



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EDSON RENE GIRÃO FEITOZA FILHO**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO NO ESTADO  
FRESCO E ENDURECIDO COM A ADIÇÃO DE FIBRAS DE COCO:  
COMPARATIVO COM AS FIBRAS SINTÉTICAS**

**FORTALEZA**

**2021**

EDSON RENE GIRÃO FEITOZA FILHO

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO NO ESTADO  
FRESCO E ENDURECIDO COM A ADIÇÃO DE FIBRAS DE COCO:  
COMPARATIVO COM AS FIBRAS SINTÉTICAS

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

Orientadora: Profa. Rafaela Fujita Lima.

FORTALEZA

2021

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

F311a      Feitoza Filho, Edson Rene Girão.  
              Análise das propriedades mecânicas do concreto no estado fresco e endurecido com a adição de fibras de coco : comparativo com as fibras sintéticas / Edson Rene Girão Feitoza Filho. - 2021. 72 f. : il. color.

              Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.  
              Orientação: Profa. Ma. Rafaela Fujita Lima.

              1. Concreto. 2. Fibras. 3. Sustentabilidade. 4. Tecnologia. I. Título.

CDD 624

EDSON RENE GIRÃO FEITOZA FILHO

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO NO ESTADO  
FRESCO E ENDURECIDO COM A ADIÇÃO DE FIBRAS DE COCO:  
COMPARATIVO COM AS FIBRAS SINTÉTICAS

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

Orientadora: Profa. Rafaela Fujita Lima.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Profa. Ms. Marisa Teófilo Leitão  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

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

A todos que me acompanharam nessa longa jornada e fizeram parte da realização desse sonho. Em cada momento e a cada passo dado tive pessoas queridas ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força em todos os momentos no decorrer da minha graduação e ter sido responsável em me proporcionar muita dedicação para alcançar meus objetivos.

Agradeço aos meus pais, Irismar Alexandre Martins Feitoza e Edson Rene Girão Feitoza, por todos os esforços em me garantir excelente educação e condições para ingressar em uma graduação.

Agradeço aos meus amigos e familiares por estarem sempre ao meu lado durante toda essa trajetória e me apoiarem em todas as situações decisivas ao longo desse período.

Agradeço à minha grande orientadora, Profa. Rafaela Fujita Lima, que sempre admirei durante o período de graduação e que desempenhou toda a sua dedicação e atenção para me acompanhar nesse trabalho acadêmico. Obrigado pela oportunidade e todo o apoio para que esse trabalho fosse concluído.

Agradeço a minha banca avaliadora, formada pela Profa. Marisa Teófilo Leitão e pela Profa. Mariana de Araújo Leite, professoras que admiro muito e aceitaram com tanto carinho participar e contribuir com esse trabalho. Sou muito grato em poder contar com suas contribuições.

Sou muito grato pela importante contribuição da professora Leila Carvalho, por colaborar durante a disciplina de TCC e com uma das etapas da elaboração da pesquisa.

Agradeço a minha namorada, Andreza Alves, que esteve comigo e acompanhou toda a minha dedicação na realização desse trabalho, assim como sempre me incentivou a nunca desistir.

Agradeço aos meus amigos de faculdade, Carlos Fonseca; Rodrigo Silveira; Lucas Nunes; João Célio; Ygor Tavares; Vitória Morais, que estavam presentes durante toda essa jornada mesmo nos momentos mais difíceis.

A todos, o meu muito obrigado.

## RESUMO

No Brasil, a construção civil constitui um dos mais importantes setores de desenvolvimento econômico do país. Repleto de avanços no campo da tecnologia e inovação ainda possui áreas a serem bastante exploradas, principalmente, no que diz respeito à sustentabilidade. O concreto é um dos materiais mais utilizados nesse segmento, o seu controle de qualidade é bastante importante e precisa estar sempre de acordo com os mais altos padrões de qualidade, durabilidade e segurança. Muitos pesquisadores buscam adquirir novas características ao concreto ou otimizar suas principais funcionalidades, aliado aos crescentes desafios que acometem o grande setor da construção civil, a redução dos desperdícios e a preocupação constante com o meio ambiente. Sendo assim, o presente trabalho busca verificar as possíveis alterações das propriedades mecânicas do concreto com a utilização de fibras naturais de coco no estado fresco e endurecido, através do ensaio de abatimento de tronco de cone e dos ensaios de compressão axial e tração na flexão. Para isso, foi utilizado um traço contendo fibras sintéticas fornecidas por um Usina Local para a realização dos comparativos entre as amostras, visto que as fibras sintéticas já são comercializadas no Brasil, além de já possuírem normas para regulamentar esse tipo de material. Logo, o trabalho concluiu-se que a utilização das fibras naturais de coco possui grande potencial e é viável do ponto de vista técnico, segundo as normas brasileiras, por apresentarem resistências satisfatórias, além de atenderem aos apelos sustentáveis e sociais. Porém, as fibras de coco ainda requerem estudos mais aprofundados antes de serem utilizados comercialmente como reforços em elementos de concreto.

**Palavras-chave:** Concreto. Fibras. Sustentabilidade. Tecnologia.

## **ABSTRACT**

In Brazil, civil construction is one of the most important economic development sectors in the country. Full of advances in the field of technology and innovation, it still has areas to be extensively explored, especially with regard to sustainability. Concrete is one of the most used materials in this segment, its quality control is very important and it must always comply with the highest standards of quality, durability and safety. Many researchers are looking to acquire new characteristics to concrete or optimize its main functionalities, allied to the growing challenges that affect the large civil construction sector, the reduction of waste and the constant concern with the environment. Therefore, the present work seeks to verify the possible changes in the mechanical properties of concrete with the use of natural coconut fibers in the fresh and hardened state, through the slump test of the cone trunk and the tests of axial compression and flexion traction. For this, a mix containing synthetic fibers supplied by a Local Plant was used to carry out comparisons between the samples, since synthetic fibers are already commercialized in Brazil, in addition to already having standards to regulate this type of material. Therefore, the work concluded that the use of natural coconut fibers has great potential and is feasible from a technical point of view, according to Brazilian standards, as they present satisfactory resistance, in addition to meeting sustainable and social appeals. However, coconut fibers still require further studies before being used commercially as reinforcements in concrete elements.

**Keywords:** Concrete. Fibers. Sustainability. Technology.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sequência de peneiras no ensaio de peneiramento.....	21
Figura 2 – Agregados graúdos mais comercializados no Brasil. ....	22
Figura 3 – Ensaio de tração na flexão. ....	26
Figura 4 – Carregamento / Deslocamento para um concreto convencional e para um concreto reforçado com fibras. ....	27
Figura 5 – Tensões devido a presença de fissuras. ....	28
Figura 6 – (a) fibras de aço do tipo curtas; (b) fibras de aço do tipo longas. ....	30
Figura 7 – Classificação segundo ao processo de fabricação da fibra de aço. ....	31
Figura 8 – Classificação segundo a geometria da fibra de aço. ....	31
Figura 9 – Cilindro de macrofibras e Macrofibras fornecidas soltas. ....	32
Figura 10 – Distribuição do mercado brasileiro de macrofibras nos últimos anos. ....	33
Figura 11 – Fluxograma. ....	40
Figura 12 – Speedy Test. ....	41
Figura 13 – Fibras de coco. ....	49
Figura 14 – Fibras de coco cortadas e agrupadas. ....	49
Figura 15 – Processo de aquecimento das fibras de coco. ....	50
Figura 16 – Fibras de coco secando ao ar livre e em seguida ensacadas. ....	50
Figura 17 – Ilustração Slump Test. ....	51
Figura 18 – Corpos de prova cilíndricos moldados. ....	51
Figura 19 – Corpos de prova prismáticos moldados. ....	52
Figura 20 – Tanque de cura úmida. ....	52
Figura 21 – Retífica faceadora automática. ....	53
Figura 22 – Prensa hidráulica. ....	53
Figura 23 – Corpo de prova prismático. ....	54
Figura 24 – Corpo de prova prismático na prensa hidráulica. ....	54
Figura 26 – Corpos de prova cilíndricos após o ensaio de compressão. ....	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	19
Quadro 2 – Aditivos químicos. ....	24
Quadro 3 – Problemas que podem ser encontrados no concreto fresco. ....	25
Quadro 4 – Fibras sintéticas substituindo o reforço de aço. ....	34
Quadro 5 – Normas técnicas vigentes.....	38
Quadro 6 – Ensaio de abatimento dos traços. ....	56
Quadro 7 – Corpos de prova prismáticos após o ensaio de tração na flexão. ....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades das fibras mais encontradas no mercado. ....	29
Tabela 2 – Propriedades importantes das principais fibras naturais.....	36
Tabela 3 – Ensaio de granulometria – Areia Natural. ....	42
Tabela 4 – Ensaio de granulometria – Pó de pedra. ....	43
Tabela 5 – Distribuição do agregado graúdo (brita 1).....	44
Tabela 6 – Traço com fibras sintéticas fornecido pela Usina local.....	46
Tabela 7 – Traço unitário com fibras sintéticas fornecido pela Usina local. ....	46
Tabela 8 – Especificações do traço com fibras sintéticas.....	46
Tabela 9 – Traço com fibras sintéticas.....	47
Tabela 10 – Traço ajustado com fibras sintéticas.....	47
Tabela 11 – Traço de referência. ....	47
Tabela 12 – Traço com 50g de fibras de coco (baixa concentração).....	48
Tabela 13 – Traço com 100g de fibras de coco (alta concentração). ....	48
Tabela 14 – Ensaio, corpos de prova e idade de ruptura dos traços. ....	48
Tabela 15 – Dimensões do corpo de prova e vão de ensaio. ....	52
Tabela 16 – Abatimento dos traços (Slump Test).....	55

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de distribuição do agregado miúdo (areia natural). .....	42
Gráfico 2 – Curva de distribuição do agregado miúdo (pó de pedra).....	43
Gráfico 3 – Curva de distribuição do agregado graúdo (Brita 1). .....	44
Gráfico 4 – Comparativo dos abatimentos. ....	55
Gráfico 5 – Resistência à compressão aos 7 dias. ....	57
Gráfico 6 – Valores máximos das resistências à compressão aos 7 dias.....	58
Gráfico 7 – Resistência à compressão aos 28 dias. ....	58
Gráfico 8 – Valores máximos das resistências aos 28 dias. ....	59
Gráfico 9 – Ganho de resistência entre idades.....	59
Gráfico 10 – Ganho percentual de resistência entre idades. ....	60
Gráfico 11 – Ganho de resistência das fibras aos 28 DIAS. ....	60
Gráfico 12 – Resistência à tração na flexão aos 28 dias. ....	61
Gráfico 13 – Valores máximos das resistências à tração na flexão aos 28 dias. ....	62

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Justificativa do Trabalho .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>15</b>
1.2.1 <i>Objetivo Geral .....</i>	15
1.2.2 <i>Objetivos Específicos .....</i>	16
<b>1.3 Estrutura do Trabalho.....</b>	<b>16</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Concreto.....</b>	<b>17</b>
2.1.1 <i>Cimento Portland .....</i>	18
2.1.2 <i>Adições Minerais .....</i>	19
2.1.3 <i>Agregados.....</i>	20
2.1.3.1 <i>Agregado Miúdo .....</i>	21
2.1.3.2 <i>Agregado Graúdo.....</i>	22
2.1.4 <i>Aditivos.....</i>	23
2.1.5 <i>Água.....</i>	25
<b>2.2 Propriedades Importantes .....</b>	<b>26</b>
2.2.1 <i>Tração na Flexão .....</i>	26
2.2.2 <i>Tenacidade das Fibras.....</i>	27
<b>2.3 Fibras.....</b>	<b>28</b>
2.3.1 <i>Tipos de Fibras .....</i>	29
2.3.1.1 <i>Fibras de Aço .....</i>	30
2.3.1.2 <i>Fibras Sintéticas.....</i>	31
2.3.2 <i>Aplicações.....</i>	33
2.3.3 <i>Vantagens e Limitações .....</i>	34
2.3.5 <i>Fibras Naturais.....</i>	35
2.3.5.1 <i>Fibras de Coco .....</i>	36
2.3.6 <i>Normas Técnicas Vigentes.....</i>	37
<b>2.4 Estudos sobre fibras de coco e fibras sintéticas no traço do concreto .....</b>	<b>38</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Materiais.....</b>	<b>40</b>
3.1.1 <i>Cimento Portland .....</i>	41

3.1.2 Granulometria dos agregados miúdos.....	41
3.1.3 Granulometria do agregado graúdo.....	43
3.1.4 Água.....	44
3.1.5 Aditivo.....	45
3.1.6 Fibras de Coco.....	45
3.1.7 Fibras sintéticas .....	45
<b>3.2 Métodos.....</b>	<b>45</b>
3.2.1 Dosagem do traço com fibras sintéticas .....	46
3.2.2 Dosagem do traço de referência .....	47
3.2.3 Dosagem do traço com fibras de coco .....	47
<b>3.3 Execução dos concretos e ensaios .....</b>	<b>48</b>
3.3.1 Tratamento e limpeza das fibras de coco .....	49
3.3.2 SlumpTest.....	50
3.3.3 Moldagem dos corpos de prova .....	51
3.3.4 Ensaio de resistência à compressão .....	53
3.3.5 Ensaio de resistência à tração na flexão .....	54
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 Resultados dos ensaios .....</b>	<b>55</b>
4.1.1 Concreto no estado fresco .....	55
4.1.2 Concreto no estado endurecido .....	57
4.1.2.1 Resistência à compressão aos 7 dias .....	57
4.1.2.2 Resistência à compressão aos 28 dias .....	58
4.1.2.3 Resistência à tração na flexão .....	61
4.1.3 Comparativos nos ensaios Pós-Fissuração.....	63
4.1.3.1 Pós-fissuração no ensaio de compressão axial.....	63
4.1.3.2 Pós-fissuração no ensaio de tração na flexão .....	64
<b>4.2 Considerações finais .....</b>	<b>65</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>67</b>
<b>5.1 Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto do desenvolvimento socioeconômico de uma sociedade, o setor da construção civil possui forte influência na geração de empregos e na movimentação da economia de um país. A necessidade de obter melhorias constantes, de acordo com o crescimento da tecnologia nas edificações, o torna alvo de pesquisas e investimentos cada vez mais avançados e conseqüentemente a execução de projetos mais seguros, econômicos e eficientes.

Além disso, a construção civil também é responsável por consumir grandes quantidades de insumos destinados a esse setor como as matrizes cimentícias que representam uma grande parcela do consumo geral dos materiais, podendo destacar o elevado uso do concreto e das argamassas. O alto consumo desses materiais requer uma série de medidas no que diz respeito ao controle de qualidade, pois o surgimento de manifestações patológicas compromete a durabilidade e a segurança das estruturas.

O número de construções continua a crescer em todo o mundo e a preocupação em conservar as estruturas ao longo de sua vida útil se torna um grande desafio em função das restrições econômicas e construtivas atuais (BEBER, 2003).

Visando a preocupação em conservar as estruturas, algumas medidas preventivas podem ser realizadas e interferir diretamente na durabilidade dos elementos estruturais. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a durabilidade das estruturas de concreto deve atender à critérios estabelecidos em projeto de modo a conservar a segurança, estabilidade e utilização durante todo o prazo estipulado à sua vida útil.

O concreto é um dos materiais mais utilizados e estudados na construção civil devido a sua grande importância e vasta utilização. Apesar do concreto possuir elevada resistência à compressão axial, o que proporciona vantagens em relação a outros tipos de soluções construtivas, sua resistência à tração na flexão é bastante inferior, limitando o seu desempenho e sendo necessário a adição de outros materiais para contrapor essa característica.

Segundo Thomaz (2020), o surgimento de manifestações patológicas por meio das fissuras, causadas por tensões de tração nos elementos estruturais, apresenta uma complexa e extensa lista de medidas corretivas onerosas e incompatível com o poder de compra dos consumidores brasileiros de edificações.

Para evitar esse tipo de transtorno é fundamental a existência de estudos preliminares que apresentem soluções eficientes que aumente, significativamente, a vida útil das edificações sem comprometer a sua utilização e o seu desempenho.

Com o objetivo de atenuar as características que possam melhorar o desempenho e prolongar a vida útil das estruturas de concreto o uso de materiais fibrosos se mostram como boas alternativas viáveis e a sua utilização tem crescido no mercado da construção civil. Essas fibras se destacam por apresentarem excelentes propriedades mecânicas, além de serem materiais finos e bastante flexíveis, garantindo a utilização em reforços estruturais com ótimos resultados e aplicações diversas (LUCENA; OLIVEIRA; SILVA, 2016).

A utilização de materiais fibrosos nos compostos cimentícios tendem a reduzir os efeitos gerados em rupturas bruscas após fissuração e adicionar propriedades mecânicas importantes como a resistência à tração, à flexão e ao impacto (SILVA; MARQUES; F. JUNIOR, 2012 apud AGOPYAN; SAVASTANO JUNIOR, 2007, p. 1555).

As fibras naturais, utilizadas como reforço estrutural em matrizes frágeis à base de cimento Portland, se tornaram algo de grande interesse devido ao seu baixo custo, vasta disponibilidade e apelo às questões de sustentabilidade, principalmente nos países em desenvolvimento (SAVASTANO JUNIOR, 2000). Além disso, a capacidade de reutilizar materiais de matéria prima abundante que teriam como destino o descarte, muitas vezes inadequado, torna a possibilidade de incorporar essas fibras na construção civil algo de bastante interesse e importância se tratando de aspectos ambientais.

