

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR  
ENGENHARIA CIVIL

RENAN EDUARDO MOREIRA

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS DE  
CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRA DE COCO

PONTAL DO PARANÁ

2024

RENAN EDUARDO MOREIRA

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS DE  
CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRA DE COCO

Este presente trabalho tem como objetivo a apresentação do trabalho de conclusão de curso, para a disciplina TCCII do Curso de Engenharia Civil do Campus Pontal do Paraná – Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Daniela Evaniki

PONTAL DO PARANÁ

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DO CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

Moreira, Renan Eduardo  
M838a Avaliação das propriedades mecânicas, físicas e químicas de concretos reforçados com fibra de coco / Renan Eduardo Moreira. – Pontal do Paraná, 2024.

1 arquivo [59 f.] : PDF.

Orientadora: Professora Doutora Daniela Evaniki.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto reforçado. 2. Fibra de coco. 3. Trabalhabilidade. 4. Engenharia civil. 5. Sustentabilidade. I. Evaniki, Daniela. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD – 620.136



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

RENAN EDUARDO MOREIRA

**“AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS DE CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRA DE COCO”**

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Profª. Drª. Daniela Evaniki

Profª. Orientadora - CPP-CEM/UFPR

Prof. Me. Paulo Eduardo de Melo Paris

UniFacear

Profª. Drª. Simone Mendonça dos Santos

CPP-CEM/UFPR

Pontal do Paraná, 13 de dezembro de 2024



Documento assinado eletronicamente por **DANIELA EVANIKI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/12/2024, às 13:44, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **SIMONE MENDONCA DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2024, às 13:41, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo de Melo Paris, Usuário Externo**, em 21/12/2024, às 11:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **7335936** e o código CRC **025F41AD**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela saúde, força e sabedoria que me permitiram superar os desafios encontrados ao longo dessa jornada.

À minha família, por seu amor incondicional, paciência e apoio constante. Em especial, aos meus pais, que sempre acreditaram no meu potencial e me incentivaram a buscar o melhor de mim mesmo.

À minha orientadora, Daniela Evaniki, pela paciência, dedicação e contribuições indispensáveis durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Laboratório de Materiais – CPP-CEM pela disponibilidade do espaço e recursos necessários, ao LAMIR (Laboratório de Análises de Minerais e Rochas) pelo apoio nas análises de fluorescência de raios X (FRX), ao CDTEC pelo suporte nos ensaios de tração, à Concrebrás pelos ensaios de compressão e à D'Camargo pelo fornecimento da betoneira para preparação do concreto. O apoio de cada um foi essencial para o sucesso deste trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia Civil - CPP-CEM, que ao longo dos anos transmitiram não apenas conhecimento técnico, mas também valores que levarei comigo para sempre.

Por fim, aos colegas de turma e amigos, pela parceria e troca de conhecimentos, que tornaram este período mais leve e enriquecedor.

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará  
ao seu tamanho original”*

**(Albert Einstein)**

## RESUMO

A incorporação de materiais naturais locais na construção civil tem ganhado destaque como estratégia para reduzir impactos ambientais e promover a sustentabilidade. Neste contexto, este estudo investiga as propriedades mecânicas, físicas e químicas de concretos reforçados com fibra de coco, avaliando seu potencial como alternativa ecológica na construção civil. Foram analisadas as características físicas das fibras e desenvolvidas misturas de concreto com teores de fibra de 0%, 0,5% e 2%. Ensaio laboratoriais avaliaram a trabalhabilidade, absorção de água, resistência à compressão e resistência à tração do concreto. Além disso, análises químicas foram realizadas para compreender a interação entre as fibras e a matriz cimentícia. Os resultados indicam que a adição de fibras reduz a trabalhabilidade da mistura. No entanto, a incorporação de 0,5% de fibras proporcionou o melhor desempenho em resistência à compressão, enquanto a dosagem de 2% resultou em uma leve redução nessa propriedade. Em relação à resistência à tração, a adição de 0,5% de fibras melhorou a capacidade do concreto de controlar a propagação de fissuras, enquanto a adição de 2% comprometeu esse desempenho. As análises químicas sugerem que a presença das fibras influencia a hidratação do cimento e pode afetar a durabilidade do material. Conclui-se que a utilização de fibras de coco, em proporções adequadas, pode contribuir para o desenvolvimento de concretos mais sustentáveis, incentivando a incorporação de subprodutos naturais em projetos de engenharia civil.

Palavras-chave: concreto reforçado; fibra de coco; trabalhabilidade; engenharia civil; sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

The incorporation of locally sourced natural materials in civil construction has gained prominence as a strategy to reduce environmental impact and promote sustainability. In this context, this study investigates the mechanical, physical, and chemical properties of coconut fiber-reinforced concrete, evaluating its potential as an ecological alternative in construction. The physical characteristics of the fibers were analyzed, and concrete mixtures with fiber contents of 0%, 0.5%, and 2% were developed. Laboratory tests assessed workability, water absorption, compressive strength, and tensile strength. Additionally, chemical analyses were conducted to understand the interaction between the fibers and the cementitious matrix. The results indicate that fiber addition reduces workability. However, the incorporation of 0.5% fibers provided the best compressive strength performance, while the 2% dosage resulted in a slight reduction in this property. Regarding tensile strength, adding 0.5% fibers improved the concrete's ability to control crack propagation, whereas the 2% addition compromised this performance. Chemical analyses suggest that the presence of fibers influences cement hydration and may affect material durability. It is concluded that the use of coconut fibers, in appropriate proportions, can contribute to the development of more sustainable concretes, encouraging the incorporation of natural by-products in civil engineering projects.

**Keywords:** reinforced concrete; coconut fiber; workability; civil engineering; sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA DO TRABALHO. ....                                   | 26 |
| FIGURA 2 - FIBRAS DE COCO .....  | 27 |
| FIGURA 3 - PREPARO DO CONCRETO NA BETONEIRA.....   | 30 |
| FIGURA 4 - MATERIAIS SEPARADOS PARA O PREPARO DO CONCRETO. ....                          | 31 |
| FIGURA 5 - EXECUÇÃO DO ENSAIO DE ABATIMENTO DO CONCRETO.....                             | 32 |
| FIGURA 6 - CORPOS DE PROVA SENDO MOLDADOS.....   | 34 |
| FIGURA 7 - CPS SENDO COBERTOS POR ÁGUA.....  | 35 |
| FIGURA 8 - BALANÇA HIDROSTÁTICA INSTALADA PARA AS PESAGENS. ....                         | 37 |
| FIGURA 9 - EXECUÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL.<br>.....                | 40 |
| FIGURA 10 - EXECUÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR<br>COMPRESSÃO DIAMETRAL ..... | 41 |
| FIGURA 11 - ABATIMENTO DO CONCRETO COM 2% DE ADIÇÃO .....                                | 45 |
| FIGURA 12 - RESISTÊNCIA MECÂNICA AXIAL MÉDIA .....                                       | 48 |
| FIGURA 13 - ROMPIMENTO DE CP NA COMPRESSÃO AXIAL .....                                   | 49 |
| FIGURA 14 - ROMPIMENTO DE CP NA COMPRESSÃO DIAMETRAL .....                               | 50 |
| FIGURA 15 - RESISTÊNCIA MECÂNICA MÉDIA NA TRAÇÃO.....                                    | 51 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| TABELA 1 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA FIBRA DE COCO .....                        | 15 |
| TABELA 2 - MATERIAL UTILIZADO EM CADA COMPOSIÇÃO.....                                     | 29 |
| TABELA 3 - QUANTIDADE DE CPS POR ADIÇÃO .....   | 34 |
| TABELA 4 - DADOS OBTIDOS NA PESAGEM DAS FIBRAS.....                                       | 42 |
| TABELA 5 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA FIBRA DE COCO.....                                    | 42 |
| TABELA 6 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FIBRAS DE COCO.....                                     | 44 |
| TABELA 7 - RESULTADO DO ABATIMENTO DO CONCRETO .....                                      | 44 |
| TABELA 8 - RESULTADOS CALCULADOS.....   | 46 |
| TABELA 9 - RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA AXIAL.....                         | 48 |
| TABELA 10 - RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR<br>COMPRESSÃO DIAMETRAL ..... | 50 |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>  | <b>12</b> |
| 1.1      | OBJETIVOS  | 13        |
| 1.1.1    | Objetivo Geral   | 13        |
| 1.1.2    | Objetivo Específico  | 13        |
| <b>2</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>   | <b>14</b> |
| 2.1      | CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DE COCO  | 14        |
| 2.2      | CONCRETOS COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE COCO   | 16        |
| 2.3      | PRINCIPAIS PROCEDIMENTOS REALIZADOS NAS FIBRAS PARA APLICAÇÃO EM CONCRETOS                         | 17        |
| 2.4      | BENEFÍCIOS DA ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO EM CONCRETOS   | 19        |
| 2.4.1    | Resistência à tração e flexão  | 19        |
| 2.4.2    | Redução da retração plástica   | 21        |
| 2.4.3    | Retração por secagem   | 21        |
| 2.4.4    | Controle de fissuração   | 22        |
| 2.4.5    | Melhora na resistência ao desgaste, à abrasão e à corrosão   | 23        |
| 2.5      | DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO – ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA (NBR 9778/2009) | 24        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA</b>   | <b>25</b> |
| 3.1      | CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DE COCO  | 26        |
| 3.1.1    | Caracterização física da fibra de coco   | 26        |
| 3.1.2    | Caracterização química da fibra de coco  | 28        |
| 3.2      | EXECUÇÃO DO CONCRETO   | 28        |
| 3.3      | ENSAIO DE ABATIMENTO DO CONCRETO   | 31        |
| 3.4      | MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO  | 33        |
| 3.4.1    | Quantidades de corpos de prova   | 34        |
| 3.4.2    | Procedimento de cura   | 35        |
| 3.5      | DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO – ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA                 | 36        |
| 3.5.1    | Cálculos   | 37        |
| 3.5.1.1  | Absorção   | 38        |
| 3.5.1.2  | Índice de vazios   | 38        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.5.1.3  | Massa específica da amostra seca.....   | 38        |
| 3.5.1.4  | Massa específica da amostra saturada .....  | 38        |
| 3.5.1.5  | Massa específica real.....  | 38        |
| 3.6      | ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E TRAÇÃO POR<br>COMPRESSÃO DIAMETRAL ..... | 39        |
| 3.6.1    | Ensaio de resistência à compressão axial.....                                       | 39        |
| 3.6.2    | Ensaio de resistência à tração por compressão diametral .....                       | 40        |
| <b>4</b> | <b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>  | <b>42</b> |
| 4.1      | CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO .....   | 42        |
| 4.1.1    | Caracterização física da fibra de coco.....   | 42        |
| 4.1.2    | Análise por fluorescência de raio x.....  | 43        |
| 4.2      | CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO – SLUMP TEST.....                              | 44        |
| 4.3      | CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO - ABSORÇÃO DE ÁGUA<br>POR IMERSÃO .....        | 46        |
| 4.4      | CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO - RESISTÊNCIA<br>MECÂNICA .....                | 47        |
| 4.4.1    | Resistência mecânica - compressão axial.....  | 47        |
| 4.4.2    | Resistência mecânica - tração por compressão diametral .....                        | 50        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>   | <b>52</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>54</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A incorporação de fibras sintéticas, de aço, carbono, vidro e outros tipos de fibras ao concreto tem como principal objetivo melhorar suas propriedades mecânicas e de durabilidade. Segundo Cimento Itambé (2010), os principais benefícios da adição de diferentes tipos de fibras em concretos incluem o aumento da resistência à tração, a redução da retração plástica e da retração por secagem, o controle de fissuração e a melhora na resistência ao desgaste, à abrasão e à corrosão. No entanto, a produção de fibras sintéticas e de aço envolve um alto consumo de energia e apresenta consideráveis problemas ambientais.

A preocupação ambiental e a poluição industrial fazem com que a indústria da construção civil busque novas alternativas para o uso das fibras sintéticas e de aço. As fibras naturais, são vistas como uma das melhores alternativas, pois elas são facilmente disponíveis na natureza, são biodegradáveis, mais baratas, não tóxicas, energeticamente eficientes e ecologicamente corretas (Hwang et al., 2016; Gu, 2009).

