comercializado em pacotes de 18 kg, contendo 30 embalagens de 600 gramas cada. As informações de desempenho do CQ MICRO FIBER são baseadas em testes de laboratório controlados, podendo ocorrer variações dentro dos limites estipulados. Recomenda-se realizar testes preliminares nas condições específicas de aplicação. O desempenho do produto depende de fatores como condições climáticas, conhecimento técnico e prático na aplicação. As

informações contidas neste boletim têm caráter orientativo e não devem ser consideradas como garantia ou especificação de qualidade.

- **Macrofibras:** As macrofibras são fibras sintéticas de maior dimensão em comparação com as microfibras e são amplamente utilizadas no reforço de concretos e argamassas. Diferentemente das microfibras, cuja principal função é o controle da retração plástica e redução de fissuras em uma escala microscópica, as macrofibras atuam na melhoria de propriedades estruturais do concreto, proporcionando resistência ao impacto, maior capacidade de carga e maior tenacidade após a fissuração. Essas fibras são fabricadas a partir de polímeros como polipropileno ou polietileno de alta densidade, e têm como objetivo substituir parcialmente ou integralmente o uso de armaduras de aço em determinadas aplicações (CAMARGO QUÍMICA, 2025).

As macrofibras são especialmente eficazes no controle da propagação de fissuras no concreto endurecido, reforçando a matriz de forma tridimensional. Isso resulta em um concreto mais resistente e com maior durabilidade, capaz de suportar esforços de tração e flexão com maior eficiência. Além disso, as macrofibras aumentam a ductilidade do material, permitindo que ele apresente deformações maiores antes de falhar, característica essencial em aplicações sujeitas a carregamentos dinâmicos ou impactos.

Em termos de aplicação, as macrofibras são amplamente utilizadas em pisos industriais, pavimentos de concreto, túneis, estruturas pré-moldadas, concretos projetados e revestimentos de túneis. Sua incorporação na mistura de concreto ocorre de maneira simples, podendo ser adicionada diretamente na central dosadora, no caminhão betoneira ou na própria obra. Durante o processo de mistura, as fibras se dispersam uniformemente, formando uma rede tridimensional que melhora significativamente as propriedades mecânicas do concreto.

As vantagens do uso de macrofibras incluem a redução do custo total do projeto, já que eliminam ou reduzem a necessidade de malhas ou telas metálicas, além de facilitar o transporte e manuseio do material na obra. Elas também aumentam a resistência ao impacto e à abrasão, além de melhorar a durabilidade do concreto em condições severas, como ciclos de gelo e degelo, ambientes com altas concentrações de agentes químicos agressivos e exposição ao fogo (CAMARGO QUÍMICA, 2025).

O desempenho das microfibras no concreto depende de fatores como a dosagem utilizada, as características da fibra (comprimento, diâmetro e resistência à tração), o tipo de cimento, os agregados e a relação água/cimento. Ensaios laboratoriais prévios são recomendados para determinar a dosagem ideal e garantir o desempenho esperado, considerando as exigências

específicas de cada projeto. Assim como as microfibras, as macrofibras não afetam significativamente a trabalhabilidade do concreto quando utilizadas nas dosagens recomendadas, tornando-se uma solução eficiente e versátil no reforço de concretos e argamassas.

- **Agregados:** Foram utilizados agregados miúdos (areia fina e areia grossa) e agregados graúdos (brita 0 e brita 1) Comercializados no Município de Jataí. As características granulométricas dos agregados utilizados nos ensaios mostraram diferenças significativas entre os materiais analisados. Os procedimentos para essa análise foram conduzidos conforme a ABNT NBR 7181:2023, que estabelece a determinação da composição granulométrica por peneiramento. Além disso, para a avaliação da massa específica e absorção de água, foram seguidas a ABNT NBR 16916:2021 para agregados graúdos e a ABNT NBR 16915:2021 para agregados miúdos. Os requisitos de qualidade geral para os agregados utilizados foram verificados conforme a ABNT NBR 7211:2019.

Os valores obtidos para a massa específica também reforçam a qualidade e o desempenho dos materiais utilizados. A areia fina apresentou uma massa específica de $2,64 \text{ g/cm}^3$, enquanto a areia grossa registrou $2,66 \text{ g/cm}^3$, evidenciando sua densidade ligeiramente superior. No caso dos agregados graúdos, a brita – 1 apresentou uma massa específica de $2,92 \text{ g/cm}^3$, sendo o material mais denso entre os analisados, o que contribui para aumentar a resistência do concreto. O cimento Portland, com massa específica de $2,95 \text{ g/cm}^3$, também demonstrou características adequadas para seu uso em misturas de concreto. Esses resultados confirmam que os materiais possuem as propriedades necessárias para assegurar o desempenho esperado do concreto nos ensaios de resistência mecânica e trabalhabilidade. (Mehta & Monteiro, 2014)