Cabe ao setor da construção civil incentivar a redução gradativa do consumo de matéria-prima não renovável atrelado ao reaproveitamento dos resíduos através dos avanços em tecnologias inovadoras. Essas medidas estão inseridas no contexto do desenvolvimento sustentável que possui a capacidade de suprir as necessidades dos recursos naturais sem comprometer a capacidade de atender às gerações futuras (SILVA *et al.*, 2015).

A utilização de fibras naturais em elementos estruturais pode reduzir, significativamente, a extração de recursos naturais presentes na produção dos materiais cimentícios. É de responsabilidade dos pesquisadores buscar medidas viáveis, pensando nos aspectos ambientais e econômicos, que se mostrem eficazes



no ponto de vista tecnológico através de esforços multidisciplinares entre as principais áreas de conhecimento atuante no mercado (SILVA *et al.*, 2015).

## **1.1 Justificativa do Trabalho**

O coco possui grande abundância no estado do Ceará devido a fatores climáticos que impulsionam o seu cultivo e consumo. Esse material é destinado a diversos setores industriais, seja na comercialização da água extraída como no reaproveitamento dos resíduos gerados pela casca do coco.

O uso das fibras do coco também possui relevância no ponto de vista da sustentabilidade, uma vez que esse material sendo reaproveitado nas construções, pode interferir na vida útil das edificações e contribuir para a redução de resíduos gerados pela própria construção civil.

Tendo como base a hipótese de que as fibras naturais podem ser benéficas em reforço de elementos estruturais, utilizando como referências estudos já realizados nesse sentido, o presente trabalho apresenta um estudo sobre a influência da adição de fibras de coco nas propriedades mecânicas do concreto no estado fresco e endurecido.

O trabalho se baseia em estudos que comprovaram a eficácia das fibras, mas também toma como parâmetro outros estudos que possuíam limitações quanto a determinação do traço utilizado. Com isso, foram revisados alguns trabalhos com o objetivo de ajustar o traço e utilizar quantidades mais adequadas de fibras na tentativa de otimizar esses resultados encontrados.

Desse modo, questiona-se: Qual a influência das fibras naturais de coco nas propriedades do concreto nos ensaios de resistências à compressão e tração na flexão, assim como nas características do concreto no estado fresco?

## **1.2 Objetivos**

### *1.2.1 Objetivo Geral*

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com relação a variação dos teores de fibras de coco, assim como comparar o desempenho dessas fibras com as fibras sintéticas, já utilizadas no mercado.

### *1.2.2 Objetivos Específicos*

- a) Determinar o traço de referência que servirá de base para os comparativos entre as amostras estudadas;
- b) Comparar os resultados obtidos no estado fresco do concreto entre os traços estudados com o traço de referência.
- c) Comparar os resultados de resistência à compressão dos traços estudados com o traço de referência;
- d) Comparar os resultados de resistência à tração na flexão dos traços estudados com o traço de referência.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

Para desenvolver esse roteiro, o Capítulo 1 se trata do conteúdo elementar da introdução; seguido do Capítulo 2 que abrange o Referencial Teórico onde serão descritos os aspectos como as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido; a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão, entre outros tópicos, chegando nas análises das propriedades mecânicas do concreto e os fatores que influenciam nas resistências com a adição de fibras ao seu traço. O capítulo 3 aborda a Metodologia onde será desenvolvido todo o delineamento da pesquisa experimental tal como os ensaios laboratoriais, o desenvolvimento do traço de referência, a escolha dos teores e tamanhos de fibras de coco utilizadas nos estudos e a escolha da resistência de base. O capítulo 4 apresenta os resultados e discussões dos dados obtidos com a pesquisa e o Capítulo 5 mostra as conclusões obtidas como o estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse tópico contempla os fundamentos teóricos dos assuntos abordados nesse trabalho, com o objetivo de apresentar a literatura sobre os materiais necessários para compor o concreto, assim como os aditivos fibrosos usados nas análises. Também serão abordados assuntos sobre às propriedades mecânicas inerentes a adição das fibras de coco no concreto e aos ensaios realizados no estado fresco e endurecido, além de abordar sobre a durabilidade dos elementos estruturais e a sustentabilidade ambiental. Com isso, serão detalhados os ensaios necessários a serem realizados, a fim de verificar, as alterações nas propriedades mecânicas dos corpos de prova estudados.

### 2.1 Concreto

A composição do concreto é constituída por uma mistura de materiais, cuidadosamente distribuído, de modo a proporcionar características específicas para os elementos estruturais, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Esse composto é formado pelo aglomerante cimentício, água, agregado miúdo e agregado graúdo e pode apresentar adições químicas, cuja finalidade é melhorar ou modificar suas propriedades básicas (BASTOS, 2019).

A utilização do concreto é bastante antiga e foi desenvolvida, historicamente, pelos Gregos e Romanos com a aplicação de calcário calcinado, adicionada de areia, pedra fragmentada e água. Com o objetivo de utilizar esse compósito nas construções submersas, os Romanos moíam argamassa a cal juntamente com cinzas vulcânicas. Essa composição formava reações químicas que garantiam ao concreto propriedades mecânicas únicas o que mais tarde ficou mundialmente conhecida como cimento pozolânico (NEVILLE, 2016).

Normalmente, são adicionados alguns elementos que possuem a capacidade de modificar certas propriedades desejáveis do concreto, como a trabalhabilidade e a resistência ao longo do tempo, através do uso dos aditivos. Além disso, quando a mistura dos elementos bases do concreto é formada apenas por água e cimento, ela é denominada pasta. Quando essa mistura é acrescida de agregados miúdos, como as areias e os siltes, ela passa a ser denominada argamassa. Ao adicionar agregados graúdos a toda essa mistura, finalmente ocorre a formação do concreto (PARIZOTTO, 2017).

O concreto possui vasta utilização na construção civil desde sua descoberta, no entanto sua baixa resistência à tração, particularmente em esforços submetidos à flexão, faz-se necessário encontrar novas soluções para suprir tal necessidade. Com isso, foi desenvolvido uma associação entre diferentes materiais estruturais para atribuir características satisfatórias de resistência à tração. O concreto recebeu conjuntos de armaduras de aço, o que foi denominado de concreto armado (TEATINI, 2016).

Segundo Bastos (2019), o concreto possui elevada resistência à compressão o que o torna um excelente material para ser utilizado em pilares, porém, devido a sua baixa resistência na flexão, esse material possui características de fragilidade à tração, como observados em vigas. De acordo com Teatini (2016), por volta da década de 1990, foram introduzidos ao concreto os materiais destinados ao reparo e reforço das estruturas, os polímeros reforçados com fibras sintéticas.

### *2.1.1 Cimento Portland*

O cimento Portland desde sua descoberta em meados do século XIX é considerado um dos materiais estruturais mais importantes da construção civil atualmente. Esse material foi responsável por revolucionar os padrões construtivos e se tornou o elemento mais consumido pela humanidade, depois da água (HELENE; ANDRADE, 2005).

O cimento Portland, obtido a partir da moagem do clínquer e adições minerais é um aglomerante hidráulico, ou seja, um material que reage quando em contato com água até o seu endurecimento. Após seu endurecimento, ele não se decompõe na presença de água (PARIZOTTO, 2017)

Esse tipo de material é considerado o constituinte mais nobre do concreto, a mistura desse material com água resulta em uma pasta que envolve todos os agregados e sua função é de unir as partes que compõem o concreto por meio de sua propriedade ligante. Atualmente, o cimento Portland pode ser encontrado no mercado em diferentes tipos e com diferentes finalidades, normalizado pela ABNT, sendo que cada tipo apresenta características específicas e a escolha adequada destas propriedades resulta na qualidade do concreto (RIBEIRO JUNIOR, 2015).

A hidratação do cimento é resultante das reações químicas do cimento com a água, que garantem a condição de pega e endurecimento ao produto. A perda da trabalhabilidade, também chamada de perda de consistência, e a solidificação do

cimento são características da hidratação dos aluminatos, por outro lado os silicatos são responsáveis pelo desenvolvimento da resistência da mistura (RIBEIRO JUNIOR, 2015).

### 2.1.2 Adições Minerais

De acordo com Mendes (2006), os aditivos e as adições minerais se diferem sutilmente entre si, sendo que em alguns países, como os Estados Unidos, esses materiais são classificados como um único material. No Brasil, as adições minerais são classificadas como escórias de alto forno, pozolanas e fíleres calcários, entre outros. As adições minerais, diferente dos aditivos químicos, são incorporadas ao cimento em grandes quantidades e pelas próprias empresas cimenteiras seguindo processos normalizados por normas.

Segundo a ABNT NBR 16697: 2018, os cimentos Portland compostos são classificados de acordo com sua adição e suas propriedades especiais. Com isso, recebem siglas que o identificam seguido da sua classe de resistência mecânica acrescidas dos sufixos RS e BC, quando necessário, de acordo com a Quadro 1.

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

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo		
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 c	RS a ou BC b -		
	Com adição	CP I - S				
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II - E				
	Com material carbonático	CP II - F				
	Com material pozolânico	CP II - Z				
Cimento Portland de alto-forno		CP III				
Cimento Portland pozolânico		CP IV				
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI d			
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 c			
	Não estrutural	CPB	-	-		
a - O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.						
b - O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.						
c - As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascal (Mpa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.						
d - Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 Mpa, quando ensaiado de acordo a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.						

Fonte: Adaptado de Associação brasileira de normas técnicas (2018).

Segundo Mendes (2006), as adições minerais possuem o objetivo de aprimorar o desempenho do concreto, além de contribuir para a redução dos custos de produção das matrizes cimentícias. Segundo Nakamura (2009), as adições minerais, assim como os aditivos químicos, estão em constante evolução e aperfeiçoamento, junto ao concreto, para atender as crescentes exigências da construção civil, como as necessidades por durabilidade, redução da exigência de mão obra e redução nos impactos ambientais.

### *2.1.3 Agregados*

Os agregados destinados à construção civil devem apresentar, durante sua fabricação, processos rigorosos no controle de qualidade, pois representam cerca de  $\frac{3}{4}$  do volume total do concreto. Dentre os requisitos exigidos, destacam-se a durabilidade, a resistência e o seu desempenho. Esses agregados além de possuírem o papel de preenchimento do concreto, reduzindo o consumo de cimento, também influenciam no desempenho do concreto no estado fresco e endurecido, pois são materiais não inertes e podem reagir com outros materiais presentes na mistura (LISBOA; ALVES; MELO, 2017).

O cimento é um material mais oneroso que os agregados, por isso é mais vantajoso, economicamente, utilizar os agregados em grandes quantidades, respeitando as características mecânicas que se pretende obter no concreto. Além disso, os agregados promovem melhorias consideráveis ao concreto como proporcionar maior estabilidade de volume e maior durabilidade comparado a pasta de cimento hidratada (NEVILLE, 2016).

As propriedades físicas como o tamanho, o volume e a distribuição dos poros, tornam os agregados os principais responsáveis pela massa unitária, pelo módulo de elasticidade e pela estabilidade dimensional do concreto. Esses materiais influenciam diretamente no comportamento estrutural do concreto. Suas características mais importantes são: densidade e resistência mecânica. Apesar de serem mais resistentes que outros componentes do concreto, os agregados não possuem influência direta com a resistência do concreto normal, contudo podem apresentar certa influência em agregados muito porosos ou quebradiços (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

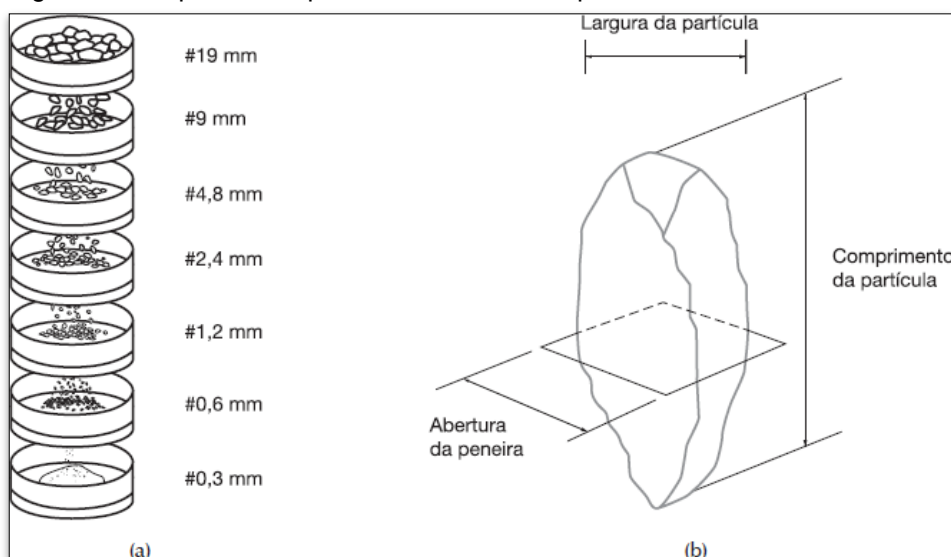
Segundo Neville (2016), a aderência entre a pasta de cimento e os agregados é um fator muito importante da resistência à flexão do concreto. O autor

afirma que em superfícies mais rugosas, devido ao intertravamento mecânico com a pasta de cimento hidratada, essa aderência é ainda maior. De acordo com Neville e Brooks (2013), não é fácil determinar a resistência à compressão dos agregados. Contudo, a resistência à compressão do concreto não pode ser muito superior a resistência da maior parte dos agregados utilizados.

### 2.1.3.1 Agregado Miúdo

Para Weidmann (2008), os agregados são divididos em dois grupos distintos de acordo com o ensaio de peneiramento mostrado na Figura 1: agregados miúdos e graúdos. Ainda segundo o autor, os agregados miúdos são aqueles que seus grãos passam na peneira 4,75mm e ficam retidos na peneira de 0,15mm.

Figura 1 – Sequência de peneiras no ensaio de peneiramento



Fonte: Bauer (2019).

Os agregados miúdos, conhecidos como areias, são considerados naturais quando sua menor dimensão está entre 70 e 60  $\mu\text{m}$ . Os siltes entre 60 e 2  $\mu\text{m}$  e as partículas menores são conhecidas como argilas ou siltes. (NEVILLE, 2016).

As areias naturais são formadas, durante seu processo, pelo atrito ocasionando a perda dos seus vértices, por isso apresentam grãos mais arredondados. Por outro lado, as areias artificiais de britagem apresentam maior rugosidade em seus formatos (FABRO *et al.*, 2011).

Os agregados miúdos utilizados na indústria de concreto possuem origens dos leitos dos rios (areias naturais) ou são produzidos artificialmente da britagem de

rochas. A maior diferença entre esses materiais são as dimensões dos seus grãos (FABRO *et al.*, 2011).

### 2.1.3.2 Agregado Graúdo

A escolha do agregado graúdo precisa ser realizada com bastante cuidado, pois as dimensões e a forma do agregado podem interferir indiretamente na resistência do concreto. Quanto maior for os tamanhos escolhidos em projeto para o concreto e maior a proporção de materiais alongados, maior será o enfraquecimento da zona de transição, pasta-agregado, devido ao acúmulo de água junto a superfície do agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De acordo com Neville e Brooks (2013), para a produção de um concreto de boa qualidade é necessário a divisão dos agregados em dois grupos principais, separados pela peneira de 5 mm ou a peneira ASTM N°4. Segundo Bastos (2019), os agregados graúdos são aqueles retidos nas peneiras de abertura 4,75 mm e que passam pela peneira com abertura de malha de 152 mm e os principais tipos comercializados no Brasil estão listados de acordo com a Figura 2.

Figura 2 – Agregados graúdos mais comercializados no Brasil.



Fonte: Bastos (2019).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), o espaçamento livre entre as faces das barras longitudinais depende diretamente da escolha do tamanho do agregado



graúdo, pois o espaçamento mínimo deve atender, entre outros critérios, a 120 % do diâmetro do agregado escolhido em projeto.

A forma e a textura do agregado graúdo, assim como o seu tamanho e sua lamelaridade, podem influenciar significativamente na trabalhabilidade do concreto devido a relação entre o seu fator de compactação e seu ângulo entre partículas, interferindo diretamente da aderência entre a mistura e o agregado (NEVILLE, 2016).

No estado fresco, os agregados graúdos são grandes responsáveis pelo custo e pela trabalhabilidade do concreto, já no seu estado endurecido, esses agregados podem influenciar na resistência, na estabilidade dimensional e na durabilidade do concreto. Para selecionar de forma adequada os agregados graúdos é preciso ter conhecimento da forma macroscópica desses materiais, com o intuito de aperfeiçoar sua aderência à pasta de cimento, e assim obter resultados desejáveis na resistência mecânica da mistura (KATAYAMA, 2016 apud SILVA, 2000, p. 23).

#### *2.1.4 Aditivos*

Segundo Nakamura (2009), os aditivos possibilitaram a produção de concretos cuja suas características mecânicas são: concretos mais duráveis, resistentes, fluidos e sustentáveis. Esses aditivos adicionam propriedades ao concreto, seja no estado fresco ou endurecido, onde se utilizam de estratégias para alterar a fluidez sem interferir na resistência ou ainda para reduzir a segregação e o consumo de cimento. Contudo, esses aditivos misturados de forma errada podem ocasionar riscos ao desempenho, a segurança e elevar os custos dos projetos estruturais.

