

INSTITUTO FEDERAL

Sertão Pernambucano

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS SERRA TALHADA**

THAINARA SILVA DE SOUZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DO CONCRETO COM A UTILIZAÇÃO DA FIBRA
DE COCO COMO AGREGADO**

SERRA TALHADA

2025

THAINARA SILVA DE SOUZA

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO CONCRETO COM A UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE
COCO COMO AGREGADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Serra Talhada, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Me. Vitor Hugo de Oliveira Barros.

SERRA TALHADA

2025

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO CONCRETO COM A UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE
COCO COMO AGREGADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Serra Talhada, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 11/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Vitor Hugo de Oliveira Barros (Orientador)
IFSertãoPE – Campus Serra Talhada

Prof. Me. Rafaella Pereira Marinho (Membro Interno)
IFSertãoPE – Campus Serra Talhada

Prof. Fábio Gomes de Souza
UniFIS (Membro Externo)

SERRA TALHADA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S719 Souza, Thainara Silva de.

Análise do desempenho do concreto com a utilização da fibra de coco como agregado /
Thainara Silva de Souza. - Serra Talhada, 2025.
78 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) -Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Serra Talhada, 2025.
Orientação: Prof. Msc. Vitor Hugo de Oliveira Barros.

1. Engenharia civil. 2. Fibra de coco. 3. Concreto. 4. Resistência. 5. Agregados. I. Título.

CDD 624

Dedicatória.

À minha mãe, que me ensinou a contar nos dedos; ao meu pai, que me ensinou a fazer contas de cabeça; aos meus avós, que me ensinaram a contar com Deus; e aos meus amigos, com quem posso contar.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho não teria sido possível sem o apoio de diversas pessoas que me acompanharam ao longo desta jornada. Primeiramente, expresso minha gratidão ao professor Me. Vitor Hugo de Oliveira Barros pela orientação, paciência e generosidade em compartilhar seu conhecimento ao longo desta pesquisa. Agradeço, também, aos professores que compuseram minha banca, cujas contribuições valiosas foram determinantes para o aprimoramento deste estudo.

Meus sinceros agradecimentos estendem-se às pessoas que contribuíram para a realização dos ensaios essenciais para o andamento desta pesquisa: à estagiária Fernanda e ao técnico do Laboratório de Engenharia Civil, Miguel.

Agradeço, de forma especial, à minha família. Aos meus pais, Eliane e Carlenildo, cuja dedicação tornou possíveis todas as minhas conquistas, por incentivarem minha educação e por não medirem esforços para viabilizar a execução deste trabalho. Aos meus avós, cujo apoio constante e palavras de encorajamento foram fundamentais para manter meu foco e dedicação ao longo dessa trajetória.

Agradeço à amiga que essa jornada me presenteou, Amanda, que me acompanhou nos momentos de estudo (e muitos), de dúvidas e especialmente nos de alegria, sendo indispensável para que eu conseguisse chegar até aqui. Gostaria de agradecer a todos os meus amigos e colegas da graduação em especial Johnny, Alexandre e Vinicius. E por fim, a todos aqueles que ajudaram direta e indiretamente no meu progresso até a construção dessa pesquisa.

RESUMO

O concreto de cimento Portland é amplamente utilizado na construção civil, sendo o segundo material mais consumido no mundo. Para melhorar suas propriedades, fibras, como as naturais, têm sido incorporadas, destacando-se a fibra de coco devido à sua abundância no Brasil, ao baixo custo e aos benefícios mecânicos, térmicos e acústicos. Este trabalho buscou avaliar a resistência do concreto com fibra de coco incorporada, com foco nos teores de 2%, 5% e 8% para melhorar o desempenho. Foram realizados diversos ensaios, incluindo a caracterização dos materiais para a confecção de 48 corpos de prova, e ensaios de compressão, validados de acordo com as normas técnicas vigentes. As dosagens com fibra apresentaram desempenho superior em comparação ao concreto de referência, com destaque para a substituição de 8%, que mostrou uma diferença superior de 11,79 MPa. Outras características, como o grau de absorção de água por capilaridade e tenacidade, também foram observadas, validando os resultados da pesquisa, que, no geral, se mostraram satisfatórios.

Palavras-chave: fibra de coco; concreto; resistência; agregados.