Segundo Martins e Jesus-Júnior (2011), o Brasil produz 2,8 milhões de toneladas de coco por ano, tornando-se a 4ª potência mundial, com os estados da Bahia e Sergipe se destacando como líderes da produção nacional. No Paraná, a maioria dos cocos consumidos são originários de estados produtores, principalmente da região Nordeste. Essa dinâmica assegura o suprimento constante do mercado paranaense, o qual, mesmo não sendo um grande produtor, demonstra uma demanda crescente por produtos frescos e derivados do coco, tais como água de coco, óleo de coco e leite de coco (Agrolink, 2023).

A venda de coco verde nas praias é uma prática tradicional em regiões litorâneas, e no litoral paranaense não é diferente. No entanto, o descarte muitas vezes ocorre de forma irregular, com cascas sendo deixadas diretamente na areia ou próximas a áreas de circulação sem uma destinação adequada. De acordo com a Agência de Notícias do Paraná (2023), a Sanepar recolhe diariamente cerca de 10 toneladas de resíduos no litoral, incluindo cascas de coco verde, evidenciando a falta de descarte apropriado. O descarte inadequado pode causar poluição visual, contaminação do solo e interferências no ecossistema, afetando diretamente a fauna local e os processos naturais de decomposição.

As fibras naturais, como as fibras de coco, bambu, bananeira e cana-de-açúcar, são abundantes em regiões costeiras. O desenvolvimento de novos materiais

a partir dessas fibras pode fomentar a economia local, aproveitando recursos disponíveis na própria região e reduzindo custos de transporte e extração de materiais distantes. Segundo CropLife Brasil (2023), as fibras naturais apresentam grande versatilidade e são utilizadas em diversas aplicações industriais, oferecendo uma alternativa ecológica a materiais convencionais. A utilização dessas fibras como matéria-prima contribui para a sustentabilidade e redução do impacto ambiental, alinhando-se a estratégias de economia circular.

A fibra que pode ser extraída da casca do coco é um desses exemplos, elas têm propriedades mecânicas muito semelhantes às fibras sintéticas. Diferentes pesquisas revelam que as fibras de coco têm excelentes propriedades físicas e mecânicas (Abdullah *et al.*, 2011; Hwang, *et al.*, 2016).

Além disso, a fibra de coco é amplamente utilizada em diversas aplicações na construção civil, como em placas, materiais de cobertura, concreto, argamassa e outros componentes de construção (Lertwattanaruk e Suntijitto, 2015; Asasutjarit *et al.*, 2007; Ali *et al.*, 2012).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a resistência mecânica e o desempenho do concreto reforçado com fibras de coco provenientes do comércio local do litoral do Paraná, comparando-o com concretos convencionais e contribuindo com subsídios para futuras discussões sobre sua aplicação na construção civil.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização físico-química da fibra de coco através dos ensaios de absorção de água e composição química por fluorescência de raios X (FRX).
- Avaliar o comportamento do concreto reforçado com diferentes porcentagens de fibra de coco, no estado fresco do concreto, através da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

- Determinar a absorção de água por imersão - índice de vazios e massa específica dos concretos com incorporação de fibra de coco com 0%, 0,5% e 2%.
- Verificar a influência da incorporação de fibra de coco, nas propriedades mecânicas do concreto de resistência à compressão axial e tração por compressão diametral.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A utilização de fibras de coco em concreto vem ganhando destaque nos últimos anos como uma alternativa sustentável e eficiente para melhorar as propriedades mecânicas do material. Segundo Brazilian Journals (2023), pesquisas indicam que a adição de fibras de coco pode aumentar a resistência à tração, controlar fissuras e melhorar a durabilidade do concreto. Além disso, a fibra de coco, abundante em regiões litorâneas, é uma fonte renovável e de baixo custo, contribuindo para a redução do consumo de materiais convencionais e o aproveitamento de resíduos agroindustriais (Ecoeponto, 2023). Esse reforço natural tem sido investigado como uma solução promissora, especialmente em obras que buscam maior sustentabilidade e desempenho técnico (Portal Sustentabilidade, 2024).

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS FIBRAS DE COCO

Conforme Ali (2011), as fibras de coco são compostas por um material anti-inflamável, com ação retardadora de chamas e não absorvem umidade. Elas são caracterizadas por sua capacidade de não se deformar e são consideradas as mais dúcteis entre as fibras naturais. Além disso, conferem uma boa resistência à tração e compressão quando adicionadas a matrizes cimentícias, embora seja necessário realizar mais estudos sobre seu uso em elementos estruturais. As fibras de coco consistem principalmente em celulose, hemicelulose e lignina, e apresentam as seguintes características: são robustas, resistente, possuem baixa condutividade térmica, excelente desempenho como isolante termoacústico e resistência a fungos e bactérias. De acordo com diversos autores, a fibra de coco possui características variáveis, conforme apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físicas e mecânicas da fibra de coco

| Propriedade                           | Savastano Jr.<br>(1997) | Oliveira<br>(2007) | Morais et al.<br>(2016) | Silva e Lima<br>(2018) |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|
| Massa específica (kg/m <sup>3</sup> ) | 1177                    | 1200               | 1150                    | 1100 - 1200            |
| Absorção máxima (%)                   | 93,8                    | 93,8               | 85                      | 80 - 90                |
| Alongamento na ruptura (mm)           | 23,9 - 51,4             | 21                 | 30 - 40                 | 35                     |
| Resistência à tração (MPa)            | 95 - 118                | 142                | 131 - 175               | 120 - 180              |
| Módulo de Elasticidade (GPa)          | 2,8                     | -                  | 4 - 6                   | 3,5 - 5,5              |

Fonte: Adaptado de Savastano Jr.,(1997); Oliveira,(2007); Morais et al. (2016); Silva e Lima (2018).

A densidade específica da fibra de coco, compreendida entre 1.100 e 1.200 kg/m<sup>3</sup>, é um parâmetro essencial que impacta a densidade final do concreto. A fibra de coco apresenta uma leveza relativa em comparação com outros materiais de reforço, o que se mostra vantajoso em aplicações que requerem a redução de peso. Essa propriedade é especialmente benéfica em estruturas que demandam uma avaliação minuciosa da carga, como edificações localizadas em áreas com capacidade de suporte restrita (Morais *et al.*, 2016; Silva e Lima, 2018). A densidade específica é um fator que influencia a trabalhabilidade do concreto, uma vez que fibras mais leves podem contribuir para a homogeneidade da mistura.

A absorção máxima de até 93,8% apresentada pelas fibras de coco é uma consideração relevante ao incorporá-las no concreto. A elevada taxa de absorção pode requerer modificações na quantidade de água empregada na mistura, uma vez que as fibras podem concorrer por água com os demais componentes do concreto, tais como cimento e agregados.

O alongamento na ruptura, que varia de 21 a 51,4 mm, é uma medida da flexibilidade da fibra de coco. Essa característica é fundamental para a performance do concreto, uma vez que as fibras desempenham um papel de reforço, absorvendo e dispersando as tensões durante a aplicação de carga. Uma fibra com alta capacidade de alongação pode contribuir para o aumento da tenacidade do concreto, promovendo maior resistência à formação de fissuras. Esta característica é particularmente importante em aplicações sujeitas a tensões dinâmicas ou ciclos de carga, como em pavimentos e estruturas expostas a movimentações (Santos e Oliveira, 2019; Costa e Pereira, 2020).

As fibras de coco demonstram uma resistência à tração que pode chegar a até 180 MPa, tornando-as competitivas em relação a outras fibras naturais. A resistência mencionada é essencial para assegurar a preservação da integridade do concreto reforçado diante de cargas aplicadas, sobretudo em cenários nos quais a

estrutura está submetida a forças de tração. A adição de fibras de coco pode aprimorar a durabilidade e a resistência à fadiga do concreto (Morais *et al.*, 2016; Gomes e Ribeiro, 2021).

O módulo de elasticidade das fibras de coco, com variação de 2,8 a 6 GPa, reflete a rigidez dessas fibras. Um módulo de elasticidade mais elevado indica uma maior capacidade das fibras em transferir cargas, o que é fundamental para a eficiência global do concreto. A junção da resistência à tração com um módulo de elasticidade apropriado auxilia na diminuição da deformação sob carga e na prevenção de fissuras. Essa característica é fundamental em aplicações estruturais, nas quais a manutenção da integridade e estabilidade a longo prazo é essencial (Silva e Oliveira, 2020; Carvalho e Mendes, 2020).

## 2.2 CONCRETOS COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE COCO

De acordo com a pesquisa conduzida por Marchi, Souza e Dutra (2024), a inclusão de 1% de fibra de coco no concreto resultou em um acréscimo de aproximadamente 30% na resistência à tração e 23,2% na resistência à elasticidade. As fibras foram uniformemente distribuídas na matriz do concreto, funcionando como pequenas pontes de ligação, o que resultou na melhoria das propriedades mecânicas. Além disso, as fibras demonstraram uma elevada taxa de absorção de água, aproximadamente 78,4%, reduzindo a necessidade de pré-umedecê-las para evitar impactos na mistura do concreto. Uma análise microscópica realizada no estudo demonstrou que a adição de 1% de fibra de coco resultou em uma distribuição uniforme, evitando aglomerações que poderiam prejudicar a resistência do material (Marchi, Souza e Dutra, 2024).

Os resultados obtidos por Antonio *et al.*, (2019) mostram que a adição de até 5% de fibra de coco ao concreto pode aumentar a resistência à compressão em até 15%, sem comprometer significativamente outras propriedades como a trabalhabilidade. No entanto, a absorção de água também aumenta, o que pode ser um fator limitante para certas aplicações.

Pesquisas apontam que a incorporação de fibras de coco pode potencializar a resistência à tração e compressão do concreto, e aprimorar sua tenacidade. A pesquisa de Fiorentin *et al.*, (2023) investigou três formulações de concreto: sem fibra, com fibras de coco de tamanho não definido e com fibras de 25 mm. Os resultados

indicaram que o concreto com fibras de tamanho não definido apresentou maior resistência, ao passo que o concreto com fibras de 25 mm demonstrou desempenho inferior em relação ao concreto sem fibras.

Com base no estudo de Silva *et al.*, (2015) sobre a utilização de fibras de coco em compostos cimentícios, os resultados indicaram que a adição dessas fibras ao concreto resultou em um aumento da resistência à compressão, sendo observado um incremento de até 7,10% em relação ao concreto sem adição de fibras. Ademais, em relação às argamassas com fibras de coco de 25 mm, observou-se um aumento de 7,10% na resistência à elasticidade, ao passo que para as fibras de 50 mm, verificou-se uma diminuição de 1,01%. O estudo também indicou que a incorporação de fibras de coco pode ser favorável por promover a absorção de água, o que contribui positivamente para a resistência do concreto. Estes resultados demonstram a eficácia da utilização de fibra de coco como material de reforço, ressaltando seus benefícios ambientais, tais como a diminuição da extração de recursos naturais e da emissão de CO<sub>2</sub>.

Bastos (2019) realizou um estudo sobre o impacto da adição de fibras de coco ao concreto, observando resultados positivos na melhoria das propriedades mecânicas do compósito. Conforme os experimentos realizados, a adição de 1% de fibras de coco em relação à massa de cimento resultou em um incremento de aproximadamente 15% na resistência à tração e uma melhoria na capacidade de controle de fissuras. Isso se deve principalmente à função das fibras como reforço, absorvendo tensões e retardando a propagação de fissuras no concreto. Ademais, a inclusão das fibras resultou em um aumento de aproximadamente 20% na tenacidade e de 25% na ductilidade do concreto, conferindo-lhe maior resistência a impactos e deformações. No entanto, Bastos também indicou que a inclusão de fibras naturais acima de 2% afeta a trabalhabilidade da mistura, sendo fundamental um equilíbrio adequado para alcançar os benefícios desejados sem prejudicar a aplicabilidade do concreto.

### 2.3 PRINCIPAIS PROCEDIMENTOS REALIZADOS NAS FIBRAS PARA APLICAÇÃO EM CONCRETOS

A incorporação de fibras no concreto demanda cuidado no processo de mistura para assegurar uma distribuição uniforme das fibras. A mistura inadequada

pode resultar na aglomeração de fibras, o que diminui a eficácia do concreto e cria pontos fracos em sua estrutura. Normalmente, as fibras são incorporadas após a mistura dos agregados e do cimento, sendo aconselhável realizar uma segunda etapa de mistura com um tempo adicional para garantir uma boa homogeneidade (Silva *et al.*, 2012).