Os aditivos indicados no Quadro 2 são produtos, de origem química, que adicionados em pequenas quantidades na composição das matrizes cimentícias possuem o objetivo de atenuar características específicas tanto no estado fresco como no estado endurecido. Esses aditivos atuam diretamente nas propriedades relacionadas ao tempo de abertura para aplicação do concreto alterando as reações de hidratação do cimento como a trabalhabilidade e a viscosidade. Também atuam na retenção de água, aceleram ou retardam o tempo de pega, controlam o desenvolvimento de resistências mecânicas, reduzem a fissuração térmica, protegem contra os ataques de sulfatos ou reações álcali-agregados, entre outros (ver Quadro 2). (INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 20--).

Quadro 2 – Aditivos químicos.

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

Fonte: Adaptado de Santomauro (2018).

O uso indiscriminado dos aditivos em concretos pode resultar em algumas incompatibilidades nas reações entre os aditivos e os materiais que compõem a mistura, principalmente entre o cimento e as adições. Essas incompatibilidades podem gerar, entre outros problemas, a perda acelerada de trabalhabilidade, o retardo de pega excessivo e a incorporação de ar excessiva ou perdas na resistência mecânica, como mostra o Quadro 3. (INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 20--).

Quadro 3 – Problemas que podem ser encontrados no concreto fresco.

	Menor redução de água que o esperado	Perda acelerada de abatimento	Menor tempo de pega que o esperado	Maior tempo de pega que o esperado	Excessiva incorporação de ar	Segregação
Variação na composição química do cimento	x	x	x	x	x	
Aumento da finura do cimento	x	x	x			
Variação das características dos agregados	x	x			x	x
Variação na proporção dos agregados	x	x			x	x
Materiais de elevada temperatura	x	x	x			
Aumento da temperatura ambiente	x	x	x			
Diminuição da temperatura ambiente				x		
Quantidade insuficiente de aditivo	x	x	x			
Excesso de aditivo				x	x	x

Fonte: Adaptado de Instituto brasileiro de impermeabilização (20--).

### 2.1.5 Água

A água é essencial na produção do concreto para a realização das reações químicas de hidratação do cimento. Essas reações químicas são responsáveis por garantir as propriedades de resistência, pois juntamente com o cimento, a água de amassamento produz uma matriz resistente que aglomera os agregados e confere ao concreto a durabilidade e a vida útil estabelecida na fase de projeto. Além disso, a água reduz a ocorrência de atrito, fornece a coesão e a consistência necessária para que o concreto, no estado plástico, seja facilmente transportado e aplicado com eficiência nas formas sem a perda da sua homogeneidade (BASTOS, 2019).

A água é responsável por garantir propriedades físicas e químicas fundamentais ao concreto no estado fresco. Dentre essas propriedades, podemos destacar a trabalhabilidade. Ou seja, o concreto requer a presença da água suficiente para desenvolver sua máxima resistência e garantir suas características necessárias para o lançamento do concreto (KATAYAMA, 2016).

A água também é fundamental para a realização do processo de cura do concreto. Esse processo é constituído por um conjunto de medidas que possuem a finalidade de evitar a evaporação precoce da água destinada a hidratação do aglomerante, ou seja, a cura é responsável por manter o concreto saturado até que os vazios iniciais sejam preenchidos pelos produtos da hidratação do cimento. Essa

cura é bastante importante para que o concreto atinja o desempenho esperado proporcionando uma diminuição da porosidade e consequentemente aumentando a durabilidade dos elementos estruturais (SOUSA *et al.*, 2019).

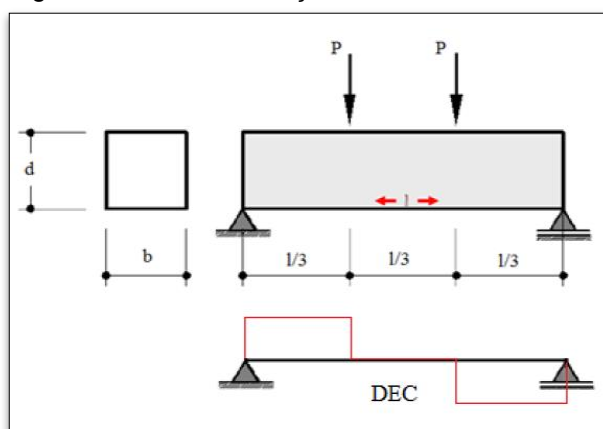
## 2.2 Propriedades Importantes

Para fins de projetos estruturais, usualmente, a resistência à compressão se torna o fator mais preponderante das estruturas em concreto. Porém, essa análise não significa que esse parâmetro é único e mais importante a ser considerado em projeto. Em certas estruturas, como vigas e lajes, a tração na flexão se torna solicitações predominantes, enquanto nos tirantes e nos reservatórios cilíndricos a tração pura deve ser bastante avaliada durante os dimensionamentos (SILVA *et al.*, 2001).

### 2.2.1 Tração na Flexão

O método mais aplicável para a determinação da resistência à tração no concreto é o método da resistência à tração na flexão realizado por meio da utilização de corpos de prova prismáticos e normalizado pela norma brasileira NBR 12142 de 2010, que determina as cargas e posições a serem aplicadas no ensaio, como mostra a Figura 3 (MAGALHÃES, 2009).

Figura 3 – Ensaio de tração na flexão.



Fonte: Magalhães (2009).

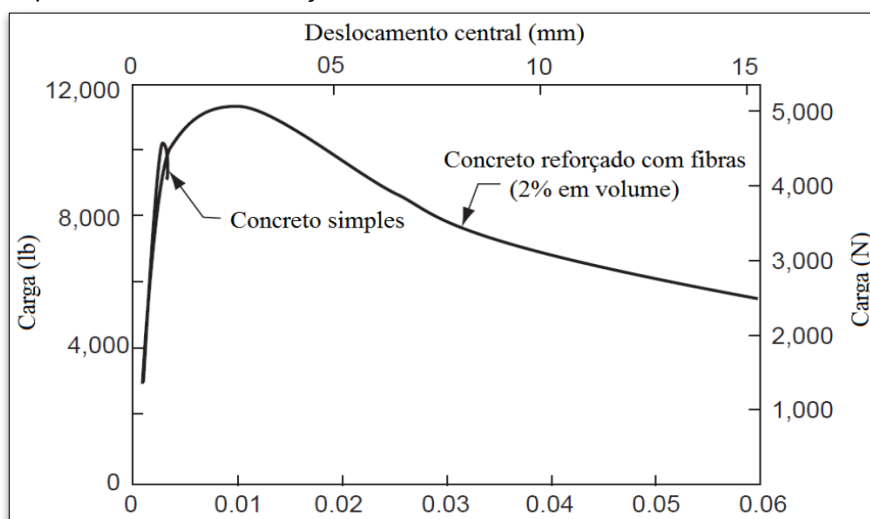
De acordo com Santos (2014), a resistência a tração em elementos sujeitos à esforços flexionados é a propriedade que um determinado material possui em resistir cargas de tensionamento. Essa propriedade é resumida na capacidade que o concreto possui em suportar esforços divergentes ao da compressão.

Embora, a resistência à tração do concreto não seja considerada em algumas situações esse parâmetro não deve ser desconsiderado em elementos executados sem a presença da armadura de aço longitudinal. Esse conceito se torna mais aplicável em pavimentos de concreto executados com a utilização de fibras metálicas que são adicionadas à mistura em proporções pré-determinadas (15 a 40 kg/m<sup>3</sup>) (MAGALHÃES, 2009).

### 2.2.2 Tenacidade das Fibras

O concreto reforçado com fibras possui uma propriedade mecânica conhecida como tenacidade que, diferente do concreto convencional, revela uma resistência significativa durante sua pós-fissuração. Essa propriedade é analisada segundo sua área sob a curva carga por deslocamento, onde apresenta comportamentos diferentes para os dois tipos de concretos, como mostra a Figura 4 (LEITE, 2018).

Figura 4 – Carregamento / Deslocamento para um concreto convencional e para um concreto reforçado com fibras.



Fonte: Leite (2018).

Atualmente, a definição mais aceita para a tenacidade das fibras é a energia absorvida pelo concreto durante o carregamento dos elementos estruturais, abrangendo a energia que foi absorvida antes e depois da sua fissuração, quando as fibras introduzidas como reforço passam a atuar de modo mais efetivo (FIGUEIREDO, 2011).

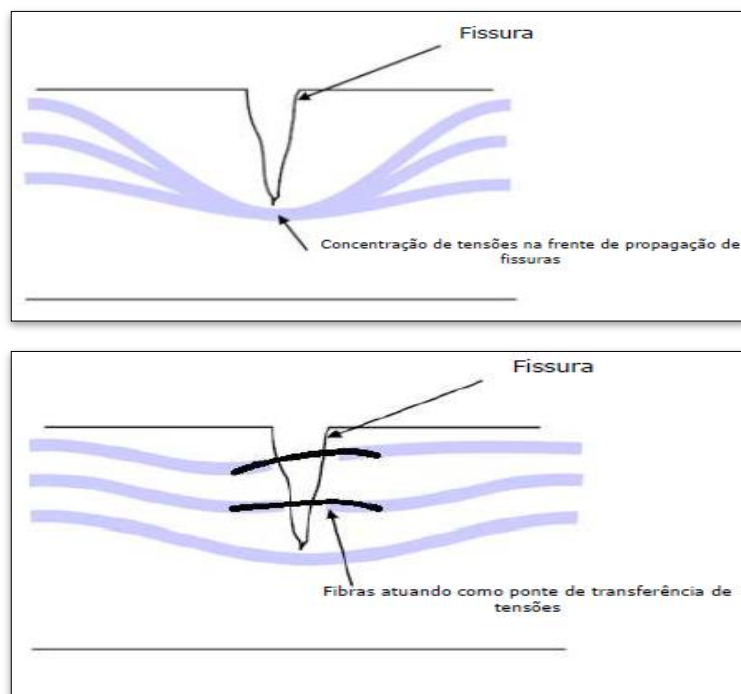
Um dos fatores que influenciam na determinação da tenacidade das fibras e que precisa ser levando em consideração durante os ensaios é a instabilidade pós-

pico. Esse fenômeno ocorre quando o carregamento é transferido abruptamente para as fibras imediatamente após a fissuração gerando um deslocamento acentuado do corpo de prova. Esse aumento do deslocamento é registrado pelo ensaio de tenacidade e pode afetar os resultados obtidos e gerando uma superestimativa do comportamento do material analisado (LEITE, 2018).

### 2.3 Fibras

Segundo Salvador e Figueiredo (2013), as fibras são inseridas diretamente no concreto e distribuídas de forma aleatória, assim reduzem o tempo de execução, mão-de-obra e custos de algumas aplicações comparado ao processo tradicional. Além disso, o incremento de fibras promove melhorias em diversas propriedades mecânicas, com destaque para a capacidade de absorver energia, uma vez que essas fibras podem atuar como uma ponte de transferência de tensões por meio das fissuras, reduzindo sua propagação e expansão, indicado na Figura 5.

Figura 5 – Tensões devido a presença de fissuras.



Fonte: Polidoro (2021).

O uso das fibras como reforço em concretos está crescendo a cada dia no mercado, e atualmente, já é possível encontrar grandes variedades como as fibras sintéticas, fibras de polipropileno, fibras de polietileno e fibras com baixo teor de carbono. O uso dessas fibras pode promover melhorias significativas ao concreto

armado, por exemplo, aumento da resistência à fadiga e ao impacto assim como melhorar a sua tenacidade à flexão. Além disso, as fibras podem proporcionar maior ductibilidade, visto que em concretos simples não reforçados, após a sua primeira fissuração, esse concreto se torna deficiente e propício a manifestações patológicas (GOES *et al.*, 2016).

### 2.3.1 Tipos de Fibras

Os principais tipos de fibras encontradas no mercado são de base sintética ou aço, como o polipropileno, vidro, carbono, poliolefina e polivinil. São comercializadas em diversos tamanhos e formatos, e quanto ao seu uso em elementos estruturais, essas fibras possuem efeitos significativos nas propriedades mecânicas do concreto que dependem do tipo, geometria e conteúdo das fibras utilizadas. A Tabela 1 contém algumas propriedades das fibras mais encontradas no mercado (BENTUR; MINDESS, 2018).

Tabela 1 – Propriedades das fibras mais encontradas no mercado.

Material	Diâmetro (µm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidade (Gpa)	Resistência à tração (Mpa)	Deformação na ruptura (%)
Aço	5 - 500	7,84	200	500 - 2000	0,5 - 3,5
Vidro	9 - 15	2,6	70 - 80	2000 - 4000	2 - 3,5
Amianto					
Crocidolite	0,02 - 0,4	3,4	196	3500	2 - 3
Crisolite	0,02 - 0,4	2,6	164	3100	2 - 3
Polipropileno	20 - 400	0,9 - 0,95	3,5 - 10	450 - 760	15 - 25
Aramida (Kevlar)	10 - 12	1,44	63 - 120	2300 - 3500	2 - 4,5
Carbono	8 - 9	1,6 - 1,7	230 - 380	2500 - 4000	0,5 - 1,5
Nylon	23 - 400	1,14	4,1 - 5,2	750 - 1000	16 - 20
Celulose	-	1,2	10	300 - 500	-
Acrílico	18	1,18	14 - 19,5	400 - 1000	3
Polietileno	25 - 1000	0,92 - 0,96	5	80 - 600	3 - 100
Fibra de madeira	-	1,5	71	900	-
Sisal	10 - 50	1,5	-	800	3
Matriz cimentícia (para comparação)	-	1,5 - 2,5	10 - 45	3 - 7	0,02

Fonte: Bentur e Mindess (2018).

Dentre as diversas propriedades das fibras podemos destacar, como as mais importantes que irão influenciar o desempenho do concreto, o módulo de elasticidade e a tenacidade. Dessa forma, as fibras podem ser classificadas de acordo com a relação entre os módulos de elasticidade da própria fibra e da matriz cimentícia utilizada na mistura. As fibras de alto módulo são aquelas que apresentam seu módulo

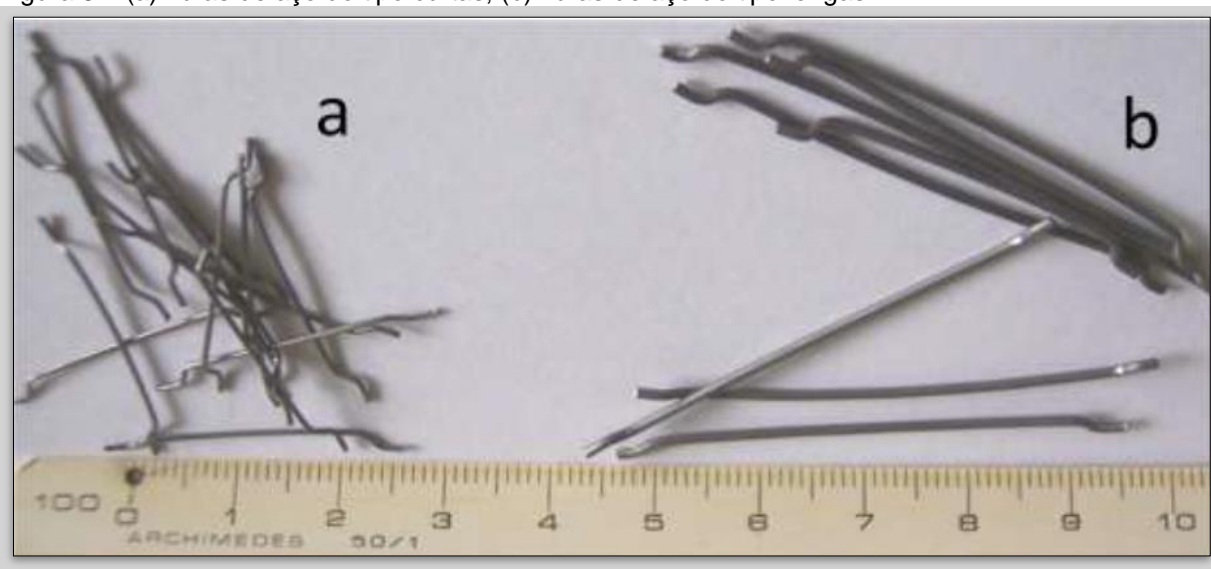
de elasticidade maior do que o da matriz na qual foram utilizadas, enquanto as fibras de baixo módulo são aquelas que possuem o seu módulo de elasticidade inferior do que o da matriz (LEITE, 2018).

### 2.3.1.1 Fibras de Aço

Durante os últimos anos foram realizados diversos esforços para otimizar as fibras de aço com o objetivo de aprimorar certas características da ligação fibra-cimento e para elevar a dispersibilidade das fibras no concreto (BENTUR; MINDESS, 2018).

Normalmente as fibras de aço apresentam em suas extremidades elementos em forma de ganchos para elevar a sua ancoragem por meio de comprimentos que variam entre 25mm, conhecidas como fibras curtas, a 60mm, conhecidas como fibras longas, apresentadas na Figura 6 (FIGUEIREDO, 2011).

Figura 6 – (a) fibras de aço do tipo curtas; (b) fibras de aço do tipo longas.



Fonte: Adaptado de Figueiredo (2011).

As fibras de aço podem ser classificadas segundo o seu processo de produção e sua conformação geométrica como mostra a Figura 7 e a Figura 8. Essa classificação é determinada de acordo com a norma NBR 15530:2019 que estabelece devidos parâmetros para as fibras de aço com baixo teor de carbono e indica os requisitos mínimos para a sua fabricação como a forma geométrica, resistência à tração e dobramento, defeitos de fabricação e tolerâncias dimensionais (FIGUEIREDO; NETO; FARIA, 2016).