ABSTRACT

Portland cement concrete is widely used in civil construction and is the second most consumed material in the world. To enhance its properties, fibers, including natural ones, have been incorporated, with coconut fiber standing out due to its abundance in Brazil, low cost, and mechanical, thermal, and acoustic benefits. This study aimed to evaluate the strength of concrete incorporating coconut fiber, focusing on contents of 2%, 5%, and 8% to improve performance. Several tests were conducted, including material characterization for the preparation of 48 test specimens, and compression tests validated in accordance with current technical standards. The fiber-reinforced combinations demonstrated superior performance compared to the reference concrete, with the 8% replacement showing a notable improvement of 11.79 MPa. Other features, such as water absorption by capillarity and toughness, were also observed, validating the research findings, which overall proved to be satisfactory.

Keywords: coconut fiber; concrete; strength; aggregates.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Classificação Granulométrica.	23
Figura 2: Classificação dos tipos de fibra.	31
Figura 3: Coqueiro (<i>Cocos nucifera L.</i>).....	34
Figura 4: Coco (<i>Cocos nucifera L.</i>).....	34
Figura 5: Fotomicrografia da fibra de coco in natura.	35
Figura 6: Fluxograma da metodologia usada.	37
Figura 7: Amostras de fibras de coco.	38
Figura 8: Fibras de coco.	38
Figura 9: Ensaio e normas utilizados para caracterização dos materiais.	39
Figura 10: Amostra de material do agregado miúdo.	40
Figura 11: Conjunto de peneiras utilizado.	40
Figura 12: Conjunto de peneiras.	40
Figura 13: Peneira 4.8 mm utilizada.	40
Figura 14: Realização pelo método do picnômetro.	41
Figura 15: Realização pelo frasco de Chapman.	41
Figura 16: Amostra previamente saturada.	42
Figura 17: Amostra submersa.	42
Figura 18: Amostra de cimento.	43
Figura 19: Frascos com amostras.	43
Figura 20: Pesagem da amostra de cimento.	43
Figura 21: Peneiramento da amostra.	43
Figura 22: Ensaio e normas utilizados para produção de testes no concreto.	45
Figura 23: Disposição de materiais para confecção do traço.	46
Figura 24: Moldes preenchidos e submetidos ao descanso de 24 horas.	46
Figura 25: Execução do Slump Test.	46
Figura 26: Obtenção de altura de abatimento.	46
Figura 27: Capeamento do corpo de prova.	47
Figura 28: Rompimento do corpo de prova.	47
Figura 29: Rompimento de corpo de prova.	48
Figura 30: Leitura da altura de absorção de água.	48
Figura 31: Corpos de prova rompidos.	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica do agregado miúdo.....	50
Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado graúdo.....	51
Gráfico 3: Resistência à compressão da dosagem 1.....	56
Gráfico 4: Absorção por capilaridade da dosagem 1.....	57
Gráfico 5: Resistência à compressão da dosagem 2.....	58
Gráfico 6: Absorção por capilaridade da dosagem 2.....	59
Gráfico 7: Resistência à compressão da dosagem 3.....	60
Gráfico 8: Absorção por capilaridade da dosagem 3.....	61
Gráfico 9: Resistência à compressão da dosagem 4.....	62
Gráfico 10: Absorção por capilaridade da dosagem 4.....	63
Gráfico 11: Médias de resistência à compressão de todas as dosagens.....	64
Gráfico 12: Altura de absorção de todas as dosagens.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características especificadas pela ABNT.....	22
Tabela 2: Composição do cimento CP IV.	22
Tabela 3: Propriedades mecânicas de fibras vegetais e de fibras convencionais usadas como reforço.....	33
Tabela 4: Composição química da fibra de coco.	36
Tabela 5: Propriedades físicas e mecânicas da fibra de coco.	37
Tabela 6: Materiais utilizados para confecção do concreto.	38
Tabela 7: Proporção de materiais (traço utilizado).	44
Tabela 8: Traço conforme proporção dos materiais.....	44
Tabela 9: Quantidade de corpos de prova por idades e total.	45
Tabela 10: Ensaio realizados.....	49
Tabela 11: Dados de caracterização do agregado miúdo.....	50
Tabela 12 : Dados de caracterização do agregado graúdo.....	51
Tabela 13: Resultados do procedimento pelo método do picnômetro.....	52
Tabela 14: Resultados do procedimento pelo método do frasco de Chapman.....	52
Tabela 15: Resultados da massa específica do agregado graúdo.....	53
Tabela 16: Resultados da massa específica do cimento Portland.....	53
Tabela 17: Resultados da finura do cimento Portland.....	54
Tabela 18: Consumo de materiais.....	54
Tabela 19: Consumo de materiais de acordo com dosagens dos traços.....	55
Tabela 20: Abatimentos obtidos.....	55
Tabela 21: Resistência à compressão da dosagem 1.....	56
Tabela 22: Absorção por capilaridade da dosagem 1.....	57
Tabela 23: Resistência à compressão da dosagem 2.....	58
Tabela 24: Absorção por capilaridade da dosagem 2.....	59
Tabela 25: Resistência à compressão da dosagem 3.....	60
Tabela 26: Absorção por capilaridade da dosagem 3.....	61
Tabela 27: Resistência à compressão da dosagem 4.....	62
Tabela 28: Absorção por capilaridade da dosagem 4.....	63
Tabela 29: Médias de resistência à compressão de todas as dosagens.....	64
Tabela 30: Altura de absorção de todas as dosagens.....	66
Tabela 31: Avaliação econômica das dosagens.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Cimento Portland de Alto-forno
ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
ASTM	American Society for Testing and Materials
CP	Corpo de Prova
CPB	Cimento Portland Branco
CPC	Cimento Portland Comum
CPE	Cimento Portland Comum com Escória
CPS	Cimento Portland Comum Simples
CPZ	Cimento Portland Comum com Pozolana
CRF	Concreto Reforçado com Fibras
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento
FRC	“Fiber-Reinforced Concrete”
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
Mm	Milímetro (correspondente a um metro multiplicado por 10^{-3})
Mpa	MegaPascal (corresponde a um Pascal multiplicado por 10^6)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
°C	Graus Celsius
POZ	Cimento Portland Pozolânico
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14-16
2.	OBJETIVOS	17
2.1.	Objetivo Geral	17
2.2.	Objetivo Específico	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18-36
3.1.	Concreto de cimento Portland	18-20
3.2.	Materiais constituintes do concreto	20
3.2.1.	Cimento	20-23
3.2.2.	Agregados	23-24
3.2.2.1.	Areia	25
3.2.2.2.	Brita	25-26
3.2.3.	Aditivos	26
3.2.3.1.	Superplastificantes	27-28
3.3.	Resistência	28-30
3.4.	Adensamento	30
3.5.	Fibras	30-32
3.5.1.	Propriedades das fibras	32-33
3.5.2.	Fibra de coco	33-36
4.	METODOLOGIA	37-48
4.1.	Coleta e beneficiamento dos materiais	37-38
4.2.	Caracterização dos materiais	39
4.3.	Granulometria	39
4.3.1.	Granulometria do agregado miúdo	39-40
4.3.2.	Granulometria do agregado graúdo	40
4.4.	Massa específica	41
4.4.1.	Massa específica do agregado miúdo	41-42
4.4.2.	Massa específica do agregado graúdo	42
4.4.3.	Massa específica do cimento Portland	42-43
4.5.	Módulo de finura	43
4.5.1.	Módulo de finura do cimento Portland	43-44
4.6.	Determinação dos traços	44-45