A quantidade de fibras adicionada ao concreto deve ser cuidadosamente controlada para não afetar a trabalhabilidade da mistura. A quantidade de fibras a ser utilizada varia de acordo com o tipo da fibra e as propriedades desejadas no concreto. A presença de quantidades elevadas de fibra no concreto fresco pode resultar na redução da trabalhabilidade e coesão do material, dificultando os processos de lançamento e adensamento. Estudos demonstram que dosagens de 0,5% a 2% em relação à massa de cimento são frequentemente empregadas para melhorar a resistência à tração e o controle de fissuração no concreto, sem comprometer substancialmente sua trabalhabilidade (Bastos, 2019).

Devido à sua natureza orgânica, as fibras naturais podem exibir desafios de compatibilidade com a matriz de cimento devido às suas superfícies hidrofílicas, o que pode afetar a aderência ao concreto. Além disso, é possível que ocorram questões relacionadas à decomposição ao longo do tempo devido à presença de substâncias orgânicas (Savastano *et al.*, 2000). Para mitigar tais problemas, procedimentos químicos, tais como a utilização de soluções alcalinas ou ácidas para lavagem das fibras, são frequentemente empregados. Estes procedimentos eliminam impurezas, diminuindo a absorção de água das fibras e aumentando a aderência das fibras com a matriz cimentícia (Oliveira, 2007).

Outro aspecto importante a considerar é a seleção do tamanho das fibras. Fibras longas contribuem para um desempenho superior no controle de fissuras, uma vez que aumentam a resistência à tração e a ductilidade do concreto. No entanto, a utilização de fibras longas pode impactar negativamente a trabalhabilidade e complicar o processo de mistura. Portanto, é comum a seleção de fibras com diferentes tamanhos ou o corte de fibras longas para facilitar a manipulação e a homogeneização (Savastano *et al.*, 2000).

Por se tratar de um material natural, as fibras vegetais requerem cuidados especiais de armazenamento a fim de prevenir a degradação antes da utilização. Recomenda-se que as peças sejam armazenadas em locais secos e protegidos da luz solar direta, a fim de evitar a exposição à umidade excessiva, que pode

comprometer suas propriedades físicas e mecânicas. A deterioração das fibras antes da sua incorporação no concreto pode impactar negativamente a qualidade e a durabilidade do compósito (Oliveira, 2007).

## 2.4 BENEFÍCIOS DA ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO EM CONCRETOS

### 2.4.1 Resistência à tração e flexão

A resistência à tração e flexão são propriedades essenciais para o desempenho estrutural do concreto, sobretudo em elementos sujeitos a cargas que geram tensões de tração, como vigas, lajes e pavimentos. Apesar de o concreto possuir alta resistência à compressão, sua resistência à tração é relativamente baixa, o que o torna suscetível ao surgimento de fissuras (Mehta; Monteiro, 2014). Isso ocorre devido à natureza frágil da matriz cimentícia, que, ao ser submetida a esforços de tração, tende a romper-se facilmente, limitando a capacidade estrutural do material (Neville, 1997).

A resistência à tração do concreto é responsável pela capacidade do material de resistir a forças que tentam alongá-lo. Essa característica, apesar de sua menor magnitude em comparação à resistência à compressão, desempenha um papel crítico na integridade estrutural, uma vez que tensões de tração são induzidas em várias condições de carregamento, incluindo flexão e cargas dinâmicas. De acordo com Neville (1997), a resistência à tração do concreto não reforçado normalmente varia entre 8% e 15% de sua resistência à compressão. Essa baixa resistência à tração é uma das razões pelas quais o concreto é frequentemente reforçado com armaduras de aço, que suportam as tensões de tração.

Existem métodos de ensaio específicos para determinar a resistência à tração do concreto, incluindo o ensaio de tração direta, o ensaio de compressão diametral (ou de tração por compressão diametral) e o ensaio de tração na flexão. Dentre estes, o ensaio de compressão diametral, também conhecido como "ensaio brasileiro", é amplamente empregado devido à sua simplicidade e à facilidade de execução em corpos de prova cilíndricos (SOUZA; CARVALHO, 2020).

A resistência à flexão, também conhecida como módulo de ruptura, é outra propriedade significativa que indica a capacidade do concreto de resistir à formação de fissuras quando submetido a cargas que geram esforços de flexão. Esse parâmetro

é essencial para a análise e o dimensionamento de pavimentos de concreto e elementos estruturais esbeltos, como lajes e vigas, nos quais a flexão é o principal comportamento predominante. Conforme Lima et al. (2021), a resistência à flexão do concreto está diretamente relacionada à resistência à tração, uma vez que as tensões de flexão geram esforços de tração na fibra inferior de uma viga carregada.

Ensaio de resistência à flexão são realizados em corpos de prova prismáticos, geralmente através de um ensaio de flexão em três ou quatro pontos, onde o concreto é submetido a uma carga centrada até que ocorra a ruptura. Este ensaio permite a determinação do módulo de ruptura, um parâmetro utilizado para avaliar a resistência do concreto em estruturas sujeitas a esforços de flexão, indicando a capacidade do material de suportar cargas sem a formação de fissuras significativas (Ferreira; Costa, 2019).

O aprimoramento das propriedades de tração e flexão no concreto é um dos principais desafios da engenharia de materiais e pode ser alcançado com a introdução de fibras, como fibras de aço, vidro, polipropileno e naturais (Melo et al., 2020). As fibras dispersas no concreto funcionam como micro reforços que inibem a propagação de fissuras, absorvem tensões e aumentam a capacidade de deformação do concreto sob cargas de tração e flexão, resultando em maior resistência e durabilidade do material (Oliveira; Santos, 2021).

A utilização de aditivos e tratamentos superficiais nos agregados, juntamente com a otimização da relação água/cimento, é também significativa para a melhoria da resistência à tração e flexão. Isso ocorre devido à presença de uma matriz cimentícia mais coesa e menos porosa, o que contribui para uma melhor transferência de tensões entre os agregados e a pasta cimentícia (Neville, 1997).

A incorporação de fibras em concretos tem sido um campo de pesquisa amplamente explorado, impulsionado por esforços contínuos para melhorar as propriedades físicas e mecânicas desses materiais de construção. Autores como Mindess, Young, e Darwin (2003) destacam que a adição de fibras ao concreto pode efetivamente controlar a fissuração e melhorar a tenacidade, resistência à tração e durabilidade do material.

As fibras de coco atuam como reforços naturais, promovendo a redistribuição de tensões na matriz cimentícia, o que resulta em um material mais resistente a rachaduras e fissuras. Além disso, a pesquisa conduzida por Mohd Saman et al., (2018) ressalta a influência positiva da fibra de coco na resistência à compressão e

tração do concreto. Os resultados indicam que a incorporação de fibras de coco pode melhorar significativamente a capacidade do concreto de resistir às cargas aplicadas, tornando-se uma alternativa promissora em comparação com concretos convencionais. Esse tipo de reforço auxilia na redução da propagação de fissuras, especialmente em situações de carga onde o concreto está sujeito a tensões de tração e flexão, como em lajes e elementos estruturais expostos a cargas dinâmicas.

#### 2.4.2 Redução da retração plástica

A incorporação de fibras de coco no concreto auxilia na diminuição da retração plástica, um fenômeno frequente durante as fases iniciais de cura do material. A retração plástica é ocasionada pela rápida evaporação da água da superfície do concreto fresco, principalmente em condições de clima seco e ventoso, o que pode resultar no surgimento de fissuras superficiais (Carvalho e Silva, 2020).

As fibras de coco atuam como micro reforços que auxiliam na distribuição das tensões internas e na restrição do desenvolvimento de fissuras provocadas pela retração plástica (Santos et al., 2019). Devido à sua natureza naturalmente porosa, as fibras absorvem e liberam a umidade de forma gradual, o que promove uma secagem mais uniforme. Isso auxilia na manutenção da coesão da matriz cimentícia durante o processo de cura inicial, reduzindo a formação de fissuras superficiais e aumentando a durabilidade do concreto (Lima, 2021).

#### 2.4.3 Retração por secagem

A retração por secagem é um fenômeno de redução de volume que ocorre no concreto endurecido devido à perda de umidade para o ambiente. A retração desse tipo é tipicamente gradual e aumenta à medida que o concreto perde água de sua matriz cimentícia ao longo do tempo, sobretudo quando exposto a condições ambientais secas e quentes (Mehta; Monteiro, 2014). A retração por secagem é de particular importância em estruturas de concreto armado, onde o surgimento de fissuras pode afetar a durabilidade e o desempenho estrutural.

A retração por secagem está relacionada ao processo de evaporação da água retida nos poros do concreto. Este processo provoca tensões internas devido à rápida evaporação da água superficial e à liberação lenta da água no interior do concreto.

Como consequência, ocorre a diminuição do volume, o que, em diversos casos, resulta na formação de fissuras, comprometendo a estanqueidade e a durabilidade da estrutura (Neville, 1997). Segundo Souza et al. (2019), as fissuras por retração, quando não controladas, criam caminhos preferenciais para a entrada de agentes agressivos, como íons cloreto e sulfato, que aceleram a corrosão das armaduras e reduzem a vida útil da estrutura.

Diversos fatores influenciam a retração por secagem do concreto, incluindo o tipo e a quantidade de cimento, a relação água/cimento, a presença de aditivos e a granulometria dos agregados (Helmuth et al., 1995). Concretos com elevado teor de cimento e baixa relação água/cimento têm maior propensão a exibir maior retração, devido à diminuição da quantidade de água e ao aumento da densidade da pasta de cimento. Além disso, a utilização de agregados com baixo módulo de elasticidade e alta absorção de água pode agravar a retração (Carvalho et al., 2021).

A redução da retração por secagem é tema de estudo em várias pesquisas e inclui, entre outras estratégias, o emprego de fibras, como fibras sintéticas ou vegetais, que contribuem para a diminuição da formação de fissuras. Conforme Santos e Oliveira (2020), a inclusão de fibras de coco no concreto resulta na diminuição da retração por secagem, devido à capacidade das fibras em distribuir as tensões internas e retardar a evaporação da água superficial. Assim, as fibras podem representar uma alternativa eficaz para mitigar a retração em concretos sujeitos a condições ambientais adversas.

#### 2.4.4 Controle de fissuração

A fissuração no concreto é um fenômeno comum e esperado devido à natureza do material e às suas condições de exposição. Fissuras podem surgir devido a diversas causas, tais como retração plástica e de secagem, movimentação térmica, cargas externas e efeitos de fluência (Mehta; Monteiro, 2014). O controle da fissuração é fundamental para assegurar a durabilidade, segurança e estética de estruturas de concreto, visto que as fissuras podem comprometer a resistência e permitir a entrada de agentes agressivos, acelerando a degradação do concreto e a corrosão das armaduras (Neville, 1997).

Fissuras podem ser categorizadas como estruturais ou não estruturais. Fissuras estruturais são causadas por tensões excessivas devido a carregamentos

que excedem a resistência do concreto, ao passo que fissuras não estruturais são decorrentes de retração, variações térmicas e movimentação do concreto no estado endurecido (Souza; Carvalho, 2019). As fissuras por retração plástica, por exemplo, surgem durante a fase inicial de cura do concreto devido à rápida perda de água, especialmente em condições climáticas quentes e secas (Santos; Oliveira, 2020).

Para evitar e controlar a fissuração, é essencial compreender as causas e adotar medidas desde a fase de projeto, durante a execução e na seleção dos materiais. Diversos fatores influenciam o controle da fissuração, incluindo a proporção água/cimento, a utilização de aditivos redutores de retração e a incorporação de fibras. Diferentes estratégias podem ser empregadas para gerenciar a fissuração em estruturas de concreto, tais como a implementação de juntas de controle, aditivos e o uso de fibras. As juntas de controle direcionam de forma planejada a ocorrência de fissuras, prevenindo sua dispersão aleatória na estrutura. A utilização de aditivos redutores de retração, tais como aditivos à base de polímeros, contribui para a diminuição do volume de retração do concreto e, portanto, no controle da fissuração superficial (Oliveira; Santos, 2018).

O emprego de fibras é uma outra técnica eficaz para o controle da fissuração, uma vez que atuam como micro reforços que distribuem as tensões internas do concreto e evitam a propagação das fissuras (Ferreira; Costa, 2021). Estudos demonstram que fibras vegetais, como as de coco, ou fibras sintéticas, como o polipropileno, são eficazes na redução das fissuras causadas pela retração, atuando como reforços dispersos que absorvem as tensões internas (Lima *et al.*, 2020). As fibras, além de diminuir a fissuração, incrementam a tenacidade do concreto, proporcionando maior resistência a esforços de tração.