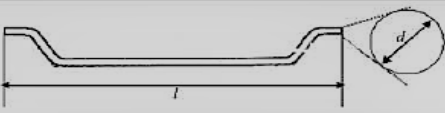
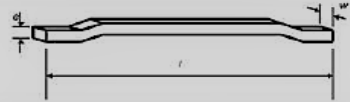
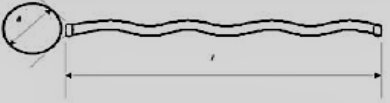
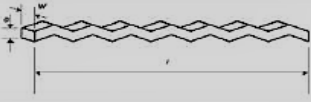
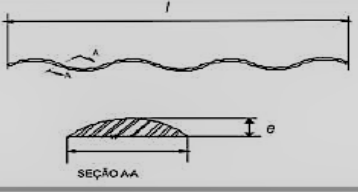
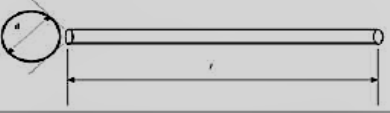

Figura 7 – Classificação segundo ao processo de fabricação da fibra de aço.

Quanto ao processo de produção

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

Fonte: Adaptado de ANAPRE (2012).

Figura 8 – Classificação segundo a geometria da fibra de aço.

Tipo (geometria)	Classe da fibra	Geometria
A	I	
	II	
C	I	
	II	
	III	
R	I	
	II	

Fonte: Figueiredo, Neto e Faria (2016).

### 2.3.1.2 Fibras Sintéticas

O desenvolvimento das fibras sintéticas pode estar atrelado aos esforços, especificamente, das indústrias têxtil e petroquímica na comercialização desse tipo de material. Entretanto, polímeros orgânicos derivados dessas fibras vêm sendo utilizados para reforço em concretos. Acrílico, polipropileno, náilon, poliéster, carbono e aramida são alguns exemplos de sintéticos empregados em matrizes de cimento Portland (BENTUR; MINDESS, 2018).

A utilização extensiva das fibras sintéticas na construção civil faz com esse tipo de material se torne alvo de inúmeras pesquisas e desenvolvimento para otimizar sua aplicação. Algumas fibras, como o polipropileno, vêm sendo industrializadas especificamente para aplicação em reforço de argamassas e concreto (BENTUR; MINDESS, 2007).

De acordo com Leite (2018), as fibras sintéticas apresentam resistência natural a ambientes extremamente alcalinos e possuem proteção, pela presença da matriz cimentícia, aos raios ultravioletas que poderiam ocasionar sua degradação. Ainda segundo o autor, estudos mostram que a vida útil dessas fibras expostas a variedades de ambientes agressivos, geralmente, ultrapassa 30 anos o que torna esse tipo de material bastante atrativo para a construção civil.

As fibras sintéticas podem desempenhar várias características específicas para o concreto, contudo as principais propriedades consideradas para classificar essas fibras são o módulo de elasticidade e a sua resistência mecânica. Essas propriedades irão caracterizar qual a capacidade de reforço essas fibras podem proporcionar para os elementos estruturais. No Brasil, são produzidas algumas fibras cujo objetivo é proporcionar ao concreto de pavimentos a otimização do controle de fissuração durante as primeiras idades e reforço no estado endurecido, como mostra a Figura 9 (FIGUEIREDO, 2011).

Figura 9 – Cilindro de macrofibras e macrofibras fornecidas soltas.



Fonte: Adaptado de Figueiredo (2011).

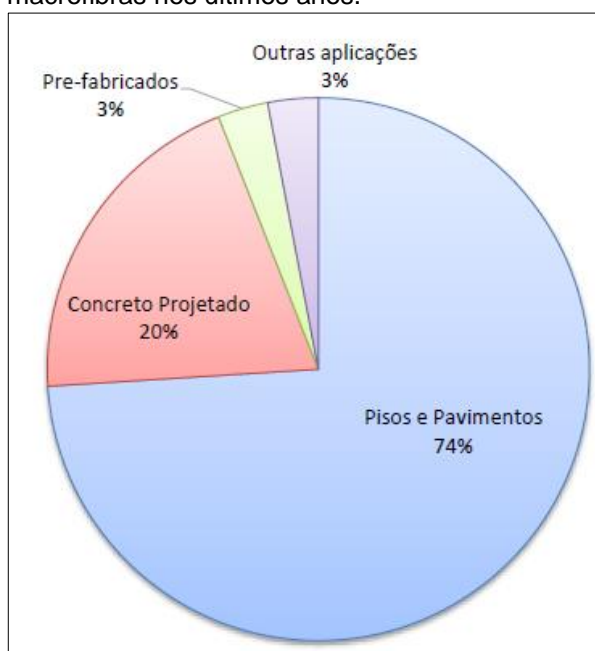
As macrofibras sintéticas possuem a capacidade de serem utilizadas como reforço estrutural em pisos de concreto, visto que essas estruturas atuam como elementos hiperestáticos na qual possibilitam a redistribuição de esforços. Essa

característica possibilita a substituição das malhas de aço pelas fibras sintéticas, reduzindo a presença de fissuração, aumentando a resistência ao impacto e à fadiga, além de gerar um compósito com alta ductibilidade (POLIDORO, 2021).

### 2.3.2 Aplicações

As macrofibras sintéticas apresentam diversas aplicações dentro da construção civil. É notável que a utilização dessas fibras ainda possui aplicação bastante concentrada podendo destacar a sua elevada utilização em construções de pavimentos, como mostra a Figura 10 (FIGUEIREDO, 2011).

Figura 10 – Distribuição do mercado brasileiro de macrofibras nos últimos anos.



Fonte: Polidoro (2021).

Além do alto consumo na pavimentação, as fibras sintéticas também são utilizadas na construção de radiers, calçadas, capeamento de lajes, execução de proteção mecânica e impermeabilização, muros de concreto e revestimento de fachadas (PILODORO, 2021).

Segundo Bonakdar e Mahoney (20--), as macrofibras sintéticas são classificadas em dois grupos distintos segundo a sua solicitação de carregamento: Grupo 1 - Onde podem substituir o reforço de aço, destacadas no Quadro 4 e o Grupo 2 - Onde não podem substituir o reforço de aço, nesse grupo podemos destacar a execuções de placas suspensas e os elementos estruturais mais solicitados das edificações como as colunas estruturais, as vigas estruturais e as paredes estruturais.

Quadro 4 – Fibras sintéticas substituindo o reforço de aço.

<b>Onde as macrofibras sintéticas podem substituir o reforço de aço:</b>	
Placas de concreto	Pisos residenciais
	Estacionamentos
	Pisos industriais
Pavimentos	Ruas
	Calçadas
	Entradas de veículos
Capeamentos	Pontes e viadutos
	Estacionamentos
Steel Decks	Em geral
Concreto Projetado	Túneis
	Encostas
	Piscinas
	Reparos
Paredes	De baixas fundações
Unidades de pré-moldados	Tanques sépticos
	Decorativos

Fonte: Adaptado de Bonakdar e Mahoney (20--).

### 2.3.3 Vantagens e Limitações

As fibras adicionadas ao concreto de forma híbrida (vergalhões + macrofibras) se tornam ótimas alternativas para diversas aplicações, como mencionadas acima. Visto que as fibras possuem uma capacidade de flexão similar ao reforço de aço e podem ocasionar uma redução da quantidade desse aço utilizado nos elementos estruturais. Em elevadas taxas de dosagem controladas, as fibras em forma de macrofibras podem vir a substituir o reforço ao cisalhamento se determinados critérios de projeto forem satisfeitos, além da sua propriedade de redução de fissuras (BONAKDAR; MAHONEY, 20--)

As fibras apresentam vários benefícios em prol do desempenho dos elementos estruturais, porém essa tecnologia vem percorrendo um longo caminho para que esses materiais se tornem mais acessíveis e possam ser mais utilizados nas edificações.

Algumas limitações como a aceitação e definição nas principais normas técnicas, o dimensionamento estrutural e o uso de ferramentas em softwares, o seu alto investimento em programas de pesquisas e a sua aplicação ainda restrita em

obras de grande porte tornam esse tipo de material ainda em desenvolvimento e algo experimental no Brasil (POLIDORO, 2021).

Quanto ao uso das fibras naturais ao concreto, dentre as suas inúmeras vantagens, destacam-se o baixo custo de obtenção da matéria prima e suas características propícias a utilização como reforço de materiais frágeis. Outro fator a ser considerado acerca da sua utilização é a sua característica de serem recursos renováveis, ou seja, não degradam o meio ambiente (OLIVEIRA; GOUVEIA; TEIXEIRA, 2014).

Segundo Madeiros *et al.* (2018), o desempenho das fibras naturais em seus estudos se mostrou inferior ao esperado devido à dificuldade de estabelecer um traço adequado. Visto que a utilização de quantidades elevadas dessas fibras acaba reduzindo as resistências de compressão e tração além de afetar diretamente na trabalhabilidade do concreto no estado fresco.

As fibras naturais apesar de serem ótimas alternativas ao reforço de compósitos cimentícios ainda possuem sua durabilidade questionável, visto que seus estudos realizados não foram capazes de confirmar a sua real vida útil que deve ser estabelecido por norma através de novas pesquisas. Isso ocorre devido a interferência direta de alguns componentes das matrizes cimentícias que reagem com as células individuais das fibras, desestabilizando a microtextura do material e consequentemente reduzindo a sua capacidade de resistência à tração, diferentemente das fibras sintéticas que são mais estáveis ao meio alcalino do concreto e possuem maior resistência aos ataques químicos (EHRENBRING; TUTIKAN, 2016).

### 2.3.5 Fibras Naturais

As fibras naturais se destacam em meio aos problemas relacionados a sustentabilidade ambiental o que mostra sua elevada relevância e importante objetivo de inúmeras pesquisas voltadas para a reutilização e redução de resíduos, principalmente na construção civil (EHRENBRING; TUTIKAN, 2016).

Conforme Savastano Junior (2000), algumas fibras naturais possuem propriedades mecânicas como a resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento durante a ruptura, propriedades físicas, relação entre diâmetro e comprimento, fácil cultivo e produção no Brasil além de custos atrativos e boa

durabilidade que mais se adequam no cenário da construção civil, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades importantes das principais fibras naturais.

Propriedades	Massa espec. real (Kg/m <sup>3</sup> )	Absorção máxima (%)	Alongamento na ruptura (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elast. (GPa)
Coco ( <i>Cocos Nucifera</i> )	1177	93,8	23,9 a 51,4	95 a 118	2,8
Sisal ( <i>Agave sisalana</i> )	1370	110	4,9 a 5,4	347 a 378	15,2
Malva ( <i>Urena lobata</i> )	1409	182,2	5,2	160	17,4
Celulose para papel imprensa ( <i>Pinus elliotii</i> - princ.)	1200 a 1500	400	nd	300 a 500	10 a 40
Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	1158	145	3,2	73 a 505	5,2 a 24,6

Fonte: Adaptado de Savastano Junior (2000).

A adição de materiais fibrosos nas matrizes cimentícias tem se mostrado como uma ótima alternativa para reforçar os elementos estruturais em concreto, pois dentre seus benefícios podemos destacar o aumento da resistência à tração, influenciando diretamente a sua capacidade de resistir grandes deformações sem a ocorrência do colapso (MADEIROS *et al.*, 2018).

Segundo pesquisas, é bastante viável a reutilização de resíduos naturais em sistemas da construção civil. Uma dessas maneiras é adicionar esses materiais com o formato de filamentos nas matrizes cimentícias, visto que essa adição possibilita ao composto novas propriedades, podendo, em muitos casos, serem melhoradas ou reestabelecer novas propriedades (EHRENBRING; TUTIKAN, 2016).

### 2.3.5.1 Fibras de Coco

As fibras são originadas da cobertura externa do fruto amadurecido denominado casca de coco. Seus comprimentos variam, normalmente, entre 50 e 350 mm e são formadas em grande parte por lignina, tanino, celulose, pectina e outras substâncias solúveis em água. Contudo, a sua degradação ocorre de forma

relativamente mais lenta em comparação com outras fibras naturais devido ao seu elevado teor de lignina, a fibra também é bastante longa e duradoura com vida útil estimada entre 4 e 10 anos (HEJAZI *et al.*, 2012).

O uso da fibra de coco em estruturas de concreto, com baixas quantidades, pode melhorar de forma satisfatória algumas propriedades mecânicas, assim como aumentar a resistência ao impacto do concreto. Além disso, as fibras de coco, em algumas pesquisas, resultaram em desempenho semelhante às amostras que utilizaram fibras sintéticas no traço de referência (SILVA; MARQUES; FORNARI JUNIOR, 2012 apud AL-ORAIMI; SEIBI, 1995, p.1557).

De acordo com Silva *et al.* (2015), a utilização de fibras de coco em seus estudos mostrou resultados positivos, tanto em argamassas quanto concretos, que resultaram em uma contribuição para a redução do surgimento de fissuras nos corpos de provas sob tensões de compressão, evidenciando a capacidade das fibras em melhorar a tenacidade do compósito.

É importante observar que as fibras de coco apresentam rugosidades superficiais, saliências dispostas em formato de fileiras, formando pequenos nódulos que favorecem uma maior tensão interfacial, entre a fibra e a matriz cimentícia, gerando uma melhor resistência mecânica ao compósito (MONTEIRO *et al.*, 2006).

Em contrastes com algumas vantagens acerca das fibras naturais, as saliências encontradas na microtextura das fibras de coco também podem gerar pontos de concentrações de tensões e facilitar a separação dos feixes que compõem a estrutura da fibra lignocelulósica do coco. Com isso, é possível observar os surgimentos de trincas longitudinais que podem contribuir para uma redução da resistência mecânica do compósito (MONTEIRO *et al.*, 2006).

### 2.3.6 Normas Técnicas Vigentes

As normas vigentes a respeito da utilização de fibras em elementos estruturais são bastante recentes, mas mostram como os avanços em pesquisas com esses materiais podem ser importantes para a construção civil. Datadas do início de 2021, com exceção da NBR 15530 que possui data de publicação em 2019, as normas a respeito das fibras iniciam um novo ciclo de investimentos e desenvolvimentos em novas tecnologias, assim como surge novas oportunidades de inovação e controle de qualidade nas construções, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5 – Normas técnicas vigentes.

NBR	NORMAS TÉCNICAS VIGENTES	
	Ano de publicação	Determinação das Normas
16935	2021	Projeto de estrutura de concreto reforçado com fibras
16938	2021	Concreto Reforçado com fibras - Controle de qualidade
16939	2021	Concreto Reforçado com fibras - Determinação das resistências à fissuração e residuais à tração por duplo puncionamento - Método de ensaio
16940	2021	Concreto Reforçado com fibras - Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - Método de ensaio
16941	2021	Fibras de vidro álcali-resistentes (AR) para concreto e argamassa - Requisitos e métodos de ensaio
16942	2021	Fibras poliméricas para concreto - Requisitos e métodos de ensaio
15530	2019	Fibras de aço para concreto - Requisitos e métodos de ensaio

Fonte: Autor (2021).

Conforme a NBR 16935 (ABNT, 2021), o concreto reforçado com fibras (CRF) possui em sua matriz cimentícia a adição de fibras descontínuas de forma estável que contribuem para um melhor comportamento das resistências no Estado-Limite Último (ELU) e no Estado-Limite de Serviço (ELS) dos elementos estruturais, podem ser utilizadas como reforço completo ou reforço parcial em conjunto com a armadura passiva ou ativa.

De acordo com a NBR 16938 (ABNT, 2021), as estruturas executadas em concreto reforçado com fibras (CRF) podem ser classificadas de acordo com a sua moldagem e são divididas em concreto in loco, pré-moldado ou concreto projetado. Esta norma ainda estabelece os procedimentos necessários para qualificar o concreto reforçado com fibras, assim como determina o controle tecnológico durante a produção do material, incluindo todos os critérios a serem seguidos.

#### 2.4 Estudos sobre fibras de coco e fibras sintéticas no traço do concreto

Muitos estudos foram realizados sobre a possibilidade de incrementar fibras naturais ao traço do concreto em elementos estruturais com o objetivo de melhorar alguma característica mecânica e apresentar uma mistura mais sustentável.

Silva, Marques e Fornari Junior (2012), analisaram que as fibras de coco são boas alternativas viáveis para dar destino adequado a esse tipo de resíduo



natural, além disso seus estudos mostraram que essas fibras melhoraram algumas propriedades importantes nos traços de argamassas e concretos.

Silva *et al.* (2015), realizaram estudos com as fibras de coco em argamassas e concreto sobre a viabilidade técnica do uso dessas fibras. Seus estudos apontaram que a incorporação das fibras de coco contribuiu para a redução de fissuras nos corpos de prova quando foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial, revelando a capacidade das fibras em melhorar a tenacidade da mistura analisada.

Morais *et al.* (2018), verificaram em seus estudos que devido a quantidade elevada de fibras de coco utilizada nos traços estudados foi possível observar que os resultados dos ensaios nos corpos de prova tiveram uma queda considerável nas resistências à compressão e tração na flexão. Com isso, os autores recomendam utilizar diferentes percentuais no traço do concreto, de preferência, utilizando baixos teores de fibras de coco.

Leite (2018), estudou o uso de macrofibras sintéticas como reforço em elementos estruturais atuando na sua capacidade resistente à compressão, tração na flexão e no pós-fissuração do compósito, que reflete no ganho de tenacidade. Para isso, foi analisado os comportamentos mecânicos das amostras quando submetidos aos ensaios, onde foi verificado que as fibras sintéticas se mostraram eficientes e apresentaram resultados superiores ao concreto convencional em ambos os experimentos.