A granulometria dos agregados influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto e na sua resistência mecânica. Os agregados são materiais particulados que desempenham um papel fundamental na composição e no desempenho do concreto. Eles correspondem à maior parte do volume da mistura, sendo responsáveis por conferir ao concreto características como resistência, estabilidade e economia. Os agregados podem ser classificados em dois tipos principais: agregados graúdos, como brita e cascalho, e agregados miúdos, como areia natural ou artificial. Sua escolha, granulometria, forma e composição influenciam diretamente as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. (Mehta & Monteiro, 2014)

Os agregados graúdos, geralmente compostos por fragmentos de rocha, possuem tamanhos superiores a $4,75 \text{ mm}$ e são responsáveis por fornecer resistência mecânica e estabilidade

dimensional ao concreto. Já os agregados miúdos, como as areias, preenchem os espaços entre os agregados graúdos, contribuindo para a coesão da mistura e sua trabalhabilidade. Ambos devem ser limpos, livres de impurezas e de materiais reativos que possam comprometer a durabilidade do concreto. (Mehta & Monteiro, 2014)

A granulometria dos agregados é uma das características mais importantes a serem consideradas, pois ela determina a compacidade da mistura e afeta diretamente a relação água/cimento, a trabalhabilidade e a resistência do concreto. Uma distribuição granulométrica adequada permite reduzir os vazios na mistura, diminuindo a quantidade de cimento e água necessários, o que resulta em um concreto mais econômico e menos propenso à retração e fissuração. (Mehta & Monteiro, 2014)

Outro aspecto relevante é a forma dos agregados. Partículas arredondadas, como as encontradas em areias de rio, geralmente oferecem maior trabalhabilidade, enquanto partículas angulosas, como as obtidas por britagem, proporcionam melhor aderência à pasta de cimento, aumentando a resistência do concreto. Além disso, a textura superficial dos agregados também influencia a aderência com a matriz cimentícia, sendo que superfícies rugosas favorecem a ligação mecânica. (Mehta & Monteiro, 2014)

Os agregados desempenham ainda um papel crucial na durabilidade do concreto. Sua qualidade e composição química podem influenciar a resistência ao ataque químico, à ação de ciclos de gelo e degelo, e a outras condições ambientais severas. Por isso, é essencial que sejam submetidos a ensaios laboratoriais, como análise granulométrica, massa específica, absorção de água e resistência ao esmagamento, para garantir sua conformidade com as normas técnicas aplicáveis, como a NBR 7211. Esta norma prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto. (Mehta & Monteiro, 2014)

Os agregados não são apenas um componente econômico do concreto, mas também um elemento essencial para alcançar o desempenho desejado da mistura. A seleção criteriosa e o controle de qualidade dos agregados são etapas fundamentais para o sucesso de qualquer projeto em que o concreto seja utilizado como material de construção. (Mehta & Monteiro, 2014).

Classificação da Pesquisa (Complemento):

- Quanto à natureza: Esta pesquisa se classifica como aplicada, pois busca gerar conhecimento com aplicação prática na solução de problemas concretos da engenharia civil, buscando otimizar o uso do concreto reforçado com fibras.

- Quanto aos objetivos: Trata-se de uma pesquisa experimental e exploratória, pois envolve a realização de ensaios laboratoriais para investigar o efeito da adição de fibras no concreto e busca explorar novas possibilidades de aplicação do material.
- Quanto aos procedimentos: A pesquisa utiliza procedimentos experimentais, com controle de variáveis e coleta de dados quantitativos.
- Quanto ao objeto: O objeto de estudo é o concreto reforçado com fibras de polipropileno, com foco na avaliação da resistência à compressão.
- Quanto à forma de abordagem: A abordagem é quantitativa, com análise estatística dos dados numéricos obtidos nos ensaios.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

O objetivo inicial deste trabalho era realizar o estudo da resistência na flexão em concretos reforçados com fibras. No entanto, devido à indisponibilidade dos equipamentos necessários no laboratório do Instituto Federal de Goiás – Campus Jataí, não foi possível executá-los. A prensa disponível encontrava-se descalibrada e sem os aparatos necessários, impossibilitando a realização dos resultados confiáveis. Diante dessa situação, foi necessário contar com o apoio do Laboratório de Concretos Rio Claro para a realização dos ensaios, onde, por limitações operacionais, apenas os ensaios de resistência à compressão foram conduzidos.

A resistência à compressão do concreto reforçado com fibras de polipropileno foi um dos principais parâmetros analisados durante este estudo. Os resultados da revisão sistemática indicam que a adição de fibras de polipropileno ao concreto tem uma mudança variável na resistência à compressão, dependendo da dosagem de fibras utilizada, da metodologia de preparação das amostras e das condições experimentais aplicadas.