A durabilidade das estruturas de concreto está intimamente relacionada ao controle da fissuração. Fissuras podem permitir a entrada de agentes agressivos, tais como cloretos e sulfatos, os quais deterioram as armaduras e diminuem a durabilidade da estrutura (Bastos; Pereira, 2017). É imprescindível utilizar práticas de controle de fissuração para assegurar a estanqueidade e aumentar a durabilidade da estrutura.

#### 2.4.5 Melhora na resistência ao desgaste, à abrasão e à corrosão

No contexto específico da fibra de coco, estudos anteriores fornecem *insights* valiosos sobre seus efeitos no desempenho do concreto. Segundo Silva *et al.*, (2015),

a fibra de coco, devido à sua natureza fibrosa e características mecânicas, tem o potencial de atuar como um reforço eficaz, contribuindo para a resistência e durabilidade do concreto.

A adição de fibras de coco no concreto resulta em melhorias significativas na resistência ao desgaste, abrasão e corrosão, o que o torna uma opção mais durável e resistente para uso em ambientes desfavoráveis. Estudos demonstram que as fibras naturais, como a de coco, têm o potencial de aumentar a tenacidade e a capacidade de absorção de energia do concreto, resultando em uma menor taxa de desgaste e em uma resistência aprimorada à abrasão (Silva et al., 2019). Ademais, a inclusão de fibras de coco reduz a porosidade da matriz cimentícia, diminuindo a absorção de água e limitando a penetração de agentes corrosivos, tais como cloretos e sulfatos, que são responsáveis pela corrosão das armaduras internas (Oliveira e Costa, 2020).

Em contextos marinhos, essa característica é especialmente benéfica, uma vez que inibe a corrosão e promove a longevidade da estrutura com o passar do tempo (Ferreira, 2021). Portanto, o concreto reforçado com fibra de coco não apenas apresenta maior resistência ao desgaste e à abrasão, mas também proporciona uma proteção adicional contra a deterioração causada pela corrosão.

## 2.5 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO – ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA (NBR 9778/2009)

A determinação da absorção de água por imersão, juntamente com a análise do índice de vazios e da massa específica, é um procedimento fundamental na caracterização de materiais empregados na construção civil, tais como concretos, argamassas e cerâmicas. De acordo com a norma NBR 9778 (ABNT, 2009), tais análises apresentam dados essenciais acerca das características físicas e mecânicas dos materiais, com influência direta em sua durabilidade e desempenho.

A norma NBR 9778 (ABNT, 2009) tem como objetivo estabelecer diretrizes para a medição da absorção de água por imersão, possibilitando a determinação do índice de vazios e da massa específica dos materiais. Essas características são essenciais para a avaliação da porosidade e da permeabilidade, as quais têm impacto na resistência ao desgaste, durabilidade e capacidade de suporte de estruturas construídas.

A absorção de água é um parâmetro significativo que indica a capacidade do material de reter umidade. Essa característica é definida pela discrepância de peso do material antes e depois da imersão em água. A taxa de absorção é determinada em relação ao peso seco do material, possibilitando a análise da sua porosidade (De Souza; Campo, 2012). Materiais com elevada capacidade de absorção são mais propensos a sofrer danos, como deterioração devido ao ciclo de congelamento e descongelamento, o que pode afetar a integridade estrutural ao longo do tempo (Andrade, 2008).

O índice de vazios é uma medida que expressa a proporção entre o volume dos vazios presentes no material e o volume total. Essa propriedade é essencial para a compreensão do comportamento do material em ambientes de umidade. Um elevado número de vazios pode indicar uma maior capacidade de absorção de água, o que pode impactar de forma negativa na durabilidade do concreto (Martins; Jesus-Júnior, 2011). O cálculo do índice de vazios é realizado com base nas medições de massa específica e absorção de água, possibilitando uma análise abrangente das propriedades do material.

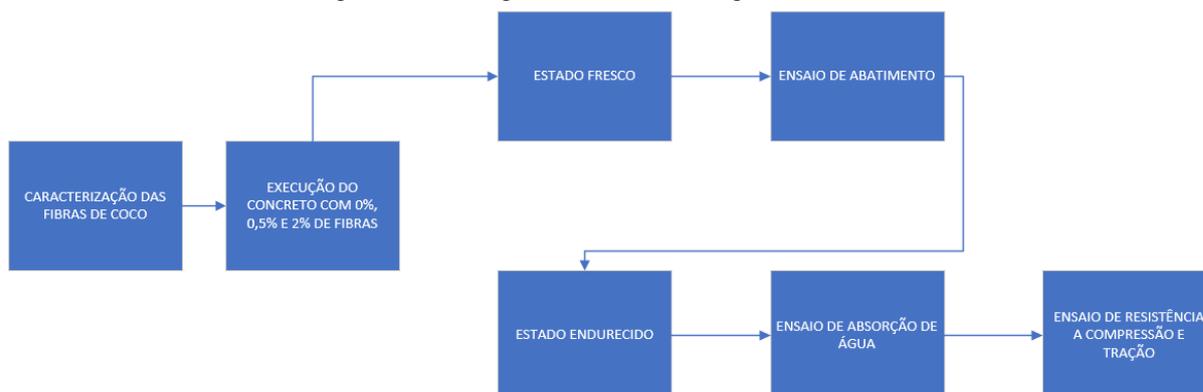
A massa específica é uma característica que determina a densidade de um material e é um elemento-chave na avaliação de seu desempenho em aplicações estruturais. A análise da densidade de um material é conduzida através da medição do peso do material em ambientes secos e submersos, empregando o princípio de Arquimedes. Materiais com alta densidade tendem a exibir maior resistência e longevidade (Kerber; Roman, 1994).

### **3 METODOLOGIA**

Este capítulo apresenta a metodologia adotada para investigar o uso de fibras de coco como adição em concretos convencionais, aquele composto por cimento, água, agregados miúdos e graúdos, sem a adição de materiais alternativos ou reforços especiais. O estudo visa avaliar os efeitos da incorporação dessas fibras naturais nas propriedades mecânicas, físicas e químicas no concreto. Para tanto, serão detalhados os procedimentos de preparação e caracterização das fibras de coco, além da definição das proporções adequadas para sua mistura ao concreto. Serão descritas também as etapas de fabricação dos corpos de prova, os métodos de ensaio utilizados para analisar o comportamento do material e os critérios de análise

dos resultados obtidos. Todas as etapas executadas podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia do trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DE COCO

#### 3.1.1 Caracterização física da fibra de coco

A caracterização física das fibras de coco foi conduzida para determinar suas propriedades essenciais que influenciam seu desempenho como reforço no concreto. Inicialmente, as fibras de coco foram adquiridas no comércio de Pontal do Paraná-PR. Optou-se por utilizar fibras de coco em estado natural, sem tamanho pré-definido, para a determinação do comprimento e diâmetro delas. A decisão foi tomada com base na necessidade de avaliar o comportamento intrínseco das fibras locais, levando em consideração suas características originais, tais como forma, textura e irregularidades. A escolha por fibras sem cortes padronizados é baseada nas sugestões de estudos como os conduzidos por Silva et al. (2012), onde a análise das fibras em seu estado natural é crucial para a compreensão de suas propriedades físicas e sua interação com a matriz cimentícia. Essa metodologia viabiliza a obtenção de dados mais representativos das condições reais de utilização de fibras em compósitos de cimento.

Figura 2 - Fibras de coco



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para determinar o teor de umidade, uma amostra de fibras foi pesada antes e depois de passar por secagem em estufa a 105 °C por 24 horas, conforme metodologia adaptada da NBR 16968:2021 - Biomateriais - Diretrizes para utilização em sistemas estruturais na construção civil. O teor de umidade foi calculado pela equação 1 como:

$$U = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

onde:

$U$  é o teor de umidade (%);

$m_i$  é a massa inicial (g);

$m_f$  é a massa final (g).

A absorção de água foi determinada submergindo uma amostra seca em água por 24 horas e pesando-a antes e depois da imersão. A absorção foi calculada pela fórmula:

$$A = \frac{(m_s - m_d)}{m_d} \times 100 \quad (2)$$

onde:

$A$  é a absorção de água (%);

$m_s$  é a massa saturada (g);

$m_d$  é a massa seca (g).

### 3.1.2 Caracterização química da fibra de coco

A caracterização química da fibra de coco se deu através do ensaio de Fluorescência de raios-X (FRX).

De acordo com a norma da NBR 10004 (ABNT, 2004) que oferece orientações sobre a análise de materiais, a amostra de fibra de coco foi coletada e preparada para a análise. A amostra foi submetida à secagem em estufa a uma temperatura controlada, com o objetivo de remover a umidade e assegurar a acurácia dos resultados. Após a secagem, a fibra foi moída até obter um pó fino, o qual foi utilizado para análise por FRX.

A análise química semiquantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios X foi realizada com o auxílio do equipamento Espectrômetro PANalytical Axios Max, no laboratório de análise de Minerais e Rochas da UFPR (LAMIR). Durante o procedimento, o pó da fibra de coco foi sujeito à exposição de raios-X, os componentes químicos da amostra emitiram radiação característica, a qual foi identificada e registrada pelo sistema. O espectro resultante possibilitou a análise qualitativa e quantitativa dos componentes químicos presentes na fibra, tais como celulose, hemicelulose, lignina e minerais.

## 3.2 EXECUÇÃO DO CONCRETO

O concreto foi preparado seguindo os procedimentos da NBR 12655 (ABNT, 2021) Concreto – Preparo, controle e recebimento. Primeiramente, foram selecionados os materiais principais: cimento, água, agregado miúdo (areia), agregados graúdos (brita e pedrisco), fibra de coco e aditivo plastificante, garantindo que todos os componentes estivessem em conformidade com as especificações normativas.

Foi selecionado o traço 1:2,3:2,9:0,5 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: água) para a elaboração dos concretos. Foram realizadas três formulações distintas: a primeira sem a incorporação de fibra de coco, a segunda com 0,5% de fibras em relação à massa de cimento, e a terceira com 2% de fibras também em relação à massa de cimento. A Tabela 2 exibe a quantidade de massa utilizada em

cada mistura, juntamente com as proporções de agregados graúdos, agregados miúdos e água para cada cenário.

Tabela 2 - Material utilizado em cada composição.

| TRAÇO | CIMENTO | AREIA | BRITA | PEDRISCO | ÁGUA | FIBRA     | ADITIVO |
|-------|---------|-------|-------|----------|------|-----------|---------|
|       | (KG)    | (KG)  | (KG)  | (KG)     |      |           |         |
| -     | 1       | 2,3   | 1,45  | 1,45     | 0,5  | Massa(kg) | 0,5     |
| 0%    | 7       | 16,1  | 10,15 | 10,15    | 3,5  | -         | 35ml    |
| 0,5%  | 7       | 16,1  | 10,15 | 10,15    | 3,5  | 35g       | 35ml    |
| 2%    | 7       | 16,1  | 10,15 | 10,15    | 3,5  | 140g      | 35ml    |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Os concretos foram produzidos utilizando cimento CII-Z-32, seguindo as especificações da norma NBR 16697 (ABNT, 2018). O cimento CII-Z-32 foi escolhido para o trabalho devido à sua ampla disponibilidade nas lojas de materiais de construção da região.

Os agregados miúdos e graúdos foram adquiridos de um material de construção local visando promover o uso de recursos da região, o que contribui para que as características dos materiais representem fielmente as condições geológicas locais.

A água utilizada é proveniente do abastecimento fornecido pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). A norma NBR 15900 (ABNT, 2009) - Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos, autoriza a utilização de água proveniente do sistema público de abastecimento sem a obrigação de realização de ensaios.

As fibras naturais utilizadas como reforço foram adquiridas no comércio local de Pontal do Paraná, Paraná. Para este estudo, foram empregadas fibras de diferentes comprimentos, sem uniformidade de dimensões. Além disso, as fibras foram incorporadas sem passar por tratamentos químicos prévios.

O aditivo utilizado foi um superplastificante fornecido pela empresa Concrebras. O uso de um aditivo superplastificante foi adotado para aumentar a trabalhabilidade do concreto sem a necessidade de adicionar mais água, preservando assim sua resistência final.

A mistura inicial dos materiais foi feita em betoneira com a capacidade de 150 litros, adicionando-se os agregados graúdos primeiro, seguidos pelo cimento, a água

e o aditivo, incorporou-se então a areia garantindo a uniformidade da mistura, o tempo de mistura variou entre 3 e 5 minutos, conforme recomendação da NBR 12655 (ABNT, 2022). A betoneira utilizada está apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Preparo do concreto na betoneira.