Goes *et al.* (2016), analisaram as possíveis melhorias mecânicas promovidas com o emprego das fibras sintéticas ao concreto como a tenacidade à flexão, resistência ao impacto e absorção de energia. Foram encontrados em seus estudos que a utilização de fibras sintéticas resulta em uma mistura com maior ductibilidade, visto que em concretos convencionais, após a primeira fissuração, o concreto se torna deficiente. Nesse estudo, foram realizados os ensaios de compressão axial, tração na flexão, bem como, foram apresentadas algumas vantagens e desvantagens desses materiais em relação ao concreto convencional.

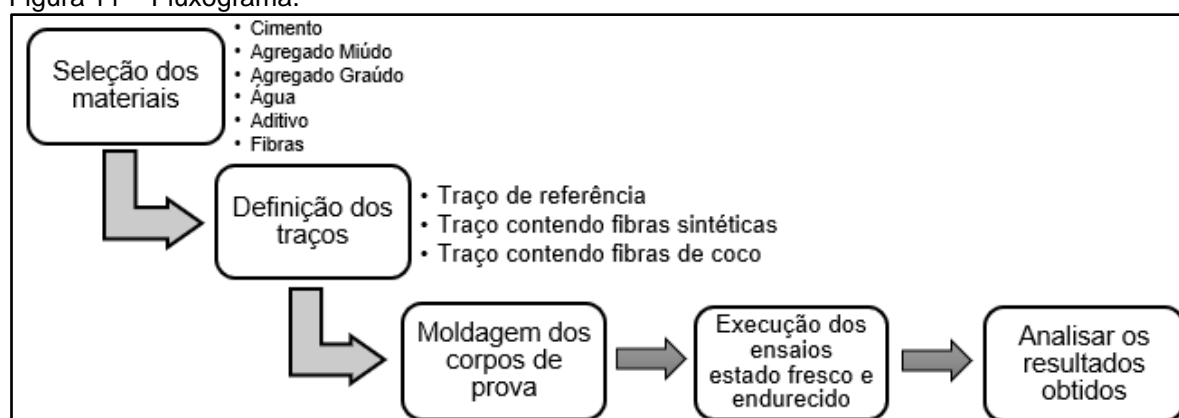
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico será abordado e classificado um estudo quantitativo experimental a respeito da escolha dos materiais e dos ensaios utilizados com o intuito de estabelecer os resultados necessários para a avaliação das alterações das características mecânicas dos elementos sujeitos a compressão axial e tração na flexão, tanto no estrado fresco como no estado endurecido do concreto, com a adição de fibras naturais de coco, além de realizar um comparativo de desempenho com as fibras sintéticas já utilizadas no mercado e normalizadas pela ABNT.

Os modelos experimentais de pesquisas científicas podem ser classificados como a materialização de uma parcela da realidade, através de uma representação simplificada de uma ocorrência recente ou passada. Para isso, deve estabelecer uma boa precisão dos resultados, por meio de uma comprovação prévia e pela determinação das limitações em relação da realidade que irá representar (FERREITA; HOCHMAN; BARBOSA, 2005).

Para uma análise mais detalhada dos parâmetros necessários para a escolha dos materiais utilizados, assim como a definição dos traços que compõem o trabalho de pesquisa e os ensaios selecionados para analisar os resultados obtidos, foi desenvolvido um fluxograma que mostra as etapas a serem seguidas nesse tópico, como informa a Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma.



Fonte: Autor (2021).

#### 3.1 Materiais

Para uma análise mais assertiva do estudo experimental é importante determinar e caracterizar os materiais que serão utilizados nos traços das amostras de concreto, uma vez que esses materiais podem influenciar diretamente no

comportamento das amostras estudadas. Além disso, é necessário ter entendimento e saber classificar os materiais e suas propriedades de acordo com as normas técnicas da ABNT vigentes.

### 3.1.1 Cimento Portland

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

### 3.1.2 Granulometria dos agregados miúdos

De acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), as amostras utilizadas para a realização dos ensaios granulométricos precisam estar secas, caso contrário deve ser realizado uma secagem em estufa. Para verificar o teor de umidade das amostras estudadas foi realizado o teste utilizando o equipamento Speedy Test, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Speedy Test.



Fonte: Autor (2021).

Os ensaios granulométricos dos agregados miúdos foram realizados segundo a NBR NM 248. Os requisitos adotados para a Dimensão Máxima Característica (DMC) foi de  $4,75 \text{ mm}$  do material que passou na peneira de  $4,75 \text{ mm}$ .

A Tabela 3 apresenta as características do agregado miúdo (areia natural) encontradas no ensaio de distribuição granulométrica realizados em laboratório.

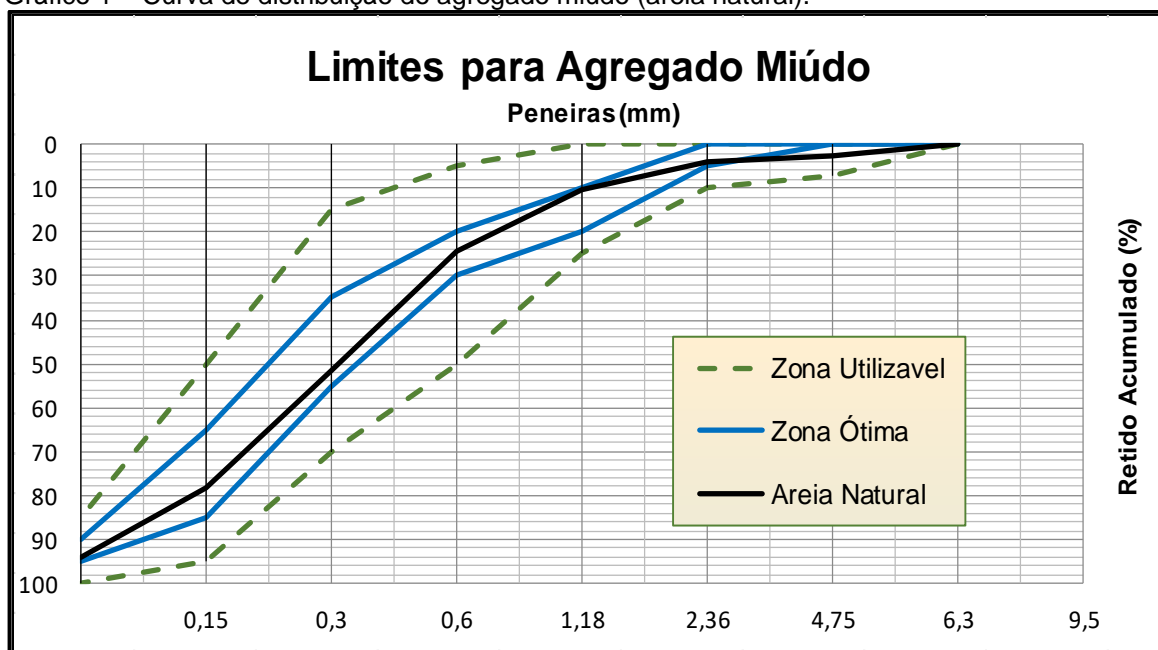
Tabela 3 – Ensaio de granulometria – Areia Natural.

N	PENEIRAS	PESO RETIDO		%		
	ABERTURA (mm)	(g)	(g)	RETIDA	PASSANTE	ACUMULADO
1/4	6,3	5,7	10,4	2,7	97,3	2,7
4	4,8	4,4	2,9	1,2	96,1	3,9
8	2,4	17,9	21	6,5	89,6	10,4
16	1,2	39,5	45,8	14,2	75,4	24,6
30	0,6	82,9	77,8	26,8	48,6	51,4
50	0,3	81	78,9	26,7	22,0	78,1
100	0,15	49,1	46,5	15,9	6,0	94,0
200	0,075	12,8	13,8	4,4	1,6	98,4
FUNDO		2,8	3,2	1,0	0,6	99,4
SOMA		296,1	300,3	100,0	-	462,9

Fonte: Autor (2021).

Segundo o Gráfico 1, a areia natural apresenta uma linha média, representada pela cor preta, indicando que esse material está aprovado, pois se encontra inserido totalmente na zona utilizável de acordo com os ensaios realizados em laboratório e regidos pela ABNT NBR NM 248.

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



Fonte: Autor (2021).

A Tabela 4 apresenta as características do agregado miúdo (pó de pedra) encontradas no ensaio de distribuição granulométrica realizados em laboratório.

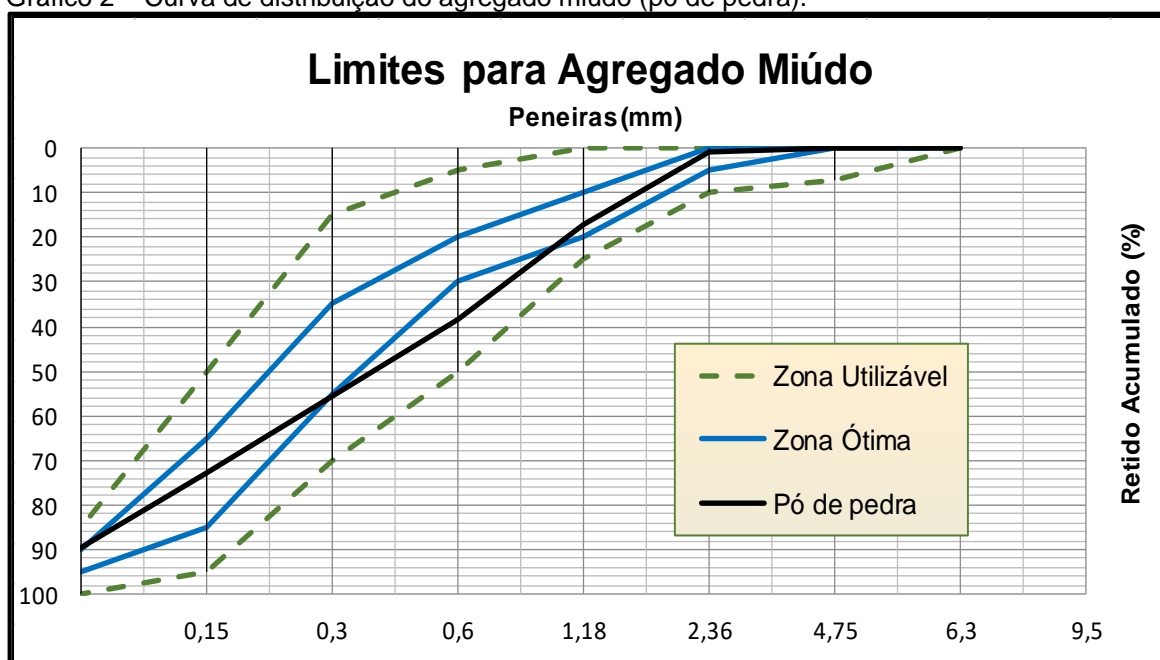
Tabela 4 – Ensaio de granulometria – Pó de pedra.

N	PENEIRAS	PESO		%		
	ABERTURA (mm)	RETIDO (g)	RETIDO (g)	RETIDA	PASSANTE	ACUMULADO
3/8	9,5	0	0	0,0	100,0	0,0
1/4	6,3	0,3	0	0,1	100,0	0,0
4	4,8	2,6	2	0,8	99,2	0,8
8	2,4	53,8	44,5	16,4	82,8	17,2
16	1,2	66,4	59,8	21,0	61,8	38,2
30	0,6	51,9	52,2	17,4	44,4	55,6
50	0,3	49	53,9	17,2	27,3	72,7
100	0,15	46,6	54,3	16,8	10,5	89,6
200	0,075	23,3	27,7	8,5	2,0	98,1
FUNDO		5	4,8	1,6	0,3	99,7
SOMA		298,9	299,2	99,7	-	471,9

Fonte: Autor (2021).

Segundo o Gráfico 2, o pó de pedra apresenta uma linha média, representada pela cor preta, indicando que esse material está aprovado, pois se encontra inserido totalmente na zona utilizável de acordo com os ensaios realizados em laboratório e regidos pela ABNT NBR NM 248.

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



Fonte: Autor (2021).

### 3.1.3 Granulometria do agregado graúdo

Neste estudo foi escolhido a Brita 1 como tipo de agregado graúdo que será utilizado na elaboração dos traços analisados. A Tabela 5 e o Gráfico 3 apresentam

as características do material de acordo com o ensaio de granulometria segundo a NBR NM 248.

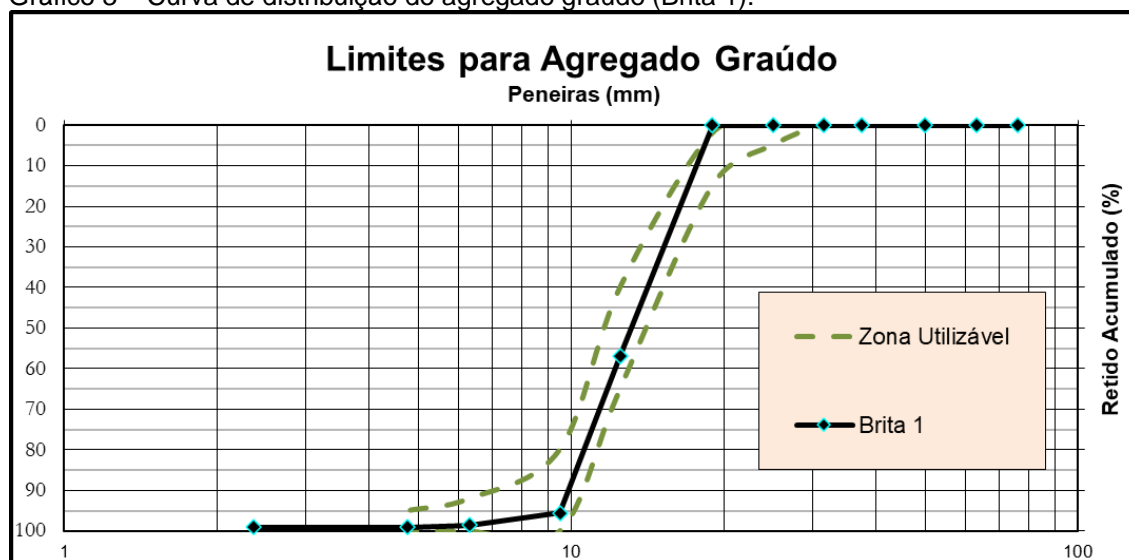
Tabela 5 – Distribuição do agregado graúdo (brita 1).

N	PENEIRAS	PESO RETIDO		%		
	ABERTURA (mm)	(g)	(g)	RETIDA	PASSANTE	ACUMULADO
3/4	19	18,1	11,5	1,5	98,5	1,5
1/2	12,5	519,6	639,0	57,9	40,6	59,4
3/8	9,5	324,8	262,9	29,4	11,2	88,8
1/4	6,3	114,2	77,7	9,6	1,6	98,4
4	4,8	16,5	5,8	1,1	0,5	99,5
8	2,4	5,4	2,0	0,4	0,1	99,9
FUNDO		1,6	1,4	0,2	0,0	100,0
SOMA		1000,2	1000,3	100,0	-	547,6

Fonte: Autor (2021).

Segundo o Gráfico 3, o agregado graúdo utilizado na pesquisa apresenta uma linha média, representada pela cor preta, indicando que esse material está aprovado, pois se encontra inserido totalmente ou parcialmente na zona utilizável de acordo com os ensaios realizados em laboratório e regidos pela ABNT NBR NM 248.

Gráfico 3 – Curva de distribuição do agregado graúdo (Brita 1).



Fonte: Autor (2021).

### 3.1.4 Água

A água utilizada para a realização dos traços estudados foi fornecida pela concessionária de abastecimento local, CAGECE a empresa responsável pela

distribuição da rede de abastecimento da cidade de Fortaleza/Ce, garantindo os requisitos normalizados pela NBR 15900 de 2009 que garante a potabilidade da água provinda dos seus reservatórios.

### *3.1.5 Aditivo*

Para ajudar na trabalhabilidade dos traços do concreto durante diferentes momentos do processo, foi adicionado à mistura um aditivo polifuncional (NT 26 Matchem) e um aditivo de caráter superplastificante (Maxfluid M 2055 Matchem) que juntos possuem o objetivo de melhorar o abatimento dos traços sem gerar os fenômenos de segregação e exsudação para que o concreto possa ser mais bem adensado e lançado nos corpos de prova.

### *3.1.6 Fibras de Coco*

As fibras naturais de coco foram escolhidas a partir do processo mecânico desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), na qual se utiliza de um desfibramento mecanizado da casca do coco verde. Após esse processo as fibras passaram por uma lavagem em água corrente e posteriormente uma secagem natural, em seguida receberam um pré-tratamento para reduzir o acúmulo de resíduos.

### *3.1.7 Fibras sintéticas*

As fibras sintéticas utilizadas no trabalho foram determinadas a partir de fibras comercialmente já utilizadas na construção civil e normalizadas por normas do tipo macrofibras (KraTos PP 54) e microfibras (Maccaferri) a fim de comparar o desempenho com as fibras naturais de coco estudadas.

## **3.2 Métodos**

Nesta seção foram determinados os procedimentos realizados para a obtenção dos resultados que posteriormente foram analisados na pesquisa para comparar as possíveis alterações mecânicas a respeito das adições das fibras aos traços do concreto. Além disso, é apresentado como foi estabelecido a escolha da dosagem dos materiais e a determinação do procedimento acerca do pré-tratamento escolhido para ser realizado nas fibras de coco antes da realização dos ensaios.