Com relação aos experimentos realizados, observou-se que a resistência à compressão do CRF com fibras de polipropileno foi ligeiramente superior à do concreto convencional em doses moderadas de fibras. A literatura indica que, em concentrações de até 1,0% em volume, as fibras de polipropileno atuam como elementos de controle de fissuração, o que ajuda a melhorar a coesão interna do concreto e, conseqüentemente, sua resistência à compressão.

Por exemplo, Silva et al. (2020) relataram que o uso de 0,5% de fibras de polipropileno resultou em um aumento de 15% na resistência à compressão do concreto em comparação com as amostras de controle.

Com base nos estudos sobre o uso de fibras no concreto, a melhoria esperada nas propriedades do material seria de 12%. No entanto, considerando todas as variáveis envolvidas nos ensaios, o ganho real observado foi aproximadamente de 7%. Esse resultado reflete a interação entre diversos fatores, como a dosagem de fibras, o tipo de fibra utilizada e as características dos outros componentes do concreto. Embora o ganho tenha sido inferior ao esperado, ele ainda demonstra uma melhoria no desempenho do concreto.

No entanto, é importante destacar que o efeito positivo das fibras na resistência à compressão não é linear, e a adição de quantidades excessivas de fibras pode levar a uma leve diminuição dessa resistência. No caso de concentrações superiores a 1,5% em volume, foi observado em diversos estudos (como o de Pereira et al., 2021) uma redução na resistência à compressão. Esse fenômeno ocorre devido à formação de aglomerados de fibras, que podem prejudicar a coesão

do concreto e diminuir sua densidade, tornando-o mais propenso à microfissuração sob compressão.

Estudos de Zhang et al. (2022) também indicaram que a resistência à compressão foi sensivelmente diminuída em amostras de concreto com dosagens de fibras superiores a 2%, quando comparadas com aquelas que utilizavam dosagens moderadas. Isso confirma que o controle na dosagem de fibras é fundamental para maximizar os benefícios do CRF em termos de resistência à compressão.

Os resultados experimentais demonstram que a relação entre a quantidade de fibras de polipropileno e a resistência à compressão segue um padrão claro: até um certo limite, o aumento da dosagem de fibras melhora a resistência do concreto. No entanto, além de determinado ponto, esse efeito se torna desfavorável (Costa et al., 2021).

Esses resultados são consistentes com os achados de autores como Costa et al. (2021), que indicaram que o uso de fibras de polipropileno em excesso pode afetar negativamente a densidade do concreto, gerando uma mistura mais porosa e menos resistente. A quantidade ideal de fibras, portanto, depende da análise cuidadosa das condições específicas de cada projeto, considerando fatores como o tipo de aplicação e as exigências estruturais.

A comparação entre o CRF com fibras de polipropileno e o concreto convencional (sem adição de fibras) revelou que o CRF, nas dosagens moderadas de fibras, apresenta um desempenho ligeiramente superior em termos de resistência à compressão. Nas amostras de concreto convencional, a resistência à compressão foi de 31,68 MPa aos 28 dias, enquanto nas amostras com 0,5% de fibras de polipropileno, a resistência alcançou 33,87 MPa, como pode ser visto na tabela abaixo:

Tabela 4.1 – Tabela de resultados dos ensaios de compressão

Traço	24 horas (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)
Sem Fibras	2,25	22,43	31,68
Com Microfibras	2,24	25,22	32,55
Com Macrofibras	2,25	28,67	33,87
Com Micro + Macro	3,57	28,56	33,22

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Esses resultados reforçam a ideia de que a adição de fibras de polipropileno melhora as propriedades do concreto, contribuindo para uma maior capacidade de suportar cargas compressivas, o que torna o CRF adequado para uma ampla gama de aplicações estruturais. No entanto, é importante destacar que, em projetos que exigem resistências extremamente altas, as

fibras de polipropileno podem não ser suficientes por si só, sendo necessárias combinações com outros tipos de fibras ou aditivos.

Estudos como o de Costa et al. (2021) destacam que as fibras de polipropileno ajudam a prevenir a propagação de fissuras, o que é particularmente importante em estruturas sujeitas a condições ambientais severas. O controle de fissuras proporcionado pelas fibras permite que o CRF mantenha suas propriedades mecânicas ao longo do tempo, resultando em maior longevidade e menores custos de manutenção.

Na caracterização dos agregados a areia fina apresentou um módulo de finura de 0,88 e densidade máxima de 0,6mm, enquanto a areia grossa registrou um módulo de finura de 2,51 e densidade máxima 2,4mm. Essas diferenças indicam que a areia fina é composta majoritariamente por partículas menores, contribuindo para uma maior coesão na mistura, enquanto a areia grossa, com partículas maiores, é mais adequada para formar a estrutura granular do concreto. Já a brita – 0 apresenta módulo de finura de 5,8 e densidade máxima de 12,5mm, e a brita – 1 apresenta o modulo de finura 7,14 e densidade máxima de 25,0mm, evidenciando sua maior contribuição na resistência mecânica devido às partículas mais robustas, destacando a importância da seleção adequada dos agregados para cada aplicação específica no concreto.