Fonte: O autor (2024).

O procedimento foi análogo aos corpos de prova com 0,5% e 2,0% de fibra. As fibras foram saturadas em água cerca de 15 minutos antes da utilização para evitar que absorvam a água de amassamento durante a mistura do concreto. Esse procedimento garante que a água disponível seja utilizada apenas para a hidratação do cimento, preservando a trabalhabilidade e a resistência do concreto, além de assegurar uma distribuição mais eficiente das fibras na matriz. Após saturadas por 15 minutos as fibras foram incorporadas ao concreto imediatamente após a conclusão da mistura inicial. Em seguida, a mistura foi submetida a um novo ciclo de mistura, com duração aproximada de 1 minuto, para garantir uma distribuição uniforme das fibras no concreto. Na Figura 4 é possível observar os materiais devidamente separados para a execução do concreto.

Figura 4 - Materiais separados para o preparo do concreto.



Fonte: O autor (2024).

A separação dos insumos foi realizada com o auxílio de uma balança de alta precisão, garantindo a exatidão nas quantidades necessárias para o experimento. Para este propósito, utilizou-se a balança disponível no laboratório de materiais de construção do Centro de Estudos do Mar (CEM-UFPR). Trata-se do modelo BEL Engineering KL 32001, uma balança de precisão com capacidade máxima de pesagem de 32.000 g (32 kg) e resolução de 0,1 g, o que assegura a detecção de variações mínimas de 0,1 g, atendendo às exigências de precisão do procedimento experimental.

### 3.3 ENSAIO DE ABATIMENTO DO CONCRETO

O teste de abatimento do concreto, também chamado de “*Slump test*”, foi conduzido de acordo com as normas estabelecidas pela NBR 16889:2020, visando avaliar a consistência e a trabalhabilidade do concreto fresco. Este procedimento é fundamental para avaliar a fluidez do concreto e garantir sua conformidade com as especificações técnicas de projeto, evitando possíveis problemas de aplicação, como segregação, exsudação ou complicações durante a colocação e compactação. Além disso, os resultados obtidos possibilitam a previsão do desempenho estrutural e da durabilidade do concreto ao longo do tempo.

Para a execução do ensaio, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: concreto fresco preparado para o teste; um molde troncocônico com dimensões de 300 mm de altura, 200 mm de diâmetro na base maior e 100 mm na base menor; uma haste de compactação de aço com 16 mm de diâmetro, 600 mm de

comprimento e extremidades arredondadas; e uma superfície plana e não absorvente, levemente umedecida para evitar a aderência do concreto ao molde durante o ensaio.

O procedimento teve início com a centralização do molde tronco de cone sobre a superfície preparada, assegurando sua estabilidade. O concreto foi colocado no molde em três camadas de volumes aproximadamente equivalentes. Cada camada foi compactada por meio de 25 golpes uniformemente distribuídos da haste de compactação, com o intuito de eliminar bolhas de ar e assegurar a homogeneidade do concreto. Após a aplicação da terceira camada, a superfície foi nivelada minuciosamente com o intuito de evitar qualquer compactação adicional.

O molde foi removido verticalmente, de forma contínua e sem interrupções, em cerca de cinco segundos, permitindo que o concreto se deformasse livremente. Posteriormente, a altura da amostra deformada foi medida com uma régua e comparada com a altura inicial do molde, que é de 300 mm. A discrepância entre essas alturas foi catalogada como o desconto do concreto. A análise dos resultados é fundamental para identificar eventuais desvios na composição do concreto, tais como proporções inadequadas de água ou materiais, e assegurar a qualidade e o desempenho desejados.

Figura 5 - Execução do ensaio de abatimento do concreto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 5 ilustra a compactação das camadas de concreto durante o teste de abatimento, conforme descrito na norma NBR 16889 (ABNT, 2020). A imagem destaca o processo de compactação, realizado por uma haste de extremidades

arredondadas, para adensar as camadas de concreto dentro de um molde tronco de cone.

### 3.4 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO

A moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos de concreto foram executadas de acordo com as diretrizes descritas na norma NBR 5738 (ABNT, 2015) Concreto: Procedimentos para fabricação e cura de corpos de prova. Este procedimento é fundamental para assegurar que as amostras representem de forma precisa as características do concreto empregado, viabilizando a obtenção de resultados confiáveis nos testes de resistência e outras propriedades mecânicas.

Moldes cilíndricos com dimensões de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura foram empregados, em conformidade com as normas especificadas. O concreto fresco, preparado e homogeneizado previamente conforme a dosagem estabelecida, foi depositado nos moldes em duas camadas. Cada estrato foi compactado utilizando uma haste de 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento, de acordo com as especificações da norma. Foram aplicados 25 golpes de maneira uniforme, com o objetivo de eliminar vazios e bolhas de ar. Após o preenchimento, a superfície do concreto foi nivelada utilizando uma espátula, a fim de garantir um acabamento uniforme e evitar imperfeições que poderiam comprometer a qualidade dos corpos de prova.

A identificação dos corpos de prova ocorreu imediatamente após a moldagem, sendo realizado o procedimento com um marcador resistente à água. Foram registradas informações como traço do concreto, data de moldagem e tipo de ensaio a ser conduzido. Posteriormente, os corpos de prova foram colocados em ambiente controlado, onde foram mantidos em uma câmara úmida ou tanque de cura, garantindo as condições ideais de umidade e temperatura para o amadurecimento das propriedades do concreto.

Figura 6 - Corpos de prova sendo moldados



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 6 apresenta o procedimento para a fabricação dos corpos de prova cilíndricos de concreto, conforme estabelecido pelas normas técnicas vigentes. A compactação de cada camada está sendo realizada utilizando uma haste específica a fim de assegurar a remoção de vazios e bolhas de ar.

#### 3.4.1 Quantidades de corpos de prova

Conforme apresentado na Tabela 3, foram produzidos três corpos de prova para cada tipo de ensaio em cada mistura, resultando em um total de nove corpos de prova por mistura. Ao longo dos experimentos, foram avaliados um total de 27 corpos de prova, incluindo todas as variações de adição e os diversos ensaios planejados. A quantidade de amostras utilizada foi suficiente para garantir a consistência dos dados, fornecendo uma base robusta para comparações entre os diversos teores de adição de fibras.

Tabela 3 - Quantidade de CPS por adição

| Tipo de Ensaio                  | 0% | 0,5% | 2% | Idade (dias) |
|---------------------------------|----|------|----|--------------|
| Absorção de água                | 3  | 3    | 3  | 28           |
| Resistência à Compressão Axial  | 3  | 3    | 3  | 28           |
| Tração por Compressão Diametral | 3  | 3    | 3  | 28           |
| Total                           | 9  | 9    | 9  | -            |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A metodologia empregada assegurou a rastreabilidade e o controle das condições experimentais, permitindo uma avaliação minuciosa das propriedades mecânicas e físicas do concreto com e sem a incorporação de fibras de coco.

### 3.4.2 Procedimento de cura

Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos a um procedimento de cura controlada, essencial para o desenvolvimento correto das propriedades do concreto.

Os corpos de prova foram mantidos nos moldes por um período inicial de 24 horas em um ambiente com temperatura entre 20°C e 25°C, com o objetivo de evitar a perda de umidade.

Após as primeiras 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e transferidos para um tanque de cura contendo água, mantendo a temperatura constante de 23°C ± 2°C. A cura por imersão em água foi conduzida até que os corpos de prova atingissem a maturidade adequada para a realização dos ensaios de resistência. Na figura 6 é possível observar os corpos de prova no processo de cura.

Figura 7 - CPs sendo cobertos por água



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 7 apresenta os corpos de prova de concreto imersos em um reservatório de água, uma prática realizada com o objetivo de garantir a cura apropriada do material. O procedimento, conforme estabelecido na norma NBR 5738

(ABNT,2015) que trata de "Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova", é fundamental para garantir a hidratação adequada do concreto, possibilitando a plena manifestação de suas características mecânicas. A imersão em água controla a perda de umidade, facilitando uma cura eficiente e uniforme, um elemento essencial para garantir a confiabilidade dos resultados nos testes subsequentes.

### 3.5 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO – ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

A determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica dos corpos de prova de concreto foi conduzida de acordo com os procedimentos prescritos na norma NBR 9778 (ABNT, 2009) - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Este ensaio é essencial para avaliar o desempenho e a durabilidade do concreto, fornecendo dados sobre sua densidade, porosidade e capacidade de absorção de água, fatores que influenciam diretamente a resistência e durabilidade do material.

Os materiais e equipamentos utilizados para a realização do ensaio incluíram corpos de prova cilíndricos de concreto com dimensões padronizadas e previamente curados, uma balança de alta precisão com capacidade suficiente para suportar o peso dos corpos de prova e resolução mínima de 0,1 g, um tanque de imersão para submersão dos corpos de prova em água garantindo a saturação completa, e uma estufa para secagem com controle de temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Os corpos de prova com a cura realizada foram submersos em água por um período mínimo de 24 horas, conforme especificações da norma, para assegurar a saturação total dos poros. Esse intervalo de tempo possibilita que o concreto absorva a quantidade necessária de água para atingir o equilíbrio de saturação. Posteriormente, os corpos de prova foram imersos em água para determinar sua massa submersa ( $M_i$ ), seguindo os procedimentos descritos na norma no equipamento mostrado a figura 8.

Figura 8 - Balança hidrostática instalada para as pesagens.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Após o período de imersão, os corpos de prova foram removidos do tanque, a superfície foi meticulosamente seca com um pano úmido para eliminar o excesso de água superficial e, em seguida, foram pesados para determinar a massa saturada ( $M_{sat}$ ). Os corpos de prova foram posteriormente submetidos à secagem em estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  até alcançarem massa constante, que foi determinada por meio de duas pesagens consecutivas, com variação de peso inferior a 0,1%. Essa etapa assegura a remoção integral de toda a umidade inicial presente no concreto antes do processo de imersão. Após o processo de secagem, os corpos de prova foram retirados da estufa e deixados em condições ambiente até alcançarem temperatura segura para manuseio. Em seguida, os corpos de prova foram submetidos a pesagem para a determinação da massa seca ( $m_s$ ).

### 3.5.1 Cálculos

Com as massas obtidas ( $M_s$ ,  $M_{sat}$  e  $M_i$ ), foram realizados os seguintes cálculos, conforme NBR 9778 (ABNT,2009):

### 3.5.1.1 Absorção

Para calcular a absorção (A), em porcentagem, utilizou-se a expressão 3:

$$A = \frac{(m_{sat} - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (3)$$

onde:

$m_{sat}$  é a massa da amostra saturada em água após imersão;

$m_s$  é a massa da amostra seca em estufa

### 3.5.1.2 Índice de vazios

Calculou-se o índice de vazios ( $I_v$ ), em porcentagem, pela seguinte expressão

4:

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s - m_i} \times 100 \quad (4)$$

onde:

$m_i$  é a massa da amostra saturada imersa em água.

### 3.5.1.3 Massa específica da amostra seca

Calculada pela fórmula 5:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (5)$$

### 3.5.1.4 Massa específica da amostra saturada

Obtida pela seguinte expressão 6:

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (6)$$

### 3.5.1.5 Massa específica real

Calculada pela expressão 7:

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (7)$$

### 3.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A realização dos ensaios de resistência à compressão axial e de tração por compressão diametral seguiu os padrões estabelecidos pela NBR 5739 (ABNT, 2018) Concreto — Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos e pela NBR 7222 (ABNT, 2011) Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral em corpos de prova cilíndricos, os quais delineiam os procedimentos para mensurar a resistência do concreto em contextos laboratoriais.

#### 3.6.1 Ensaio de resistência à compressão axial

O ensaio de compressão axial, que avalia a resistência do concreto à compressão, foi conduzido conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018) seguindo os passos descritos. Cada corpo de prova foi centralizado na máquina de compressão, para que a carga fosse aplicada axialmente, sem inclinações. A carga foi aplicada de forma contínua, a uma velocidade de  $0,45 \text{ MPa/s} \pm 0,15 \text{ MPa/s}$ , até a ruptura do corpo de prova. Este valor é fundamental para prevenir potenciais interferências nos resultados do ensaio. Durante o teste, registra-se o valor máximo de carga alcançado e a resistência à compressão do concreto. Na Figura 9, é possível visualizar o corpo de prova posicionado na prensa de ensaio de compressão.