### 3.2.1 Dosagem do traço com fibras sintéticas

O traço utilizado contendo as fibras sintéticas foi fornecido por uma Usina local especializada em fornecer concreto usinado, ou seja, preparado em fábrica sob controle de qualidade industrial. As características desse traço, assim como as especificações detalhadas estão listadas a seguir, como mostra a Tabela 6, a Tabela 8 e a Tabela 8.

Tabela 6 – Traço com fibras sintéticas fornecido pela Usina local.

Traço	CP II F 32	Areia	Pó de Pedra	Brita 1	Água	Microfibra	Macrofibra	Poli NT 26 Matchem	Maxfluid M 2055 Matchem
Kg/m <sup>3</sup>	380	658	148	964	190	0,6	6,0	3,61	2,85

Fonte: Fornecido por uma Usina Local (2020).

Tabela 7 – Traço unitário com fibras sintéticas fornecido pela Usina local.

Traço	CP II F 32	Areia	Pó de Pedra	Brita 1	Água	Microfibra	Macrofibra	Poli NT 26 Matchem	Maxfluid M 2055 Matchem
Kg/m <sup>3</sup>	1	1,73	0,39	2,54	0,50	0,0016	0,0158	0,0095	0,0075

Fonte: Fornecido por uma Usina Local (2020).

Tabela 8 – Especificações do traço com fibras sintéticas.

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICAÇÃO
Resistencia à compressão (28 dias - fck)	≥ 35 Mpa
Resistencia à compressão (7 dias - fck)	≥ 30 Mpa
Resistencia à tração na flexão (fctM,k)	≥ 4,5 Mpa
Abatimento	100mm a 120mm
Teor de Argamassa	49% ≤ a ≤ 52%
Consumo de cimento	320 a 380 Kg/m <sup>3</sup>
Consumo de água	≤ 180 litros/m <sup>3</sup>
Microfibra	600 g/m <sup>3</sup>
Macrofibra	6 Kg/m <sup>3</sup>
Retração (8 semanas)	≤ 450 μm/m
Teor de ar incorporado	≤ 3%
Exsudação	≤ 4%
Relação água/cimento	≤ 0,50
Tensões residuais das Macrofibras	fR1 ≥ 2,3 Mpa fR4 ≥ 2,3 Mpa

Fonte: Fornecido por uma Usina local (2020).

Para que fosse possível realizar o preenchimento de todos os corpos de prova utilizados, foi determinado uma concentração de 15 Kg/m<sup>3</sup> de consumo de cimento para todos os traços realizados no experimento, como mostra a Tabela 9.



Tabela 9 – Traço com fibras sintéticas.

Traço	CP II F 32	Areia	Pó de Pedra	Brita 1	Água	Microfibra	Macrofibra	Poli NT 26 Matchem	Maxfluid M 2055 Matchem
Kg/m³	15	25,97	5,84	38,05	7,50	0,0237	0,2368	0,143	0,113

Fonte: Fornecido por uma Usina local (2020).

Após a mistura das fibras sintéticas ao concreto, foi possível notar que as fibras absorveram uma quantidade significativa de água, o que resultou na realização de ajustes no traço, devido a sua elevada perda de trabalhabilidade. A Tabela 10 mostra o traço com fibras sintéticas e seus devidos ajustes realizados em laboratório.

Tabela 10 – Traço ajustado com fibras sintéticas.

Traço	CP II F 32	Areia	Pó de Pedra	Brita 1	Água	Microfibra	Macrofibra	Poli NT 26 Matchem	Maxfluid M 2055 Matchem
Kg/m³	15	25,97	5,84	38,05	8,10	0,0237	0,2368	0,120	0,190

Fonte: Adaptado de uma Usina local (2020).

### 3.2.2 Dosagem do traço de referência

Nesse traço foi realizado a mistura do concreto contendo apenas os materiais base de um concreto, sem a dição de fibras sintéticas ou naturais, a fim de analisar as alterações dos comportamentos mecânicos com os demais traços estudados na pesquisa. Com o intuito de aproximar os valores ao traço contendo as fibras sintéticas, o traço de referência também passou por ajustes na dosagem, conforme atingisse uma boa trabalhabilidade, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Traço de referência.

Traço	CP II F 32	Areia	Pó de Pedra	Brita 1	Água	Poli NT 26 Matchem	Maxfluid M 2055 Matchem
Kg/m³	15	25,97	5,84	38,05	8,10	0,120	0,120

Fonte: Adaptado de uma Usina local (2020).

### 3.2.3 Dosagem do traço com fibras de coco

Para a realização do traço contendo as fibras de coco, foi estabelecido, inicialmente, um traço de validação de forma a aferir a quantidade mais adequada de fibras, preservando os padrões de trabalhabilidade da amostra no estado fresco, assim como as resistências esperadas para o estado endurecido do concreto.

Após algumas análises visuais e baseando-se nos trabalhos de Morais *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2015), foi possível determinar a quantidade de fibras de coco utilizada no trabalho em dois traços com teores de 50g e 100g de fibras. Nesses traços, também foi utilizado a adição de microfibras sintéticas com o objetivo de controlar a fissuração por retração na fase plástica do concreto. A Tabela 12 e a Tabela 13 indicam os traços utilizados para as fibras de coco.

Tabela 12 – Traço com 50g de fibras de coco (baixa concentração).

Traço	CP II F 32	Areia	Pó de Pedra	Brita 1	Microfibra	Fibra de coco	Água	Poli NT 26 Matchem	Maxfluid M 2055 Matchem
Kg/m <sup>3</sup>	15	25,97	5,84	38,05	0,0237	0,05	8,10	0,120	0,080

Fonte: Adaptado de uma Usina local (2020).

Tabela 13 – Traço com 100g de fibras de coco (alta concentração).

Traço	CP II F 32	Areia	Pó de Pedra	Brita 1	Microfibra	Fibra de coco	Água	Poli NT 26 Matchem	Maxfluid M 2055 Matchem
Kg/m <sup>3</sup>	15	25,97	5,84	38,05	0,0237	0,10	8,10	0,120	0,100

Fonte: Adaptado de uma Usina local (2020).

### 3.3 Execução dos concretos e ensaios

Neste tópico será definido os ensaios necessários para as análises comparativas entre os traços estudados e as quantidades de corpos de prova cilíndricos e prismáticos que serão utilizados em cada ensaio, assim como a definição das idades de ruptura para cada corpo de prova, como mostra a representação abaixo e a Tabela 14.

- a) Concreto de referência (sem adição de fibras) – Traço A;
- b) Concreto com fibras sintéticas – Traço B;
- c) Concreto com 50 g de fibras de coco (baixa concentração) – Traço C;
- d) Concreto com 100 g de fibras de coco (alta concentração) – Traço D.

Tabela 14 – Ensaios, corpos de prova e idade de ruptura dos traços.

TRAÇO	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO		
	Nº de CP's Cilíndricos	Idade		Nº de CP's Prismáticos	Idade	
		7 dias	28 dias		7 dias	28 dias
A	4	2	2	2	-	2
B	4	2	2	2	-	2
C	4	2	2	2	-	2
D	4	2	2	2	-	2

Fonte: Autor (2021).

### 3.3.1 Tratamento e limpeza das fibras de coco

As fibras de coco passaram por um processo de limpeza, seguindo os procedimentos realizados por Carvalho (2019), devido a presença de resíduos (graxas e resinas naturais) que se acumularam na sua superfície ao longo do período de armazenamento, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Fibras de coco.



Fonte: Autor (2021).

De acordo com Silva *et al.* (2015), as fibras de coco devem ser cortadas em tamanhos de 5 cm, pois foram as que obtiveram os melhores resultados nos ensaios de tração na flexão e compressão axial em seus estudos sobre fibras naturais. Além disso, optou-se por utilizar esse tamanho para correlacionar com o comprimento das fibras sintéticas utilizadas na pesquisa para fins comparativos, mostrado na Figura 14.

Figura 14 – Fibras de coco cortadas e agrupadas.



Fonte: Autor (2021).

Durante o processo de limpeza, as fibras foram submetidas a lavagem em água quente, a 100 °C, por um tempo de 30 minutos de acordo com os estudos de Carvalho (2019). Em seguida, as fibras de coco foram mantidas ao ar livre para secagem e finalmente armazenadas em sacos plásticos, onde ficaram armazenadas até o momento da utilização nos ensaios, observado na Figura 15 e na Figura 16.

Figura 15 – Processo de aquecimento das fibras de coco.



Fonte: Autor (2021).

Figura 16 – Fibras de coco secando ao ar livre e em seguida ensacadas.

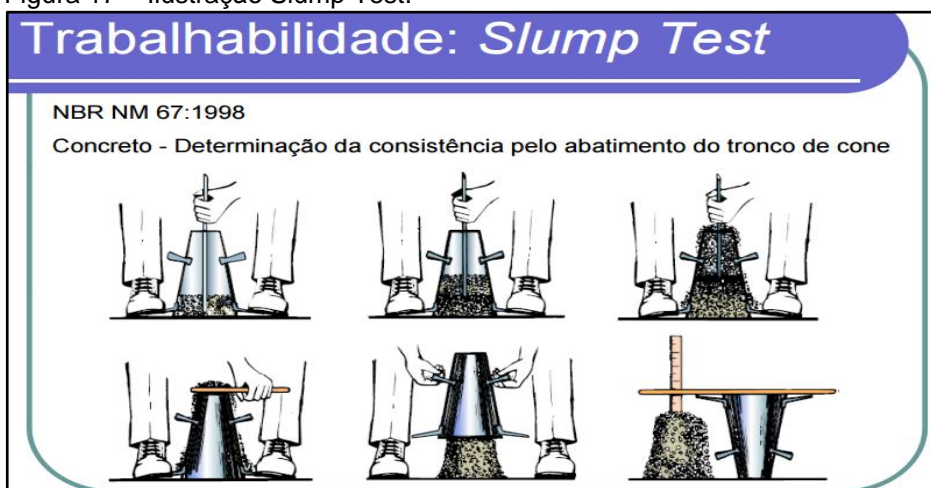


Fonte: Autor (2021).

### 3.3.2 Slump Test

Para desenvolver os comparativos entre as diferentes amostras do concreto no seu estado fresco foi determinado a utilização do ensaio de abatimento de tronco de cone, regido pela NBR NM 67 (1998), popularmente conhecido como Slump Test, representado pela Figura 17.

Figura 17 – Ilustração Slump Test.



Fonte: Clube do concreto (2015).

### 3.3.3 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova cilíndricos utilizados no trabalho possuem 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, conforme os parâmetros estabelecidos pela NBR 5738, e foram moldados aplicando 12 golpes distribuídos em duas camadas de acordo com as exigências da norma. A Figura 18 mostra os corpos de prova moldados em laboratório.

Figura 18 – Corpos de prova cilíndricos moldados.



Fonte: Autor (2021).

Nesse trabalho, além dos corpos de prova cilíndricos, também foi utilizado corpos de prova prismáticos de 150 x 500 mm, conforme os parâmetros estabelecidos pela NBR 5738. Foram moldados aplicando 75 golpes distribuídos em duas camadas

de acordo com as exigências da norma. A Figura 19 mostra os corpos de prova moldados em laboratório e a Tabela 15 mostra as dimensões padronizadas por norma.

Figura 19 – Corpos de prova prismáticos moldados.



Fonte: Autor (2021).

Tabela 15 – Dimensões do corpo de prova e vão de ensaio.

Dimensão básica mm	Comprimento mínimo mm	Vão de ensaio <sup>a</sup> mm
100	350	300
150	500	450
250	800	750
450	1400	1350

<sup>a</sup> Conforme ABNT NBR 12142

Fonte: Adaptado de Associação brasileira de normas técnicas (2015).

Após 24h os corpos de prova foram desmoldados e submetidos a uma cura úmida nos tanques do laboratório, onde permaneceram submersos até o momento da realização dos rompimentos, como pode ser evidenciado na Figura 20.

Figura 20 – Tanque de cura úmida.



Fonte: Autor (2021).

### 3.3.4 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio realizado em laboratório seguiu os critérios de ruptura de acordo com as orientações regidas pela NBR 5739 (2018). Nesses ensaios, as amostras foram divididas em dois corpos de prova cilíndricos e rompidos com idades entre 7 e 28 dias, onde foi considerando a amostra de maior resultado, entre o par, como resistência do concreto no estado endurecido para cada idade analisada.

Antes de serem levados à ruptura no ensaio de compressão axial, os corpos de provas foram inseridos na retífica faceadora automática para que fosse realizado o capeamento das amostras e assim, garantir uma sessão plana no concreto. A Figura 21 apresenta o equipamento utilizado em laboratório para a realização da retífica e a Figura 22 o corpo de prova cilíndrico na prensa hidráulica que realizou o ensaio de compressão axial.

Figura 21 – Retífica faceadora automática.



Fonte: Autor (2021).

Figura 22 – Prensa hidráulica.



Fonte: Autor (2021).

### 3.3.5 Ensaio de resistência à tração na flexão

O ensaio realizado em laboratório para determinar as resistências de tração na flexão das amostras foi realizado de acordo com a NBR 12142 (2010). Nesse ensaio, foi considerado duas amostras de corpos de prova prismáticos e idade de ruptura aos 28 dias, onde foi considerado a amostra de maior resultado, entre o par, como resistência do concreto no estado endurecido. A Figura 23 apresenta o corpo de prova prismática utilizado no ensaio e a Figura 24 o corpo de prova na prensa hidráulica para realização do ensaio de tração na flexão.

Figura 23 – Corpo de prova prismático.



Fonte: Autor (2021).

Figura 24 – Corpo de prova prismático na prensa hidráulica.



Fonte: Autor (2021).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção, serão apresentados os resultados obtidos nos experimentos dos diferentes tipos de traços estudados na pesquisa acadêmica, tanto em seu estado fresco quanto em seu estado endurecido. Além disso, serão realizadas as discussões a respeito desses resultados obtidos, seguido dos comparativos, entre as amostras, de forma a correlacionar as resistências e as características mecânicas nos ensaios de compressão axial e tração na flexão.

### 4.1 Resultados dos ensaios

Inicialmente serão expostos os resultados obtidos em cada amostra, através da utilização de gráficos e tabelas, que servirão de base para a realização dos comparativos entre os diferentes tipos de traços envolvidos no estudo.

#### 4.1.1 Concreto no estado fresco

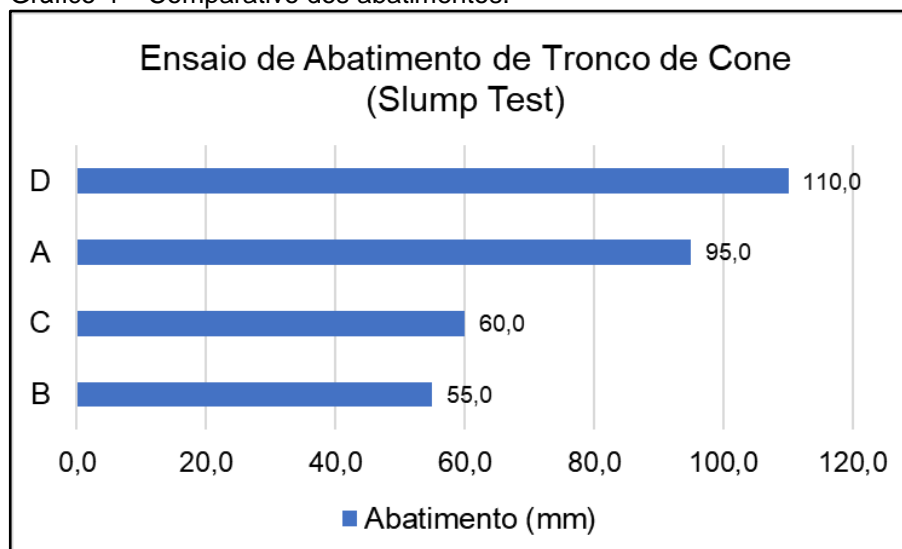
A Tabela 16, o Gráfico 4 e o Quadro 6 apresentam os resultados obtidos no ensaio de abatimento de tronco de cone em cada tipo de traço, onde é possível verificar a trabalhabilidade (consistência) das amostras.

Tabela 16 – Abatimento dos traços (Slump Test).

Slump Test - ENSAIO DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE				
TRAÇO	A	B	C	D
ABATIMENTO (mm)	95,0	55,0	60,0	110,0





Fonte: Autor (2021).

Gráfico 4 – Comparativo dos abatimentos.



Fonte: Autor (2021).

Quadro 6 – Ensaio de abatimento dos traços.

Traço	Slump Test (mm)
A - Traço de referência	 95,0
B - Traço com fibras sintéticas	 55,0
C - Traço com 50g de fibras de coco (baixa concentração)	 60,0
D - Traço com 100g de fibras de coco (alta concentração)	 110,0

Fonte: Autor (2021).

A partir dos resultados obtidos no ensaio de abatimento de tronco de cone é possível observar que a adição de fibras ao concreto afeta diretamente na consistência das amostras, reduzindo a sua trabalhabilidade.

Silva, Marques e Fornari Junior (2012) também verificaram em seus estudos que as fibras naturais absorvem parte da água utilizada na mistura do concreto, o que contribui para a redução da fluidez das amostras.

Para Silva *et al.* (2015), o aumento da quantidade de fibras pode resultar na redução da trabalhabilidade da mistura, principalmente nas amostras com teores mais elevados de fibras, devido à sua grande absorção de água pelo material fibroso, como observado nos traços B (traço com fibras sintéticas) e C (traço com 50g de fibras de coco – baixa concentração).