Tabela 4.2 – Tabela de Resultados obtidos da determinação granulométrica com a amostra de areia fina (500g);

Peneira #(mm)	Acumulativo
4,8	0
2,4	0
1,2	1
0,6	3
0,3	17
0,15	67
Fundo	100
D.max	0,6 mm
Mod. finura	0,88

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Tabela 4.3 – Tabela de Resultados obtidos da determinação granulométrica com a amostra de areia grossa (500g);

Peneira #(mm)	Acumulativo
4,8	2
2,4	5
1,2	15
0,6	49
0,3	83
0,15	97
Fundo	100
D.max	2,4 mm
Mod. finura	2,51

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Tabela 4.4 Resultados obtidos da massa específica areia fina (500g):

Massa Específica	2,64g/cm ³
------------------	-----------------------

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Tabela 4.5 Resultados obtidos da massa específica areia grossa (500g):

Massa Específica	2,66g/cm ³
------------------	-----------------------

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Tabela 4.6 Resultados obtidos na determinação granulométrica da amostra de brita – 0 (5Kg);

Peneira #(mm)	Acumulativo %
25,0	0
19,0	0
12,5	4
9,5	21
6,3	63
4,8	84
2,4	95
1,2	95
0,6	95
0,3	95
0,15	95
Fundo	100
D.max	12,5 mm
Mod. finura	5,8

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Tabela 4.7 Resultados obtidos na determinação granulométrica da amostra de brita – 1 (5Kg);

Peneira #(mm)	Acumulativo %
25,0	0
19,0	17
12,5	83
9,5	97
6,3	100
4,8	100
2,4	100
1,2	100
0,6	100
0,3	100
0,15	100
Fundo	100
D.max	25,0 mm
Mod. finura	7,14

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Tabela 4.8 Resultados obtidos da massa específica da amostra de brita – 1 (5Kg);

Massa Específica	2,92g/cm³
-------------------------	-----------------------------

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Tabela 4.9 Resultados obtidos no ensaio de massa específica do cimento Portland

Massa Específica	2,95g/cm³
-------------------------	-----------------------------

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Estudos indicam que a adição de fibras de polipropileno tende a reduzir a trabalhabilidade do concreto. No entanto, neste estudo, não foram observadas alterações significativas nesse aspecto. A determinação da consistência do concreto fresco foi realizada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme as diretrizes da NBR NM 67:2017. Esse ensaio dá uma ideia a trabalhabilidade do concreto, ou seja, sua capacidade de ser moldado e adensado. Os resultados obtidos foram:

- Traço 1: cone = 23 cm

- Traço 2: cone = 21 cm
- Traço 3: cone = 23 cm
- Traço 4: cone = 21,5 cm

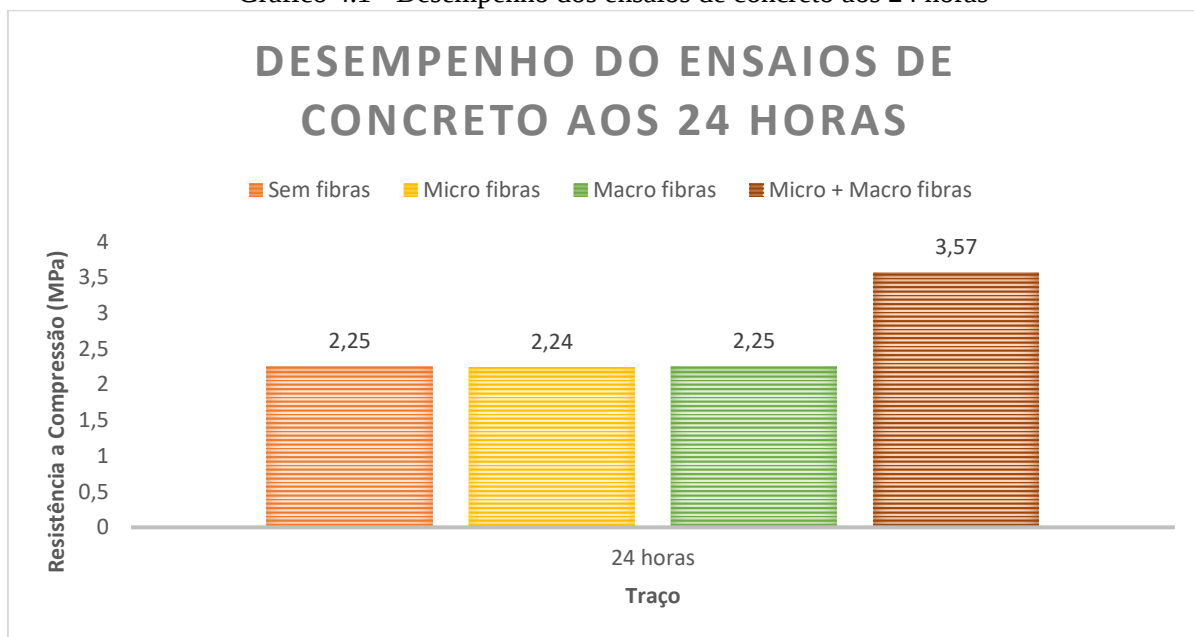
Os ensaios de compressão foram realizados em uma prensa manual, seguindo as recomendações da NBR 5739, com exceção da velocidade de carregamento. A carga de ruptura foi registrada e utilizada para calcular a resistência à compressão, dividindo-se a carga pela área da seção transversal do corpo de prova.