Figura 9 - Execução do ensaio de resistência a compressão axial.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para os ensaios, foram empregados os corpos de prova já confeccionados e com período de cura pré-determinado de 28 dias.

### 3.6.2 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral, conhecido como ensaio brasileiro de tração, permite a determinação da resistência à tração indireta do concreto por meio da aplicação de carga compressiva ao longo do diâmetro do corpo de prova cilíndrico. Este método é amplamente difundido devido à sua capacidade de proporcionar uma avaliação indireta da resistência à tração do concreto de forma prática e precisa. Ele fornece informações essenciais sobre a capacidade do material de resistir a tensões de tração, que frequentemente levam ao surgimento de fissuras e à propagação de falhas estruturais.

A seguir, é apresentado uma imagem do teste de resistência à tração por compressão diametral, realizado em 9 (nove) amostras moldadas no dia 15 de outubro de 2024. Os testes ocorreram no Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDTEC), situado na cidade de Pinhais, Paraná. Para a execução dos testes, utilizou-se uma prensa EMIC, modelo PCE 100C, com identificação N° 9354 NS 261, certificada de acordo com o Certificado de Calibração N° 240430.01JS, datado de 30 de abril de 2024, emitido pela Quantec.

Figura 10 - Execução do ensaio de resistência a tração por compressão diametral



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O posicionamento dos corpos de prova na máquina de ensaio foi realizado de forma a dispor cada cilindro horizontalmente, garantindo que a carga compressiva incida ao longo de seu diâmetro. Essa disposição cria um campo de tensões de tração ao longo de um plano perpendicular à direção da carga aplicada, resultando em uma ruptura ao longo do eixo diametral do corpo de prova.

A carga compressiva é aplicada de forma controlada a uma velocidade constante, conforme especificado pela norma NBR 7222 (ABNT, 2011) de 0,05 MPa/s, até o momento da ruptura. É crucial garantir uma distribuição equilibrada das tensões para prevenir falhas prematuras causadas por cargas de impacto, por meio da aplicação lenta e uniforme da carga

## 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO

#### 4.1.1 Caracterização física da fibra de coco

As fibras de coco foram analisadas com base em diferentes estados: inicial ( $M_i$ ), final ( $M_f$ ) onde ela foi seca em estufa e saturado ( $M_{sat}$ ) após o período de 1 dia imerso em água. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 4. Esses dados fornecem informações importantes para avaliar as propriedades físicas e comportamentais da fibra de coco, como a capacidade de absorção de água e o teor de umidade de massa após o processo de secagem.

Tabela 4 - Dados obtidos na pesagem das fibras

| Fibras de coco  |          |
|-----------------|----------|
| Estado da fibra | Massa(g) |
| Mi              | 22,54    |
| Mf              | 20,36    |
| Msat            | 55,66    |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O teor de umidade das fibras de coco indica a quantidade de água contida na amostra em relação à sua massa seca. Este valor pode oscilar de acordo com as condições ambientais, como a umidade relativa do ar.

Tabela 5 - Caracterização física da fibra de coco

| Fibras de coco     |             |
|--------------------|-------------|
| teor de umidade(U) | absorção(A) |
| 9,67%              | 173,37 %    |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os resultados obtidos e apresentados na Tabela 5 indicam que essas fibras têm uma considerável capacidade de retenção de água. Esse comportamento é característico de materiais fibrosos naturais, como demonstrado em várias pesquisas na área de materiais compósitos e biomateriais.

O teor de umidade das fibras de coco de 9,67% reflete uma quantidade moderada de água presente nas fibras, o que é esperado para fibras vegetais

processadas. Fibras vegetais geralmente possuem teor de umidade variável dependendo da exposição ao ambiente, do processamento e do armazenamento.

Segundo Andrade et al. (2015), o teor de umidade nas fibras naturais influencia diretamente suas propriedades mecânicas e de interação com a matriz em concretos. Fibras com umidade elevada podem prejudicar a adesão entre a fibra e o cimento em compósitos, reduzindo a resistência do material. Contudo, um teor moderado de umidade, como o encontrado neste estudo, pode ser ideal para aplicações em que a flexibilidade e a resistência ao impacto sejam mais importantes (Santos et al., 2017).

A absorção de água das fibras de coco foi de 173,37%, o que indica uma alta capacidade de retenção de água quando imersas. Esse comportamento é característico das fibras vegetais, especialmente aquelas com alta quantidade de celulose e hemicelulose, como é o caso da fibra de coco.

Estudos como os de Leite et al. (2019) e Joubert et al. (2021) confirmam que a absorção de água elevada nas fibras naturais pode ser benéfica para substratos agrícolas ou materiais que precisam regular a umidade. No entanto, para compósitos cimentícios, a absorção de água pode afetar a estabilidade dimensional do material, pois a expansão volumétrica causada pela absorção pode gerar fissuras (Pereira et al., 2018).

#### 4.1.2 Análise por fluorescência de raio x

A análise química das fibras de coco utilizando o ensaio de fluorescência de raios-x (FRX) é importante para a avaliação de sua viabilidade como reforço em concreto. Este método possibilita a identificação de elementos químicos e a quantificação de óxidos minerais, sendo essencial para prever o comportamento das fibras em matrizes cimentícias.

Como resultado da análise, observou-se que a composição da fibra de coco é predominantemente formada por óxidos, com destaque para  $K_2O$  (27,0%) e  $CaO$  (26,8%), seguidos de  $SiO_2$  (11,5%) e  $Cl$  (11,2%). Além disso, foram identificados outros componentes em menores proporções, como  $Fe_2O_3$  (2,6%) e  $Al_2O_3$  (1,0%). Pode-se observar na Tabela 6 os resultados encontrados.

Tabela 6 - Composição química das fibras de coco

| Elementos                      | K <sub>2</sub> O (%) | CaO (%) | SiO <sub>2</sub> (%) | Cl (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | Na <sub>2</sub> O (%) | SO <sub>3</sub> (%) | MgO (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) |
|--------------------------------|----------------------|---------|----------------------|--------|-----------------------------------|-----------------------|---------------------|---------|------------------------------------|------------------------------------|
| Teor de elementos em % de peso | 27,0                 | 26,8    | 11,5                 | 11,2   | 8,9                               | 4,7                   | 3,5                 | 2,8     | 2,6                                | 1,0                                |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Esses elementos podem ter um impacto positivo no desempenho da fibra de coco no concreto, especialmente em relação à resistência e durabilidade do material. A presença elevada de potássio e cálcio tem impacto positivo na resistência e estabilidade, ao passo que o óxido de silício é reconhecido por suas propriedades de incremento na compressão e redução da permeabilidade (Oliveira, 2007; Savastano Jr., 2000). No entanto, é importante ressaltar a importância de monitorar os níveis de cloretos e sódio no concreto, uma vez que esses elementos podem impactar na durabilidade, especialmente na corrosão das armaduras.

É válido destacar que a presença desses compostos em concretos sem armaduras tende a minimizar tal efeito. Estudos destacam a relevância da compreensão das interações entre fibras naturais e a matriz de concreto, devido ao potencial auxílio na adesão e redistribuição de tensões por componentes como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e MgO. Desta forma, a fibra de coco surge como uma alternativa promissora para compósitos cimentícios (Bastos, 2019; Andolfato, 2002).

#### 4.2 CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO – SLUMP TEST

O ensaio de abatimento foi realizado para verificar a consistência do concreto fresco com diferentes teores de fibras. Os resultados foram os apresentados na tabela 7:

Tabela 7 - Resultado do abatimento do concreto

| Traço | abatimento (mm) |
|-------|-----------------|
| 0%    | 140             |
| 0,5%  | 72              |
| 2%    | 35              |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

É possível observar uma diminuição significativa no abatimento à medida que a quantidade de fibra de coco aumenta. O concreto sem adição de fibras apresentou um abatimento de 140 mm, o que sugere uma mistura com alta trabalhabilidade. Com a inclusão de 0,5% de fibra, o abatimento foi reduzido para 72 mm, resultando em uma diminuição de cerca de 48,6%. Com uma adição de 2% de fibra, o *slump* diminuiu ainda mais para 35 mm, demonstrando uma trabalhabilidade menor.

Esses resultados são representativos do padrão observado com fibras naturais no concreto, as quais possuem propensão à absorção de água e aumento da resistência ao deslocamento das partículas na mistura, resultando na diminuição da fluidez. Isso se deve ao fato de que as fibras de coco possuem uma elevada capacidade de absorção e atuam como elementos dispersantes que restringem a fluidez do concreto, resultando na redução do abatimento. A redução do abatimento com o aumento da fibra sugere uma menor trabalhabilidade, podendo ser necessário ajustar a quantidade de água.

Figura 11 - Abatimento do concreto com 2% de adição



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Nos resultados do abatimento, além de se observar a redução da trabalhabilidade com o aumento do teor de fibra, é importante considerar os impactos positivos que as fibras de coco podem ter no concreto endurecido. Conforme a

literatura, mesmo que a adição de fibras naturais como a fibra de coco reduza a trabalhabilidade inicial, essas fibras tendem a melhorar o comportamento mecânico e a durabilidade do concreto finalizado (Fonseca, 2010; Andolfato, 2002).

#### 4.3 CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

Os resultados dos ensaios realizados para a determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica dos corpos de prova de concreto com diferentes porcentagens de fibras são apresentados a seguir.

Tabela 8 - Resultados calculados.

| Traço | Absorção de Água (%) | Índice de Vazios (%) | Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> ) | Massa Específica Saturada (g/cm <sup>3</sup> ) | Massa Específica Aparente (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------|----------------------|----------------------|--|--|--|
| 0%    | 5,73                 | 13,03                | 2,27                                       | 2,40   | 2,61   |
| 0,5%  | 5,97                 | 13,51                | 2,26                                       | 2,40   | 2,62   |
| 2%    | 5,65                 | 12,83                | 2,27                                       | 2,40   | 2,60   |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A absorção de água demonstrou variações nos diferentes traços avaliados, destacando-se a influência da adição de fibras ao concreto. O concreto sem fibras demonstrou uma taxa de absorção de 5,73%, ao passo que as misturas com acréscimos de 0,5% e 2% de fibras apresentaram valores de 5,97% e 5,65%, respectivamente. O aumento na absorção de água do traço contendo 0,5% de fibras (5,97%) pode ser explicado pela maior porosidade resultante da adição das fibras, que possivelmente geraram micro vazios no material. A influência das fibras na porosidade do concreto é extensivamente abordada na literatura, conforme evidenciado por estudos realizados por Mehta e Monteiro (2014), os quais enfatizam que a inclusão de materiais fibrosos tem a tendência de incrementar a conectividade dos poros, promovendo a absorção de água. No entanto, a diminuição da porosidade em 2% (5,65%) indica que, em maiores concentrações, as fibras podem desempenhar o papel de preencher poros ou modificar a microestrutura do concreto, resultando na redução de sua capacidade de absorção. Este efeito está em conformidade com estudos como o de Bastos *et al.* (2019) indicam que o aumento do teor de fibras pode contribuir para a melhoria da densidade do concreto, resultando na redução na absorção de água.

Os índices de vazios observados foram de 13,03% (0%), 13,51% (0,5%) e 12,83% (2%). A ligeira elevação no índice de vazios no traço com 0,5% de fibras pode ser explicada pela formação de micro espaços resultantes da incorporação das fibras, conforme Neville (2016) também aborda, ressaltando que a presença de fibras pode impactar a porosidade interconectada do concreto. Contudo, a diminuição do índice de vazios no traço contendo 2% de fibras indica uma eficiência maior no processo de compactação, uma vez que as fibras ocupam os espaços vazios entre as partículas, diminuindo a conectividade dos poros.

Quanto à massa específica seca ( $P_s$ ), observou-se valores praticamente constantes: 2,27 g/cm<sup>3</sup> para os traços sem fibras e com 2% de fibras, e 2,26 g/cm<sup>3</sup> para o traço com 0,5% de fibras. A estabilidade observada sugere que a inclusão de fibras não resultou em mudanças significativas na densidade seca do concreto, um resultado previsível devido à massa específica das fibras ser similar ou inferior à dos agregados convencionalmente empregados. A densidade específica saturada ( $P_{sat}$ ), com um valor constante de 2,40 g/cm<sup>3</sup> em todas as amostras, também indica que as fibras não tiveram um impacto significativo na capacidade de absorção e retenção de água no estado saturado.