Porém, o valor elevado encontrado na amostra D (Traço com 100g de fibras de coco – alta concentração) é resultado de um aumento proposital no uso de aditivos

químicos, cujo objetivo é tornar a consistência dessa amostra mais próxima ao traço de referência (amostra A) e verificar a influência desse aumento, aliado ao alto teor de fibras de coco, nas resistências durante os ensaios de ruptura.

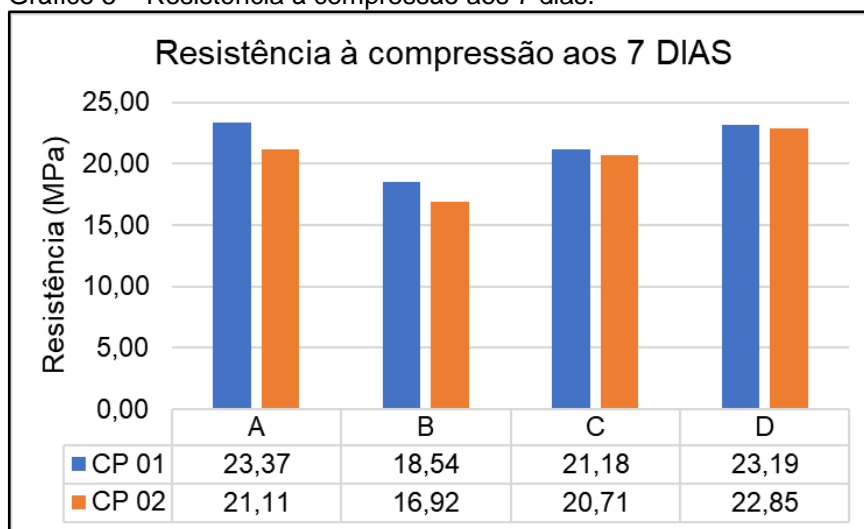
#### 4.1.2 Concreto no estado endurecido

Após a realização dos ensaios do concreto no estado fresco, os corpos de prova passaram pelos processos de cura úmida e retífica faceadora, em seguida foram rompidos nas idades estabelecidas (entre 7 e 28 dias). Foi considerado no estudo o maior valor, entre as amostras, como resistência para os ensaios de compressão axial e tração na flexão.

##### 4.1.2.1 Resistência à compressão aos 7 dias

Foram retirados 2 corpos de prova cilíndricos, de cada traço, dos tanques de cura úmida para serem utilizados no ensaio. Os corpos de prova foram submetidos a uma secagem ao ar livre antes da realização da retífica e posteriormente levados à ruptura na prensa hidráulica automática. O Gráfico 5 apresenta as resistências dos corpos de prova aos 7 dias de idade.

Gráfico 5 – Resistência à compressão aos 7 dias.

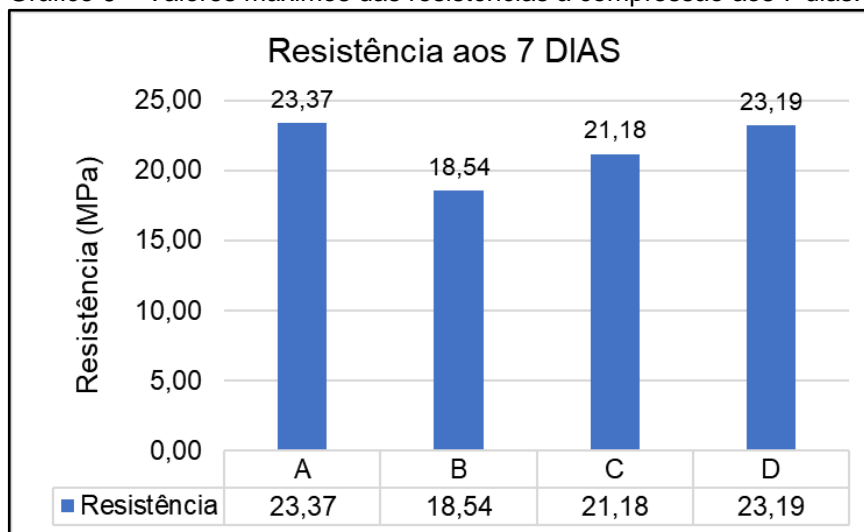


Fonte: Autor (2021).

Os resultados mostram que aos 7 dias de idade o traço de referência, sem adição de fibras, obteve os melhores resultados em relação às demais amostras, seguido dos traços com a presença das fibras de coco e do traço contendo as fibras

sintéticas, respectivamente. O Gráfico 6 mostra os maiores valores entre os pares de cada amostra como resultado máximo dos corpos de prova aos 7 dias.

Gráfico 6 – Valores máximos das resistências à compressão aos 7 dias.

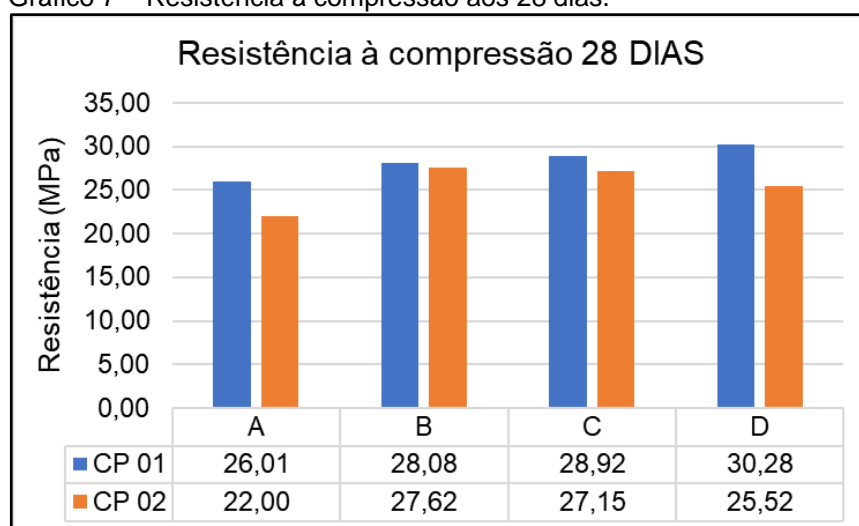


Fonte: Autor (2021).

#### 4.1.2.2 Resistência à compressão aos 28 dias

Para a realização dos ensaios aos 28 dias, os corpos de prova passaram pelo mesmo processo de preparação ocorrido nas amostras ensaiadas aos 7 dias de idade. Gráfico 7 apresenta os valores referentes às resistências obtidas aos 28 dias de cada traço analisado.

Gráfico 7 – Resistência à compressão aos 28 dias.

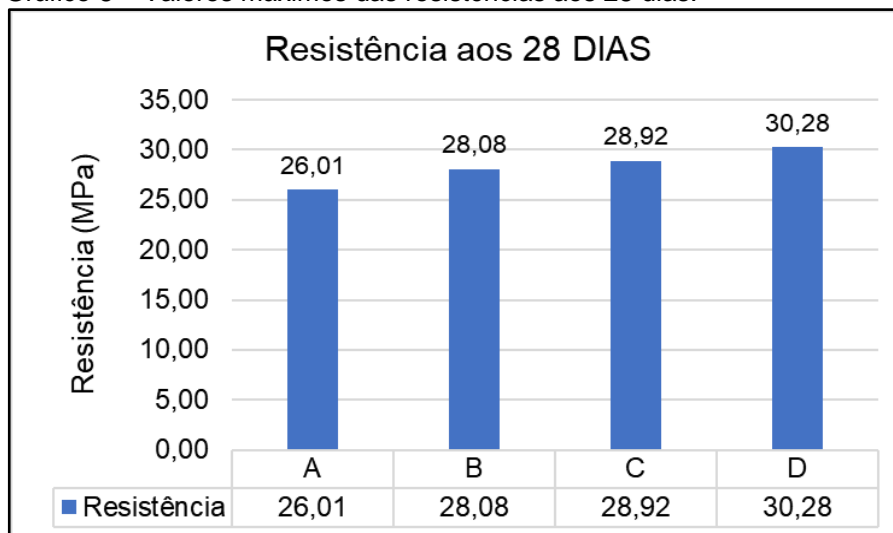


Fonte: Autor (2021).

Aos 28 dias de idade, o traço contendo as fibras de coco com alta concentração obteve o maior valor máximo de resistência à compressão. Também é

possível observar que o traço contendo fibras de coco com baixa concentração e o traço contendo fibras sintéticas apresentaram ótimos resultados e com resistência superior, em ambos os corpos de prova, ao concreto de referência. O Gráfico 8 apresenta os valores máximos obtidos aos 28 dias de idade das amostras.

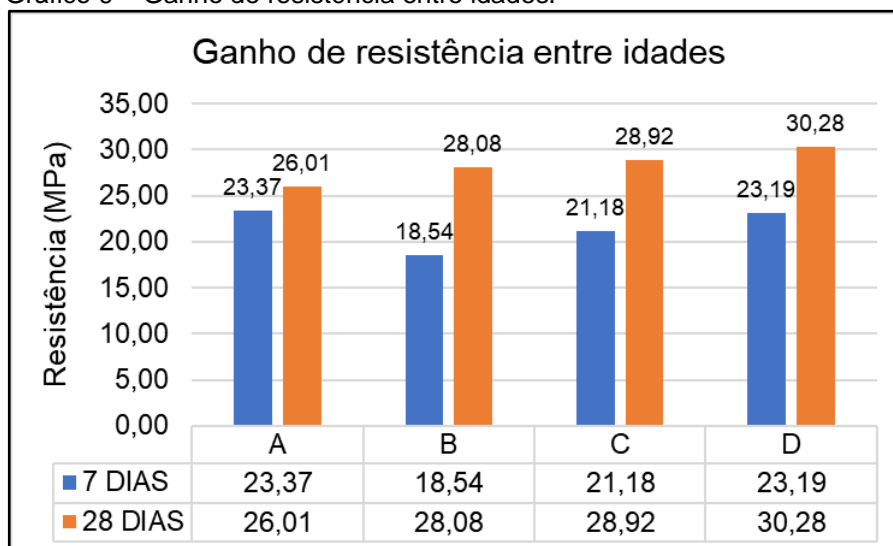
Gráfico 8 – Valores máximos das resistências aos 28 dias.



Fonte: Autor (2021).

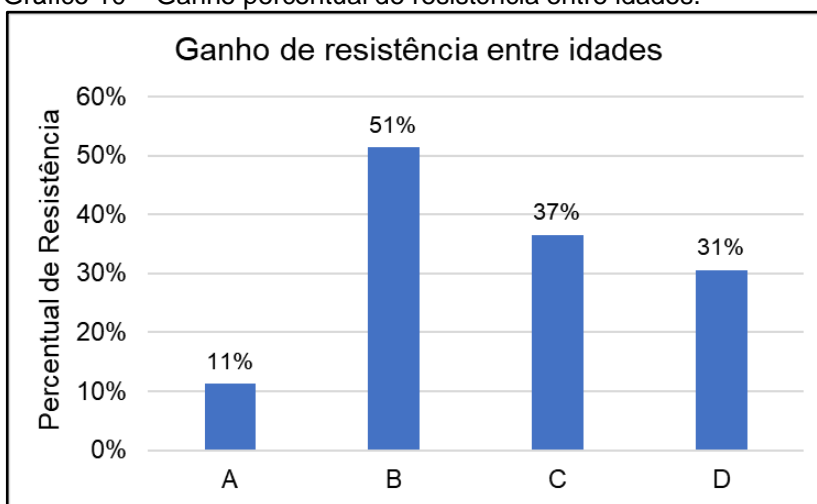
Silva *et al.* (2015), verificou em seus estudos que a presença de materiais fibrosos pode reduzir a relação água/cimento do concreto devido a elevada absorção de água pelas fibras nas primeiras idades do concreto, mas posteriormente pode fornecê-la para a continuação das reações de hidratação do cimento podendo afetar nos ganhos de resistência entre idades. O Gráfico 9 e o Gráfico 10 apresentam as variações na resistência entre idades devido a presença de fibras.

Gráfico 9 – Ganho de resistência entre idades.



Fonte: Autor (2021).

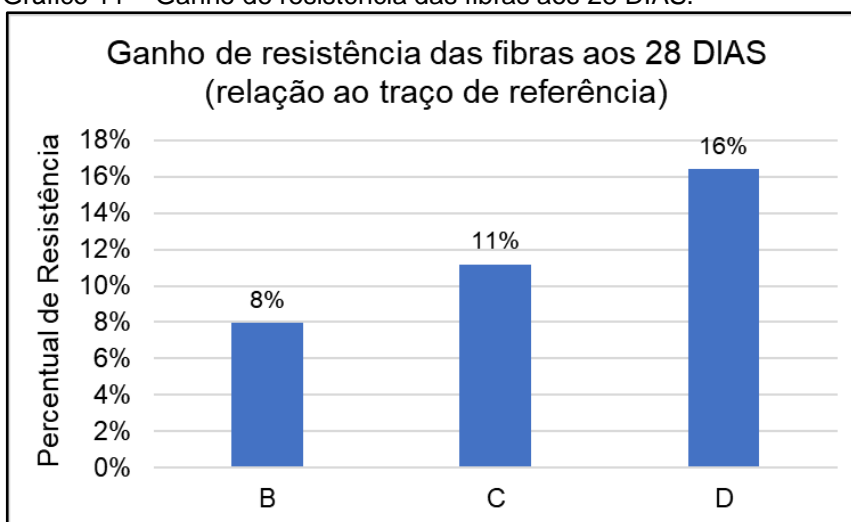
Gráfico 10 – Ganho percentual de resistência entre idades.



Fonte: Autor (2021).

Os resultados apontam que as amostras que possuem materiais fibrosos tendem a apresentar resistências menores nos primeiros dias quando comparados ao concreto de referência, porém apresentam ganhos significativos de resistência ao longo de sua idade, como mostra o gráfico 10. Além disso, o Gráfico 11 mostra os ganhos percentuais que esses materiais fibrosos apresentaram em relação ao concreto de referência aos 28 DIAS.

Gráfico 11 – Ganho de resistência das fibras aos 28 DIAS.



Fonte: Autor (2021).

Os resultados apresentam ganhos percentuais significativos com a utilização de fibras de coco em ambas as concentrações, com destaque para o traço contendo alta concentração dessas fibras, cuja resistência foi 16% superior em relação ao concreto de referência aos 28 dias. Esta situação é diferente da que foi verificada por Silva, Marques e Fornari Junior (2012), na qual a amostra contendo

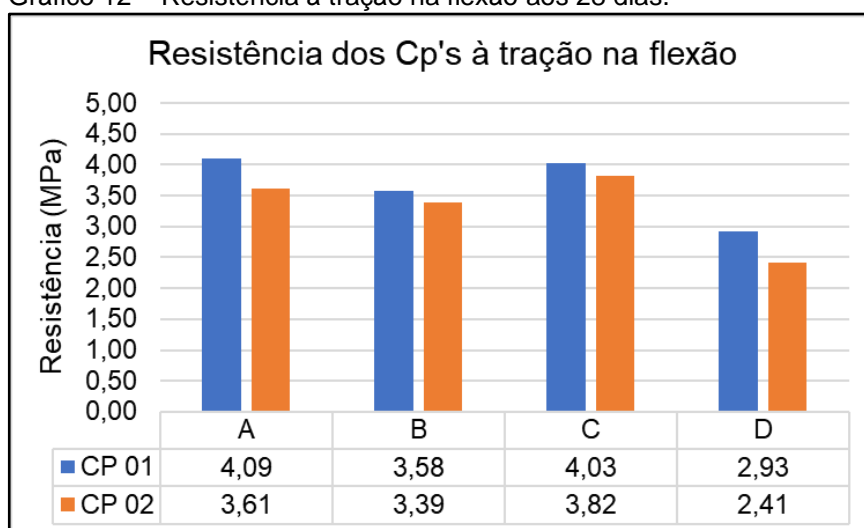
fibras de coco apresentou resistência 44,6% inferior ao concreto de referência. Contudo, no trabalho de Silva *et al.* (2015), as fibras de coco apresentaram desempenho 5,27% maior que o apresentado pela matriz cimentícia sem adição de fibras.

As fibras sintéticas também apresentaram resultados significativos aos 28 dias de idade, com 8% de ganho na sua resistência em relação ao concreto de referência. Leite (2018), obteve ganhos percentuais similares ao encontrado na pesquisa com resultados de 11,9% e 5,8% superiores ao concreto de referência para as amostras com baixa concentração e alta concentração de macrofibras sintéticas, respectivamente.

#### 4.1.2.3 Resistência à tração na flexão

Neste ensaio foram utilizados os 2 corpos de prova prismáticos com idade de 28 dias. As amostras foram retiradas dos tanques de cura úmida e submetidas a uma secagem ao ar livre antes da ruptura na prensa hidráulica automática. O Gráfico 12 apresenta os valores referentes às resistências dos corpos de prova obtidas aos 28 dias de cada traço.

Gráfico 12 – Resistência à tração na flexão aos 28 dias.