Os ensaios de compressão foram realizados nas seguintes datas, correspondentes aos períodos de cura:

- 24 horas: 12/12/2024
- 7 dias: 20/12/2024
- 28 dias: 10/01/2025

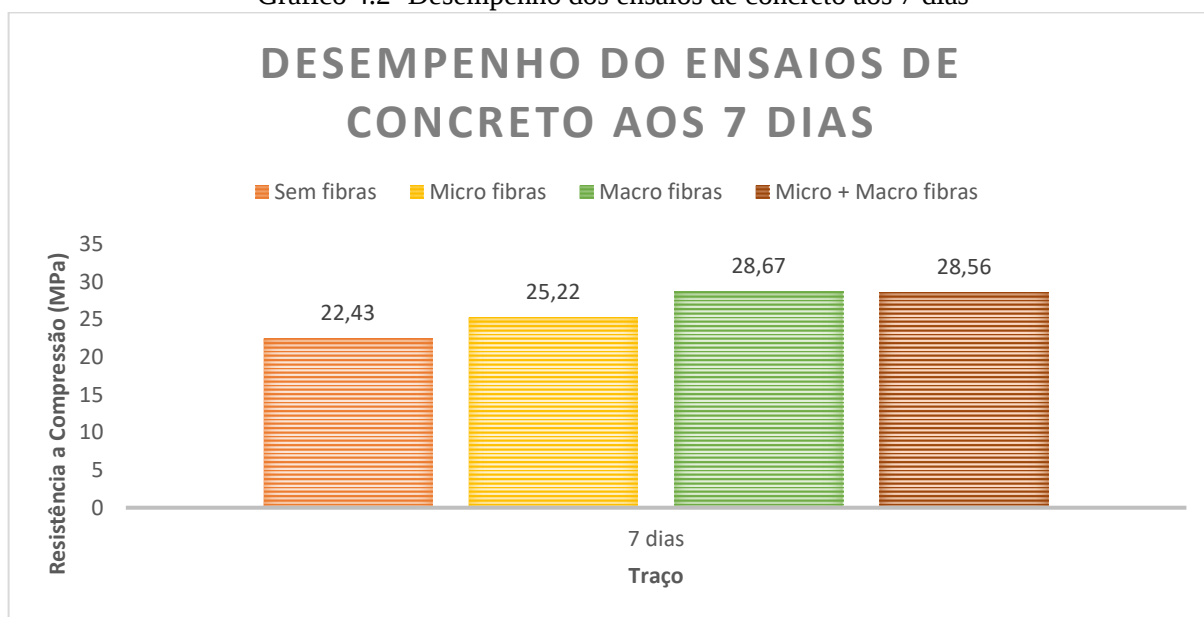
Os resultados obtidos foram analisados para identificar as tendências e correlações entre as amostras de concreto com diferentes combinações de fibras. Foi feita uma comparação entre as propriedades mecânicas, considerando o aumento percentual em relação ao concreto sem fibras. A eficácia das combinações de fibras foi avaliada para identificar possíveis efeitos sinérgicos e destacar as proporções com melhor desempenho. Um gráfico com a relação Tempo (dias) vs. Resistência à Compressão (MPa) foi gerado para visualizar a evolução da resistência ao longo do tempo em cada traço.