Por outro lado, a densidade aparente apresentou variações: 2,61 g/cm<sup>3</sup> (0%), 2,62 g/cm<sup>3</sup> (0,5%) e 2,60 g/cm<sup>3</sup> (2%). Os dados apresentados reafirmam que a adição de fibras não ocasionou uma alteração significativa na densidade final do concreto, apoiando as conclusões de Mehta e Monteiro (2014), os quais destacam que o efeito das fibras em propriedades como a densidade tende a ser restrito, sendo influenciado pela quantidade e tipo de fibra utilizados.

#### 4.4 CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO - RESISTÊNCIA MECÂNICA

##### 4.4.1 Resistência mecânica - compressão axial

Os resultados do ensaio de compressão axial dos concretos, realizados aos 28 dias, revelaram disparidades nas resistências alcançadas para as diversas proporções avaliadas, indicando o impacto da inclusão de fibras de coco nas propriedades mecânicas do concreto.

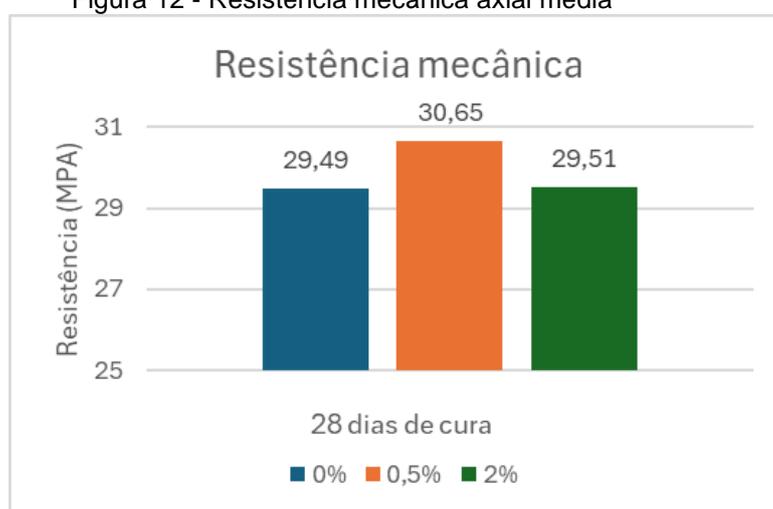
Tabela 9 - Resultado do ensaio de resistência mecânica axial.

| Traço | Resistencia (MPa) |       |       |
|-------|-------------------|-------|-------|
|       | 28 dias de cura   |       |       |
| 0%    | 29,09             | 30,16 | 29,22 |
| 0,5%  | 30,16             | 31,52 | 30,28 |
| 2%    | 30,33             | 29,45 | 28,77 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os resultados do ensaio de compressão axial aos 28 dias apresentado na Tabela 9, demonstram o efeito da incorporação de fibras de coco na resistência mecânica do concreto. Para o traço sem fibras (0%), os valores de resistência apresentaram variação entre 29,09 MPa e 30,16 MPa, com média de 29,49 MPa. No traço contendo 0,5% de fibras, observou-se um incremento na resistência média para 30,65 MPa, variando entre 30,16 MPa e 31,52 MPa. Por outro lado, a resistência média foi ligeiramente inferior no traço com 2% de fibras, com valor de 29,51 MPa e variação entre 28,77 MPa e 30,33 MPa.

Figura 12 - Resistência mecânica axial média



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A melhoria na resistência observada na figura 12, no traço com 0,5% de fibras pode ser atribuída ao papel das fibras como elementos de reforço na matriz de concreto. Conforme Neville (2016), as fibras desempenham um papel na contenção da propagação de microfissuras, o que resulta em aumento da coesão interna e da capacidade de resistir a esforços de compressão. A eficiência parece ser aprimorada quando o traço é de 0,5%, com volume de fibras adequado para reforço mecânico sem comprometer significativamente a homogeneidade da mistura.

Por outro lado, no traço com 2% de fibras, a ligeira redução na resistência média para 29,45 MPa pode ser atribuída à dificuldade de compactação devido ao excesso de fibras. Segundo Mehta e Monteiro (2014), a presença de altas quantidades de fibras pode resultar em maior porosidade no concreto devido à desafiadora distribuição uniforme das fibras na matriz. Esta permeabilidade adicional pode funcionar como pontos de vulnerabilidade, diminuindo levemente a resistência global.

Outro aspecto relevante a considerar é a variabilidade nos resultados de resistência. O desvio padrão foi reduzido no traço sem fibras, sugerindo maior homogeneidade. Na análise dos traços com fibras, particularmente aqueles com uma concentração de 2%, a maior dispersão dos dados indica uma distribuição menos uniforme das fibras, o que possivelmente influenciou de maneira desfavorável a consistência dos resultados. Essa variabilidade também é ressaltada por Bastos *et al.* (2019) de acordo com a pesquisa realizada, foi constatado que a homogeneidade do concreto pode ser comprometida devido à inclusão excessiva de fibras.

O traço com 0% de fibras mostrou o menor desvio padrão, 0,58 MPa, sugerindo uma maior consistência nos resultados em relação aos traços com fibras. Para o traço com 0,5% de fibras, o desvio padrão foi de 0,75 MPa, enquanto o traço com 2% de fibras apresentou o maior desvio, 0,78 MPa. A seguir apresento a figura 13 com um CP após o rompimento na prensa.

Figura 13 - Rompimento de CP na compressão axial



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

#### 4.4.2 Resistência mecânica - tração por compressão diametral

A seguir, são mostrados os resultados obtidos no teste de resistência à tração por compressão diametral, os valores expressos em megapascals (MPa), estão apresentados na tabela 10, levando em consideração os três diferentes traços com as porcentagens de fibras de coco.

Tabela 10 - Resultado do ensaio de resistência à tração por compressão diametral

| Traço | Resistencia (MPa) |      |      |
|-------|-------------------|------|------|
|       | 45 dias de cura   |      |      |
| 0%    | 2,70              | 4,40 | 4,17 |
| 0,5%  | 4,62              | 4,22 | 3,58 |
| 2%    | 3,88              | 3,80 | 2,83 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os valores de resistência à tração por compressão diametral apresentados evidenciam como a incorporação de fibras de coco afetou o desempenho mecânico do concreto após 45 dias de cura. Conforme as normas técnicas e pesquisas na literatura, a resistência à tração é um parâmetro que responde à microestrutura do concreto e pode ser influenciada por variáveis como a distribuição de fibras, a adesão entre matriz e fibra e o comportamento das fibras durante a ruptura. A seguir apresento a figura 14 com um CP após o rompimento na prensa.

Figura 14 - Rompimento de CP na compressão diametral



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

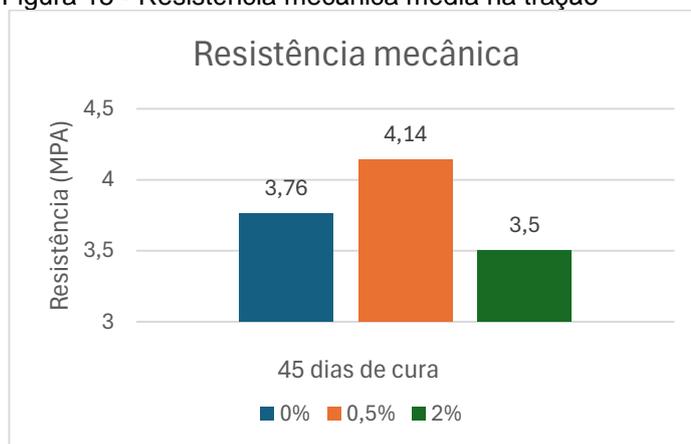
No traço sem fibras (0%), os valores oscilaram entre 2,70 MPa e 4,40 MPa, com uma média aparente indicando menor variabilidade como observado na figura

15. Essa circunstância reflete o comportamento típico de um concreto convencional, onde a resistência à tração depende principalmente da coesão da matriz de cimento e da integridade das interfaces com os agregados.

Para o traço com 0,5% de fibras, foi observado um aumento na resistência à tração, com valores variando de 3,58 MPa a 4,62 MPa. Esse achado está alinhado a estudos, como os de Silva et al. (2021), que ressaltam que a adição de fibras pode aprimorar a capacidade do concreto de resistir à propagação de fissuras, aumentando a ductilidade e a absorção de energia. Contudo, é fundamental ressaltar que o incremento depende de uma adequada dispersão das fibras e da compatibilidade entre a matriz e o reforço.

No traço com 2% de fibras, a resistência indicou uma redução em relação ao traço de 0,5%, com valores entre 2,83 MPa e 3,88 MPa. Essa diminuição pode ser atribuída a questões como a formação de aglomerados de fibras (efeito "bola de neve"), que criam zonas de fraqueza e comprometem a homogeneidade da matriz. Investigações realizadas por Mehta e Monteiro (2014) corroboram essa observação, indicando que concentrações excessivas de fibras podem prejudicar o desempenho mecânico do concreto devido à dificuldade de manuseio e à dispersão inadequada.

Figura 15 - Resistência mecânica média na tração



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O desvio padrão calculado para as resistências à compressão após 45 dias de cura para o traço com 0% de fibras apresentou o desvio padrão de 0,92 MPa. Em contrapartida, os traços com 0,5% e 2% de fibras apresentaram desvios padrão menores, 0,52 MPa e 0,58 MPa respectivamente, o que sugere uma maior consistência nos resultados.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve o objetivo de avaliar o desempenho estrutural do concreto reforçado com fibras de coco oriundas do comércio local do litoral do Paraná, levando em conta suas propriedades mecânicas, físicas e químicas. A partir dos resultados obtidos, foi possível notar que a adição das fibras afeta diretamente as características do concreto, tanto na fase fresca quanto na endurecida, além de trazer contribuições para a sustentabilidade na construção civil.

Na fase fresca, observou-se que a inclusão de fibras diminui a trabalhabilidade da mistura, especialmente em proporções maiores (2%). Essa situação está relacionada à alta capacidade de absorção de água das fibras, exigindo adaptações na relação água/cimento ou uso de aditivos para assegurar a homogeneidade e a fluidez desejadas.

Na fase endurecida, os resultados indicaram que a proporção de 0,5% de fibras demonstrou o melhor desempenho em termos de resistência à compressão (30,65 MPa), superando ligeiramente o concreto sem fibras (29,49 MPa). Esse aumento pode ser atribuído à função das fibras como elementos de reforço na matriz cimentícia, melhorando a redistribuição das tensões e diminuindo a propagação de fissuras. Por outro lado, a resistência do traço com 2% de fibras foi similar à do concreto sem fibras (29,51 MPa), sugerindo que proporções excessivas podem prejudicar a compactação e a homogeneidade da mistura.

Em relação à resistência à tração por compressão diametral, a inclusão de fibras também mostrou benefícios, com destaque para o traço contendo 0,5% de fibras. Essa proporção provou ser eficaz na melhoria da resistência à tração, enquanto a adição de 2% de fibras não trouxe benefícios adicionais e pode ter causado efeitos adversos, como aumento de vazios e diminuição da integridade estrutural.

O uso de fibras de coco mostrou-se uma alternativa promissora, incentivando a reutilização de subprodutos naturais e reduzindo impactos ambientais na construção civil. Entretanto, para aperfeiçoar o desempenho do concreto, é fundamental determinar proporções ideais, reduzindo os desafios relacionados à trabalhabilidade e à distribuição das fibras.

Os resultados obtidos sugerem que a utilização do concreto reforçado com fibras de coco, com base nos resultados deste estudo, pode ser indicada para aplicações não estruturais ou de baixa exigência, como pavimentos de baixa carga,

calçadas, elementos de acabamento e mobiliário urbano. Estas aplicações permitem aproveitar os benefícios da inclusão de fibras, como maior controle de fissuras e sustentabilidade, sem comprometer a segurança estrutural em projetos de maior responsabilidade.