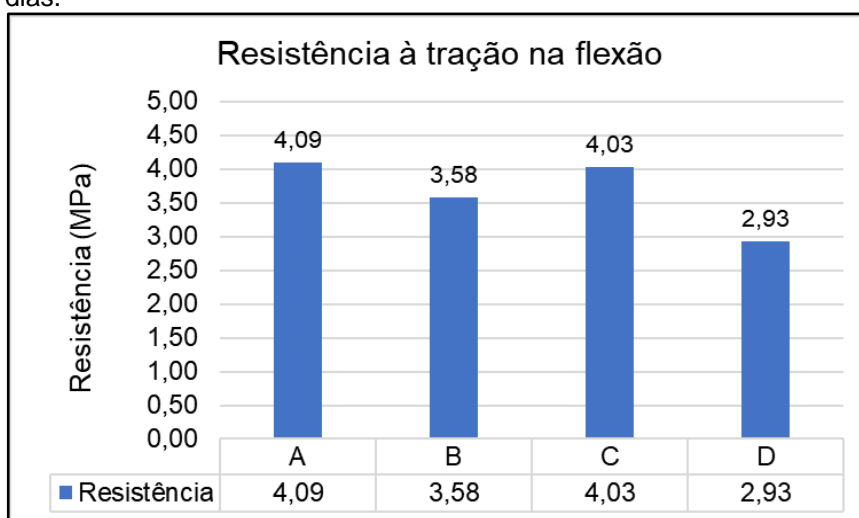
Fonte: Autor (2021).

Os resultados mostram que mesmo sem a adição de nenhum tipo de fibra adicionado às matrizes cimentícias, o traço de referência obteve os maiores valores no ensaio de resistência à tração na flexão. Os corpos de prova com baixa concentração de fibras de coco também apresentaram resultados satisfatórios,

seguido das fibras sintéticas no ensaio. Porém, a alta concentração de fibras de coco pode ter influenciado diretamente no desempenho das amostras, como mostra o gráfico 12.

Morais *et al.* (2018), observou em seu estudo que elevadas concentrações de fibras de coco reduzem a resistência do concreto à tração na flexão. No Gráfico 13, também é possível observar que o traço com elevada concentração de fibras de coco obteve o menor valor máximo entre os corpos de prova no ensaio.

Gráfico 13 – Valores máximos das resistências à tração na flexão aos 28 dias.



Fonte: Autor (2021).

Os resultados revelam que a utilização de materiais fibrosos reduziu a resistência dos concretos à tração na flexão em todos os traços analisados, com grande destaque para o baixo desempenho apresentado pelo traço contendo alta concentração de fibras de coco. Morais *et al.* (2018), obteve resultados parecidos referentes a utilização de traços com alta concentração de fibras de coco em seus estudos em concretos de alta desempenho, onde a resistência à tração na flexão teve sua resistência reduzida em torno de 17%.

Por meio das informações contidas no gráfico 13 é possível verificar que as fibras sintéticas reduziram significativamente a resistência dos corpos de prova contrastando os resultados obtidos nos experimentos de Leite (2018), na qual alcançou valores entre 11% e 20% superiores ao concreto convencional. Contudo, nos estudos de Goes *et al.* (2016) houve uma redução na resistência em 14,25% quando se aumentou a concentração de macrofibras estruturais sintéticas.



#### 4.1.3 Comparativos nos ensaios Pós-Fissuração

Após os ensaios de ruptura dos corpos de prova, foram observadas algumas características mecânicas no momento de pós-fissuração do concreto entre os diferentes tipos de amostras em ambos os ensaios (resistência à compressão axial e tração na flexão).

##### 4.1.3.1 Pós-fissuração no ensaio de compressão axial

Após a realização dos rompimentos dos corpos de prova foram observados que as amostras que possuíam a presença de materiais fibrosos não romperam de forma generalizada nas regiões extremas dos cilindros. A Figura 25 contém os corpos de prova após a realização da ruptura na prensa hidráulica automática.

Figura 25 – Corpos de prova cilíndricos após o ensaio de compressão.



Fonte: Autor (2021).





Silva *et al.* (2015) obteve resultados similares na qual os corpos de prova reforçados com fibras não romperam em vários pedaços após atingirem a carga máxima de ruptura, como encontrado no traço de referência, sem a adição de qualquer tipo de fibra. Ainda segundo o autor, outra possibilidade que pode explicar esse ganho de desempenho são as rugosidades encontradas na superfície das fibras que ajudam na adesão com a matriz cimentícia durante a cura do concreto, com isso, garantem uma melhora na resistência mecânica do concreto.

#### 4.1.3.2 Pós-fissuração no ensaio de tração na flexão

Os resultados apontam que a utilização de fibras sintéticas ajudou a dissipar as tensões ao longo das fissuras no estado endurecido e gerar uma resistência ao cisalhamento devido ao fator de tenacidade das fibras, ou seja, sem a ocorrência de ruptura brusca da seção, como verificou Polidoro (2021).

Silva *et al.* (2015) também observou em seu trabalho que a presença de fibras nos corpos de prova prismáticos melhorou na maneira com que a energia provocada nos ensaios de ruptura fosse descarregada ao longo do concreto. O Quadro 7 apresenta os resultados encontrados nos corpos de prova prismáticos após a realização do ensaio de tração na flexão.

Quadro 7 – Corpos de prova prismáticos após o ensaio de tração na flexão.

Traço	Pós Fissura
A - Traço de referência	
B - Traço com fibras sintéticas	
C - Traço com 50g de fibras de coco (baixa concentração)	
D - Traço com 100g de fibras de coco (alta concentração)	

Fonte: Autor (2021).

Após as análises, é possível verificar que os demais traços romperam de forma a cisalharem o corpo de prova por inteiro, algo que não foi verificado na amostra

contendo fibras sintéticas. Uma possibilidade para que as amostras com fibras de coco não tenham adquirido essa característica, possa estar associado a quantidade de material utilizado na pesquisa. Para o ensaio de tração na flexão, os teores de fibras de coco podem estar abaixo do ideal para que ocorra tal característica, mesmo no traço contendo alta concentração de fibras de coco.

## **4.2 Considerações finais**

Nesse tópico será abordado uma visão ampla dos dados coletados na pesquisa, apresentando os quesitos gerais e as considerações importantes sobre os resultados encontrados nos estudos sobre as propriedades mecânicas do concreto nos ensaios de resistência à compressão e tração na flexão, além das considerações a respeito do concreto no estado fresco (teste de abatimento) e as características das amostras após os rompimentos.

Após a realização dos ensaios foi possível observar, que as fibras de coco possuem propriedades mecânicas importantes a serem agregadas ao concreto. Quando comparadas às fibras sintéticas, no estado fresco, às fibras de coco mostraram resultados, parcialmente, similares na absorção de água (amostra com baixa concentração de fibras) e, conseqüentemente, na perda de consistência da mistura.

É importante ressaltar que os resultados encontrados nas fibras sintéticas durante o ensaio de tração na flexão não foram valores esperados segundo a literatura, uma vez que essas fibras possuem vasta utilização no mercado, justamente, devido a sua grande capacidade de aumentar a resistência à elementos sujeitos a esses tipos de esforços. Dentre as possíveis variáveis que podem ter influenciado nesse resultado negativo podemos citar a velocidade de ruptura durante a realização do ensaio, pois velocidades elevadas podem apresentar alterações nos resultados obtidos.

Durante os ensaios de ruptura à compressão dos corpos de prova cilíndricos aos 28 dias de idade, as fibras de coco apresentaram os maiores carregamentos máximos dentre as amostras no traço com alta concentração de fibras, o que mostra um ótimo desempenho desses materiais como reforços para o concreto sujeitos à carregamentos de compressão. Porém, nos ensaios de tração na flexão dos corpos de prova prismáticos, apesar de apresentarem carregamentos satisfatórios, as fibras de coco não apresentaram a característica de dissipação de energia por

tenacidade após fissuração como observado nas fibras sintéticas, ou seja, apresentaram ruptura brusca por cisalhamento quando submetidas à carga máxima de ruptura.

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que as fibras de coco podem favorecer algumas propriedades mecânicas do concreto, principalmente, em elementos sujeitos a esforços de compressão axial. Porém, não se pode afirmar com esse trabalho a durabilidade que ainda é algo questionável nas fibras naturais, nem as possíveis degradações sofridas em contato com os agentes químicos presentes no concreto ao longo dos anos.

Outro ponto a ser analisado é o desempenho apresentado pelas fibras de coco no ensaio de tração na flexão que é fundamental para a utilização das fibras no mercado como reforços estruturais. Com isso, se torna necessário o desenvolvimento de mais estudos para assim, tornar esse tipo de material mais atrativo no aspecto técnico.

Segundo Silva; Marques e Fornari Junior (2012), as pesquisas vêm mostrando bons resultados e que as fibras de coco, de fato podem melhorar algumas propriedades das argamassas o do concreto. A relevância da utilização de fibras vegetais para a construção civil, aborda caminhos longos de pesquisas e desenvolvimento, onde a durabilidade e as propriedades mecânicas indicam os avanços das suas aplicações.

Para Silva *et al.* (2015), os resultados indicam que a presença de fibras de coco em compósitos cimentícios é viável do ponto de vista técnico, já que as propriedades físicas de resistência encontradas nos estudos atendem as exigências mínimas das normas. Isso reforça a viabilidade de reaproveitamento desses materiais na indústria da construção civil, reduzindo, a extração de matéria prima natural, o que possibilita minimizar os resíduos agroindustriais e reduzir as emissões de gases poluentes para a atmosfera, causadas pela produção do concreto.

## 5 CONCLUSÕES

A pesquisa mostrou que as fibras de coco apresentaram a capacidade de proporcionar alterações nas propriedades mecânicas do concreto, tanto em seu estado fresco como em seu estado endurecido. Além disso, a pesquisa também verificou que essas alterações possuem influência dos teores utilizados no traço e na forma com que essas fibras podem atuar como reforço, seja em compressão ou tração na flexão.

O objetivo geral do trabalho foi alcançado, pois através dos ensaios realizados em laboratório foi possível analisar as propriedades mecânicas do concreto no estado fresco e endurecido com relação a utilização das fibras de coco no concreto, assim como também foi possível averiguar as alterações provocadas pela alteração na concentração das fibras de coco e a realização dos comparativos com as fibras sintéticas.

Quanto aos objetivos específicos:

a) O traço de referência foi determinado de acordo com o traço das fibras sintéticas fornecido por uma Usina Local. Contudo, nesse traço não foi utilizado qualquer tipo de fibra na sua mistura, ou seja, apenas materiais base que compõe o concreto convencional.

b) Foram realizados os comparativos necessários entre as amostras no estado fresco do concreto por meio da realização do ensaio Slump Test.

c) Foram realizados os comparativos entre as resistências dos concretos no ensaio de resistência à compressão e verificado que as fibras de coco possuem resultados promissores nos parâmetros físicos quando comparados as fibras sintéticas e ao concreto de referência.

d) Foram realizados os comparativos entre as resistências dos concretos no ensaio de tração na flexão e verificado que os teores considerados no trabalho para as fibras de coco e para as fibras sintéticas podem ter interferido nos resultados obtidos. Além disso, também foi possível observar que as amostras com fibras sintéticas não apresentaram uma ruptura de cisalhamento brusca após atingir o carregamento máximo no ensaio devido a sua característica de tenacidade.

## 5.1 Sugestões para trabalhos futuros

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

a) Realizar um estudo semelhante utilizando outros tipos de fibras naturais, como fibras de sisal, fibras de polpa de eucalipto ou fibras de malva.

b) Realizar um estudo semelhante utilizando fibras de coco em concretos de alto desempenho nas análises comparativas.

c) Realizar mais amostragem de rompimentos dos corpos de prova em diferentes idades a fim de verificar a evolução das resistências ao longo do tempo.

d) Realizar traços com maiores variações nos teores e tamanhos das fibras de coco com o objetivo de obter melhores desempenhos no ensaio de tração na flexão.

e) Realizar estudos direcionados a verificar as características apresentadas no estado pós-fissuração dos corpos de prova.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 16697**: Cimento Portland: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 16935**: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras: Procedimento. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR 16938**: Concreto reforçado com fibras: Controle de qualidade. Rio de Janeiro, 2021.

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

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

ANAPRE. **Fibras de aço para concreto em pisos industriais**: Especificações. São Paulo, 2012.

BEBER, Andriei José. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono**. 2003. Tese (Pós-Graduação em engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2003.

BAUER, L.A. Falcão; coordenação João Fernando Dias. **Materiais de construção**. 6ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. 2019. 89f. (Disciplina: 2117 – Estruturas de concreto I) – Universidade Estadual Paulista, 2019.

BENTUR, Arnon; MINDESS, Sidney. **Fibre Reinforce Cementitious Composites**. Second edition. London and New York: Taylor & Francis, 2007.

BENTUR, Arnon; MINDESS, Sidney. **Fibre Reinforced Cement Composites**. Capter 3. Reino Unido: IntechOpen, 2018.

BONAKDAR, Almir; MAHONEY, Mike. **Guia de Engenharia para Concreto Reforçado com Fibras**. Cleveland: Euclid Group, 201 – 61f.

CARVALHO, Leila Maria Coelho de. **Comportamento mecânico de um solo arenoso reforçado com fibras naturais submetido a ensaios de cisalhamento direto em média escala**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

CLUBE DO CONCRETO. Eng. Ruy Serafim de Teixeira Guerra, 2015. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/09/utilidades-do-slump-test.html>>. Acesso em 02 nov 2021.

E. SILVA et al. Análise técnica para o reaproveitamento da fibra de coco na construção civil. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Paraná, v.11, nº3, p. 669-683, set-dez, 2015.

EHRENBRING, Hinoel Zamis; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Concretos reforçados com fibras naturais e fibras recicladas. In: **7º Fórum internacional de resíduos sólidos**, Instituto Venturi para Estudos Ambientais, Porto Alegre, 2016.

FABRO, F. et al. Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v.4, nº4, p. 191-212, jun, 2011.

FERREIRA, Lydia Masako; HOCHMAN, Bernardo; BARBOSA, Marcus Vinicius Jardini. Modelos experimentais em pesquisa. **Acta Cirúrgica Brasileira**, São Paulo, v.20, n.2, p.28 – 34, 2005.

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

FIGUEIREDO, Antonio Domingues; NETO, Pedro Jorge Chama; FARIA, Hermano Macedo. A nova normalização brasileira sobre fibras de aço. **Revista Concreto**, São Paulo, p.67-75, fev, 2016.

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

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

HEJAZI et al, Sayyed Mahdi. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibres. **ELSEVIER - Construction and Building Materials**, Amsterdã, v.30, p.100-116, Mai, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. **Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central: Procedimentos**. 1º Edição. São Paulo, [20--].

KATAYAMA, Daniela. **Estudo da influência da granulometria do agregado graúdo nas propriedades do concreto de alto desempenho**. 2016. 69f. (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

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

LISBOA, Ederval de Souza; ALVES, Edir dos santos; MELO, Gustavo Henrique Alves Gomes de. **Materiais de construção: concreto e argamassa**. 2ª Edição. Porto Alegre: SAGAH, 2017.



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

MADEIROS, Taynah Lima Bezerra; MOREIRA, Fernanda Silva; LIMA, Rafaela Fujita; NÓBREGA, Argebon César Cunha da. Fibra de coco e da carnaúba: um estudo de caso com concreto de alto desempenho (CAD). In: **60º Congresso brasileiro do concreto**, IBRACON, Foz do Iguaçu, 2018.

MAGALHÃES, Fábio Costa. **Estudo probabilístico da resistência à compressão e da resistência à tração na flexão dos concretos utilizados na construção do dique seco do estaleiro Rio Grande, no superporto, em Rio Grande-RS**. 2009. 182f. Dissertação (Pós-graduação em engenharia oceânica) – Universidade Federal do Rio Grande, 2009.

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

MENDES, Gustavo. Aditivos e adições, desempenho aditivado. **Construção Mercado, negócios de incorporação e construção**, São Paulo, ed. 62, set, 2006.

MORAIS, Vitória Camelo; SILVA, Yanka Fernandes Franca; SOUSA, José Marcos Luna; LIMA, Rafaela Fujita; NÓBREGA, Argebon César Cunha da. Adição de fibras de coco e cana-de-açúcar no Concreto de Alto Desempenho. In: **60º Congresso brasileiro do concreto**, IBRACON, Foz do Iguaçu, 2018.

MONTEIRO, Sergio N.; TERRONES, Luiz Augusto H.; CARVALHO, Eduardo A. de; D'ALMEIDA, José Roberto M.. Efeito da interface Fibra/Matriz sobre a resistência de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.11, nº4, p.395-402, 2006.

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

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

\_\_\_\_\_, BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, Carlos Augusto de Souza; GOUVEIA, Leonardo Lúcio de Araújo; TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez. Concreto estrutural com adição de fibras vegetais. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, v.6, nº2, p.14-19, Jul – Dez, 2014.

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

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

SALVADOR, Renan Pícolo; FIGUEIREDO, Antonio Domingues. Análise comparativa de comportamento mecânico de concreto reforçado com macrofibra polimérica e com fibra de aço. **Revista Matéria**, São Paulo, v.18, nº2, p.1273-1285, 2013.

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

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

SANTOS, Ícaro Mariani Ribeiro dos. **Estudo de dosagens de concreto para aumento da resistência à tração na flexão**. 2014. 75f. Monografia (Título de especialista em patologia das construções) – Universidade Federal do Paraná, 2014.

SILVA, Everton; MARQUES, Maria; F. JUNIOR, Celso. Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, Rio Grande do Sul, v.8, nº8, p. 1555-1561, set-dez, 2012.

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

SILVA, E. F.; SILVA, M. R.; OLIVEIRA, M. O. F. Resistências à tração por compressão diametral e por flexão de prismas em concretos de alto desempenho. In: **43º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais...**, Foz do Iguaçu – PR, 2001.

SOUSA et al, Brenda Gomes de. Influência do tipo de cura do concreto no grau de carbonatação: comparação entre molhagem por gotejamento e molhagem manual. In: **1º Congresso internacional de meio ambiente e sociedade e 3º Congresso internacional da diversidade do semiárido**, CONIMAS, Campina Grande, 2019.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

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

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