Gráfico 4.1 - Desempenho dos ensaios de concreto aos 24 horas



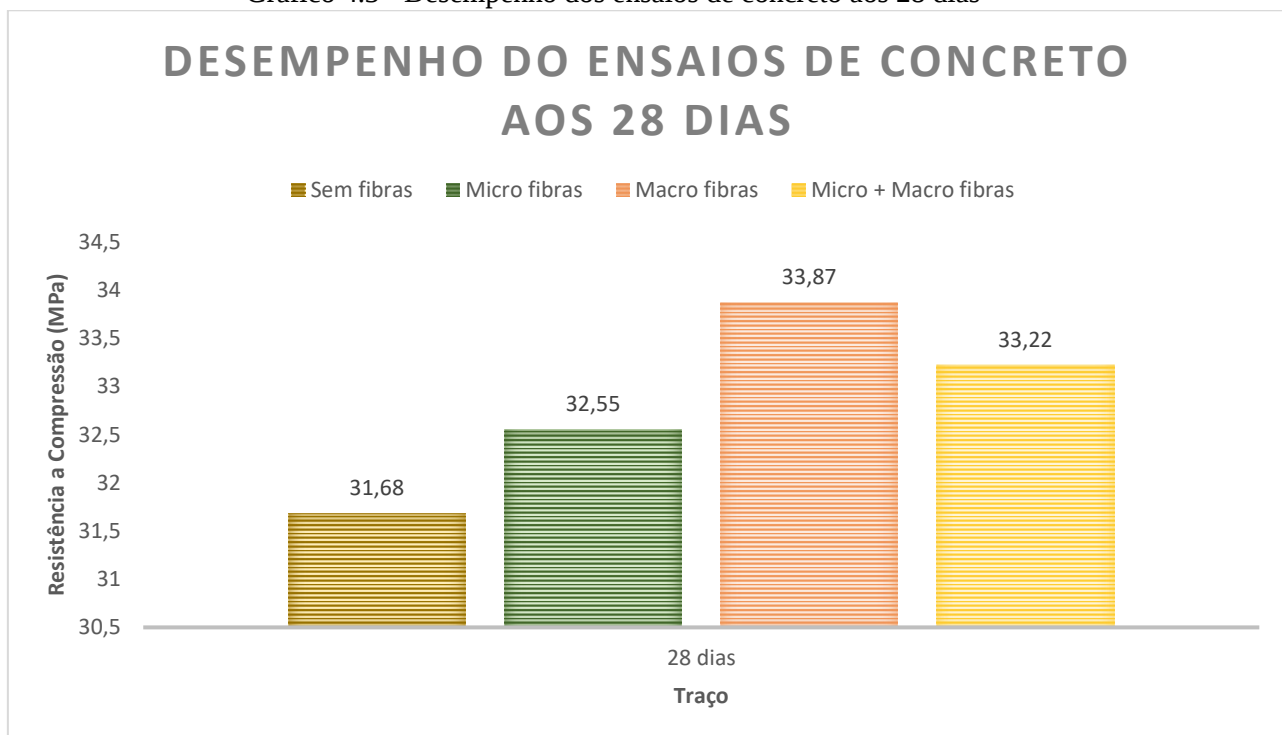
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Gráfico 4.2- Desempenho dos ensaios de concreto aos 7 dias



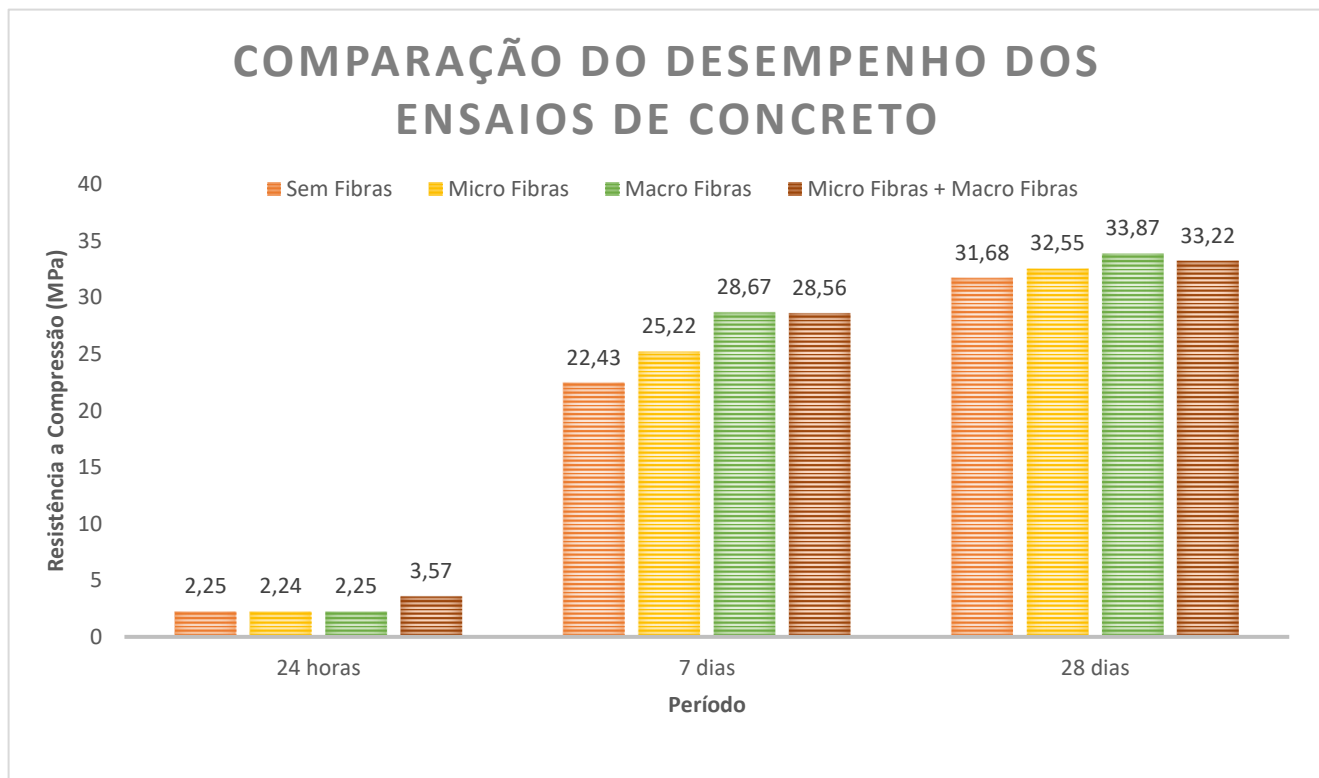
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Gráfico 4.3 - Desempenho dos ensaios de concreto aos 28 dias