Por fim, este trabalho destaca a utilização de fibras naturais no concreto e abre oportunidades para pesquisas futuras. Sugere-se a análise de outros parâmetros, como durabilidade a longo prazo, comportamento frente a ciclos de umidade e secagem, níveis de cloretos e sódios nas fibras e as melhores proporções de fibras, para contemplar a questão da umidade/vazios, e custos associados à produção em escala, com o objetivo de ampliar a compreensão sobre o impacto do uso de fibras de coco em diferentes contextos da construção civil.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Análise química – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655:2021 – Concreto: preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2021.
- ANDOLFATO, C. Estudo da Resistência e Durabilidade de Concretos com Materiais Alternativos. Curitiba: Editora Universidade Federal do Paraná, 2002.
- ANDRADE, J. Durabilidade do Concreto. São Paulo: Editora Blucher, 2008.
- ANDRADE, M. S.; CARNEIRO, M. R. S.; LIMA, P. M. Propriedades de fibras naturais e suas aplicações em materiais compósitos: revisão. Revista Brasileira de Engenharia de Materiais, v. 36, n. 2, p. 121-130, 2015.
- ANDOLFATO, M. Concreto: fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora Érica, 2002.
- ALMEIDA, J.; CUNHA, M. Propriedades de filtração de fibras naturais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2019.
- AGROLINK. Mercado do coco no Paraná e abastecimento via estados produtores do Nordeste. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br>. Acesso em: 27 out. 2024.
- ANTONIO, Julia Bonin; LARA, Fábio Alexandre Rodrigues de; SOUZA, Julia de Paula; CAPPELLETTI, Tathiane Tomaiolo; AMARAL, Patrícia Tolaine do1. Análise técnica do comportamento da fibra de coco como adição no concreto. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de Piracicaba, Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba, Piracicaba, 2019.
- ARS AEDIFICATIVA. Concreto com fibras: alguns aspectos de configuração, dos parâmetros de composição, e de otimização. Disponível em: <https://www.arsaedificativa.com/2020/10/concreto-com-fibras-alguns-aspectos-de.html>. Acesso em: 31 out. 2023.
- ASASUTJARIT, C., HIRUNLABH, J., KHEDARI, J., CHAROENVAI, S., ZEGHMATI, B., SHIN, U.C. Development of coconut coir-based lightweight cement board, Constr. Build. Mater. 21 (2) (2007) 277–288.
- BASTOS, P. C. Uso de Fibras Naturais em Compósitos de Cimento Portland. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2019.

BASTOS, M. F. Tecnologia e Durabilidade do Concreto. São Paulo: Editora UFMG, 2019.

BASTOS, A. M. Materiais de construção: fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2019.

CASTRO, A. B.; FIGUEIREDO, M. E. Influência do Tratamento Superficial de Fibras Naturais em Compósitos Cimentícios. Revista Brasileira de Materiais, v. 15, n. 3, p. 123-130, 2015.

CARVALHO, J. F.; SILVA, R. M. Influência de fibras vegetais na redução da retração plástica do concreto. Revista de Engenharia de Materiais, v. 15, n. 2, p. 123-130, 2020.

CARVALHO, J. F.; SILVA, R. M.; OLIVEIRA, T. S. Efeitos da granulometria e da relação água/cimento na retração por secagem do concreto. Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 12, n. 4, p. 213-224, 2021.

CARVALHO, P.; MENDES, L. Estudo das propriedades de fibras de coco aplicadas em concreto. Engenharia Sustentável, 2020.

Cimento Itambé. (2010). Fibras para concreto. Disponível em: [https://www.cimentoitambe.com.br/fibras-para-concreto/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.cimentoitambe.com.br/fibras-para-concreto/?utm_source=chatgpt.com) CIMENTO ITAMBÉ . Acesso em: 31 out. 2024.

DE SOUZA, P. R.; CAMPO, L. Materiais de Construção Civil: Propriedades e Ensaio. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2012.

EMBRAPA. Processamento de fibra de coco. João Pessoa: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/879446> . Acesso em: 12 out. 2024.

FERREIRA, L. P. Benefícios do uso de fibras vegetais no concreto em ambientes marinhos. Revista de Materiais de Construção, v. 12, n. 3, p. 203-214, 2021.

FERREIRA, M. C.; COSTA, A. L. Desempenho de concretos reforçados com fibras em ensaios de flexão. Revista Brasileira de Engenharia de Estruturas, v. 11, n. 3, p. 135-144, 2019.

FERREIRA, M. C.; COSTA, A. L. Uso de fibras para controle de fissuração em concretos. Revista Brasileira de Construção Civil, v. 14, n. 1, p. 89-97, 2021.

FIORIENTIN, Lucas Demarco; ANDRETTA, Erli Raquel Zortea; BATISTON, Eduardo Roberto. Utilização de fibra de coco como componente para aumentar a resistência final do concreto.1 Unoesc, 2024.

Fibras no concreto: benefícios e desvantagens. Disponível em: <https://digital.concreteshow.com.br/produtos/fibras-para-concreto-beneficios-e-desvantagens>. Acesso em: 31 out. 2023.

FONSECA, M. Aditivos e adições no concreto: uma análise do mercado. Revista Brasileira de Engenharia, 2010. Disponível em: [www.revistabrasileiraengenharia.com](http://www.revistabrasileiraengenharia.com). Acesso em: 02 nov 2024.

HELENE, P.; et al. Concretos: ciência e tecnologia. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

HELMUTH, R. A.; DETWILER, R. J.; RILEM, T. O. Influence of mix proportions and materials on drying shrinkage. Cement and Concrete Research, v. 25, n. 5, p. 987-998, 1995.

Hwang, C.L.; Tran, V.A.; Hong, J.W.; Hsieh, Y.C. Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites, Constr. Build. Mater. 127 (2016) 984–992, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.118>.

JOUBERT, P.; LIMA, C. L.; PEREIRA, D. L. Estudo de fibras vegetais como reforço para materiais cimentícios: características e desafios. Journal of Construction and Building Materials, v. 23, n. 4, p. 245-260, 2021.

KERBER, V.; ROMAN, F. Tecnologia do concreto. São Paulo: Editora Manole, 1994.

Lertwattanaruk, P., Suntijitto, A. Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential Building applications, Constr. Build. Mater. 94 (2015) 664–669.

LEITE, M. L.; SILVA, F. J.; PEREIRA, A. R. Absorção de água em fibras naturais e o impacto nas propriedades de compósitos. Journal of Composites and Polymers, v. 31, n. 6, p. 389-396, 2019.

LIMA, P. R.; ALMEIDA, V. S.; MELO, F. R. Controle de fissuração com adição de fibras vegetais e sintéticas. Revista de Engenharia de Materiais e Estruturas, v. 9, n. 3, p. 112-120, 2020.

LIMA, P. R. Efeito das fibras de coco na durabilidade do concreto. Revista Brasileira de Construção Civil, v. 8, n. 3, p. 211-220, 2021.

LIMA, P. R.; ALMEIDA, V. S.; MELO, F. R. Influência da resistência à tração na flexão em pavimentos de concreto. Revista de Tecnologia do Concreto, v. 9, n. 4, p. 211-220, 2021.

MARTINS, A.; JESUS-JÚNIOR, J. Materiais de construção civil. São Paulo: Editora Érica, 2011.

MARCHI, Vinicius Vieira Viana; SOUZA, Marcilon Jubileu de; DUTRA, Fabiano Ferreira de Oliveira.1 Análise de concreto com adição de fibra de coco para a produção de laje maciça2. Centro Universitário de Barra Mansa - UBM, 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Exatas e da Terra - Engenharias). Orientador: Dener Martins dos Santos.

Majid Ali, Anthony Liu, Hou Sou, Nawawi Chouw, Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 30, 2012, Pages 814-825.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MELO, T. S.; PEREIRA, J. L.; FERREIRA, R. M. Uso de fibras para aumentar a resistência à tração e flexão do concreto. *Revista de Engenharia Sustentável*, v. 8, n. 2, p. 78-85, 2020.

MORAIS, A. et al. Caracterização de fibras de coco para uso em concreto. *Revista Engenharia Civil*, 2016.

MOHD SAMAN, H.; et al. Mechanical properties of concrete containing coconut shell and fiber. *Journal of Building Engineering*, v. 20, p. 174-181, 2018.

MONTEIRO, Paulo; MEHTA, Paulo. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2008. Disponível em: <https://idoc.pub/documents/concreto-microestrutura-propriedades-e-materias-mehta-e-paulo-monteiro-2-ed-2008-editora-ibraconpdf-jlk9w7pkw845>. Acesso em: 31 out. 2023.

MINDESS, S.; YOUNG, J. F.; DARWIN, D. *Concrete*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do Concreto*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, R. T.; COSTA, M. F. Efeitos da incorporação de fibras de coco na resistência à corrosão do concreto armado. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 10, n. 1, p. 15-28, 2020.

OLIVEIRA, J. R. *Fibras Naturais na Construção Civil*. Campinas: Editora Unicamp, 2007.

OLIVEIRA, E. P. *Estudo das Propriedades Mecânicas e Físicas de Compósitos de Concreto com Fibras Naturais*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, 2007.

OLIVEIRA, R. T.; SANTOS, J. P. Aditivos e fibras na resistência à tração e flexão do concreto. *Revista de Materiais de Construção*, v. 10, n. 3, p. 98-107, 2021.

OLIVEIRA, T. S.; SANTOS, A. B. Aditivos redutores de retração e controle de fissuração. *Revista de Tecnologia do Concreto*, v. 8, n. 2, p. 56-63, 2018.

PEREIRA, D. R.; SANTOS, R. L.; COSTA, R. M. Efeito da absorção de água e teor de umidade nas fibras de coco para aplicações em materiais de construção. *Revista Brasileira de Materiais e Sustentabilidade*, v. 11, n. 3, p. 170-182, 2018.

REVISTA CONCRETO & CONSTRUÇÕES. Concreto e Construções, n. 53, p. 13, jan./mar. 2009. Disponível em: [www.revistaconcretoconstrucoes.com.br](http://www.revistaconcretoconstrucoes.com.br). Acesso em: 02 nov 2024.

SANTOS, A. B.; OLIVEIRA, R. C. Redução da retração por secagem do concreto com o uso de fibras vegetais. Revista de Engenharia Sustentável, v. 9, n. 2, p. 156-165, 2020.

SANTOS, A. B.; OLIVEIRA, T. S.; MELO, F. A. Contribuição das fibras naturais na redução de fissuras por retração plástica em concretos. Revista de Engenharia Sustentável, v. 10, n. 1, p. 98-105, 2019.

SANTOS, M. L.; ALMEIDA, C. F.; FREITAS, J. S. Fibras naturais: propriedades e perspectivas no uso em compósitos. Materials Science and Engineering, v. 45, n. 2, p. 210-220, 2017.

SAVASTANO JR., H. Avaliação de Materiais Compósitos à Base de Fibras Vegetais para Aplicações na Construção Civil. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.

SAVASTANO Jr., H.; AGOPYAN, V.; GOMES, W. J. Comportamento Mecânico de Compósitos de Cimento Reforçados com Fibras Naturais. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 2, p. 45-52, 2000.

SCIELO - BRASIL. Compósito cimentício com elevado teor de fibra de coco tratada: propriedades físicas e durabilidade. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/tV6F9cNyHGkTqb9dBmGwrJt/>. Acesso em: 31 out. 2023.

SILVA, F. J. G.; et al. Influence of coconut fiber on the mechanical properties of concrete. Construction and Building Materials, v. 94, p. 70-76, 2015.

SILVA, F.; OLIVEIRA, T.; ALMEIDA, L. Influência de fibras naturais nas propriedades mecânicas do concreto. Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 27, n. 4, p. 567-578, 2021.

SILVA, E.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR, C.; VELASCO, F. Análise técnica para o reaproveitamento da fibra de coco na construção civil. Ambiência, Guarapuava (PR), v. 11, n. 3, p. 669-683, set./dez. 2015. DOI: 10.5935/ambiencia.2015.03.11.

SILVA, A. R.; SANTOS, J. P.; ALMEIDA, V. M. Análise do desempenho mecânico de concretos com adição de fibras naturais. Revista de Engenharia e Tecnologia Sustentável, v. 7, n. 4, p. 145-156, 2019.

SILVA, J. L.; COSTA, R. M.; PEREIRA, P. N. Influência da Homogeneização das Fibras no Desempenho do Concreto Reforçado com Fibras Naturais. Revista de Engenharia Civil, v. 8, p. 32-40, 2012.

SILVA, J.; LIMA, R. Aplicação de fibras naturais na construção civil. Revista Brasileira de Engenharia, 2018.

SOUZA, M. L.; CARVALHO, P. F.; MENEZES, R. A. Retração por secagem e seus efeitos na durabilidade das estruturas de concreto. *Revista de Materiais e Construção*, v. 10, n. 3, p. 198-207, 2019.

SOUZA, M. L.; CARVALHO, R. A. Análise das causas e controle da fissuração em concretos. *Revista de Materiais de Construção*, v. 11, n. 4, p. 130-139, 2019.

SOUZA, M. L.; CARVALHO, R. A. Ensaio de resistência à tração no concreto: uma revisão técnica. *Revista de Materiais e Construção*, v. 12, n. 2, p. 154-161, 2020.