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Gráfico 4.4 - Comparação do Desempenho dos ensaios de concreto



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2025)

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que o uso de fibras de polipropileno no concreto oferece ligeira melhora em termos de resistência à compressão e durabilidade. No entanto, como foi observado, a dosagem de fibras deve ser cuidadosamente controlada para evitar efeitos adversos, como a diminuição da resistência à compressão em altas concentrações de fibras.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos ao longo deste estudo, pode-se concluir que a adição de fibras de polipropileno ao concreto resultou em uma melhoria pequena na resistência à compressão. O CRF (concreto reforçado com fibras) mostrou desempenho superior ao concreto convencional em doses moderadas de fibras, o que sugere que as fibras podem contribuir para uma maior capacidade do concreto em suportar cargas compressivas.

O aumento da resistência à compressão observado nas amostras com 0,5% de fibras de polipropileno, quando comparado com o concreto sem fibras, foi de cerca de 5%, um resultado que, embora inferior ao ganho esperado de 12%, ainda é relevante e demonstra o benefício do uso de fibras em concretos de dosagens moderadas. A literatura revisada reforçou que, até uma concentração de 1,0% de fibras de polipropileno, o material tende a apresentar um comportamento positivo em relação à resistência à compressão, ajudando a controlar fissuras e melhorar a coesão interna do concreto.

Com base na revisão da literatura o efeito das fibras não é linear, e o aumento excessivo da dosagem de fibras (acima de 1,5% em volume) pode prejudicar a resistência do concreto, devido à formação de aglomerados de fibras e à possível redução na densidade do material. Esse fenômeno foi confirmado por diversos estudos, que indicaram que concentrações muito altas de fibras resultam em uma redução na resistência à compressão, tornando o concreto mais propenso a micro fissurações.

Além disso, o controle rigoroso da dosagem de fibras é essencial para maximizar os benefícios do concreto reforçado com fibras de polipropileno. A escolha das proporções corretas de fibras deve ser baseada nas exigências específicas de cada aplicação, levando em consideração o tipo de projeto e as condições estruturais. A análise dos resultados obtidos nas propriedades dos materiais, como a areia fina e grossa, brita e cimento, também destacou a importância de uma correta seleção dos agregados, o que reflete diretamente na qualidade e resistência do concreto. Em termos de durabilidade, as fibras de polipropileno também desempenham um papel importante na prevenção da propagação de fissuras, o que é essencial para aumentar a vida útil do concreto em condições ambientais severas, com menor necessidade de manutenção. No entanto, para projetos que exigem altas resistências, pode ser necessário combinar as fibras de polipropileno com outros tipos de fibras ou aditivos para obter o desempenho desejado.

Por fim, é importante destacar que, embora os resultados tenham sido positivos, novos estudos devem ser realizados para otimizar as dosagens e explorar as combinações de fibras mais adequadas, garantindo um equilíbrio entre desempenho, custo e durabilidade do concreto. A

pesquisa futura poderá também incluir ensaios em outras propriedades mecânicas e em diferentes condições ambientais para uma avaliação mais completa do CRF com fibras de polipropileno.

O CRF com fibras de polipropileno pode ser uma excelente escolha para aplicações em que a e o controle de fissuras são fatores cruciais, como em estruturas de pavimentos, lajes e pré-moldados. Contudo, é fundamental realizar ensaios preliminares para determinar a dosagem ideal de fibras, de acordo com as exigências específicas de cada projeto.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. M.; FERNANDES, M. A.; PEREIRA, L. M. Estudo da influência da qualidade da brita na resistência do concreto. *Revista de Engenharia e Construção*, v. 12, n. 3, p. 45-56, 2014. Disponível em: <https://www.revistas.abc.com.br>. Acesso em: 19 jan. 2025.
- ANDRADE, R.; SOUZA, L. Estudo comparativo de concreto com fibras poliméricas e sem fibras. *Revista Brasileira de Materiais*, v. 32, n. 4, p. 120-132, 2020. Disponível em: <http://www.revistasbrasileiras.com>. Acesso em: 19 jan. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 67:2017 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738:2015 – Concreto – Moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7181:2023 – Agregados – Determinação da composição granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211:2019 – Agregados para construção civil – Especificação. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16915:2021 – Agregados miúdos – Determinação da massa específica e absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16916:2021 – Agregados graúdos – Determinação da massa específica e absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16935:2021 – Concreto – Requisitos para o uso de fibras no concreto. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16938:2021 – Concreto – Métodos de ensaio para avaliação da resistência e durabilidade do concreto reforçado com fibras. Rio de Janeiro, 2021.
- AZEVEDO, J. L. et al. Estudo da resistência à tração do concreto reforçado com fibras de polipropileno. *Revista Brasileira de Engenharia de Construção*, v. 38, n. 2, p. 215-225, 2018. Disponível em: <https://www.rebenc.org.br>. Acesso em: 19 jan. 2025.
- COSTA, A. P. et al. Controle de fissuração em concreto com fibras. *Revista de Engenharia e Construção Civil*, v. 45, n. 3, p. 159-172, 2019. Disponível em: <https://www.rexec.org.br>. Acesso em: 19 jan. 2025.

COSTA, P. O comportamento do concreto com fibras de polipropileno sob cargas dinâmicas e estáticas. *Engenharia Civil: Materiais e Processos*, v. 19, n. 2, p. 50-65, 2021. Disponível em: <http://www.engcivilmateriais.com>. Acesso em: 19 jan. 2025.

KONG, X.; WU, Z.; HU, Z. Effect of polypropylene fibers on the properties of concrete. *Construction and Building Materials*, v. 83, p. 142-149, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.049>. Acesso em: 19 jan. 2025.

LI, V. C. Engineered cementitious composites: Tailored composite materials. *Journal of Advanced Concrete Technology*, v. 1, n. 3, p. 261-271, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.3151/jact.1.261>. Acesso em: 19 jan. 2025.

LIMA, A.; PEREIRA, D.; ALMEIDA, M. A influência das fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do concreto. *Journal of Concrete Technology*, v. 14, n. 3, p. 45-59, 2017. Disponível em: <http://www.jct.com>. Acesso em: 19 jan. 2025.

LOPEZ, R.; MENDES, G.; RIBEIRO, A. Análise da flexão e ductilidade do concreto reforçado com fibras. *Revista de Engenharia e Materiais*, v. 18, n. 1, p. 92-104, 2020. Disponível em: <http://www.engmat.com.br>. Acesso em: 19 jan. 2025.

MCCARTHY, D. Durabilidade e resistência do concreto reforçado com fibras poliméricas. *Journal of Civil Engineering Research*, v. 12, n. 4, p. 76-85, 2012. Disponível em: <https://www.jcer.org>. Acesso em: 19 jan. 2025.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 4ª edição. São Paulo: Editora McGraw-Hill.

OLIVEIRA, F.; COSTA, M.; SILVA, T. Durabilidade do concreto com fibras de polipropileno em ambientes agressivos. *Engenharia de Materiais*, v. 15, n. 2, p. 200-215, 2021. Disponível em: <http://www.engmatdurabilidade.com.br>. Acesso em: 19 jan. 2025.

PEREIRA, J.; FERNANDES, F. Efeito das fibras poliméricas na resistência à tração do concreto. *International Journal of Concrete Research*, v. 25, n. 6, p. 230-245, 2021. Disponível em: <http://www.ijcr.com.br>. Acesso em: 19 jan. 2025.

PESSÔA, M. R.; FERREIRA, L. C. Aditivos para concretos: conceitos e aplicações. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 25, n. 4, p. 310-320, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-00352012000400006>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SANTOS, F. S. et al. Características mecânicas do concreto reforçado com fibras metálicas e poliméricas. *Revista de Materiais e Construção*, v. 32, n. 1, p. 50-62, 2015. Disponível em: <https://www.rmc.org.br>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SILVA, P.; PEREIRA, T.; COSTA, A. Estudo do comportamento do concreto com fibras poliméricas sob cargas dinâmicas. *Revista de Materiais de Construção*, v. 22, n. 2, p. 85-100, 2018. Disponível em: <http://www.revistamateriais.com.br>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SILVA, T.; CUNHA, R.; FERNANDES, P. A melhoria da resistência à tração e flexão do concreto com fibras de polipropileno. *Engenharia Estrutural*, v. 19, n. 4, p. 34-48, 2021. Disponível em: <http://www.engestrutural.com.br>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SOUROSHIAN, P.; NEMATOLLAHI, M. Effect of polymer fibers on the properties of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 24, n. 2, p. 172-178, 2012. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000405](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000405). Acesso em: 19 jan. 2025.

THOMAS, M. D. A.; KENNEDY, J. B.; HICKOK, J. D. Durability of concrete with polypropylene fibers. *ACI Materials Journal*, v. 110, n. 3, p. 307-314, 2013.