4.6.1. Moldagem de corpos de prova	45-46
4.7. Testes no concreto fresco e endurecido	46
4.7.1. Slump Test	46
4.7.2. Resistência à compressão	47
4.7.3. Absorção por capilaridade	47-48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1. Granulometria	49
5.1.1. Granulometria do agregado miúdo	49-50
5.1.1. Granulometria do agregado graúdo	51
5.2. Massa específica.....	52
5.2.1. Massa específica do agregado miúdo	52
5.2.2. Massa específica do agregado graúdo	53
5.2.3. Massa específica do cimento Portland	53
5.3. Módulo de finura	53
5.3.1. Módulo de finura do cimento Portland.....	53
5.4. Traço e Consumo de Insumos.....	54-55
5.5. Slump test.....	55
5.6. Resistência à compressão e Absorção por capilaridade	55
5.6.1. Dosagem 1: T1F0	55-57
5.6.2. Dosagem 2: T2F2	57-59
5.6.3. Dosagem 3: T3F5	59-61
5.6.4. Dosagem 4: T4F8	61-63
5.6.5. Desempenho Comparativo	63-67
5.7. Avaliação econômica	67-68
6. CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIAS.....	70-77

1. INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é o material estrutural de maior importância na construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, representa uma das maiores e mais interessantes descobertas da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida. Com a descoberta no fim do século XIX, seguido por seu intensivo uso no século XX, que o transformou em um dos materiais mais consumidos pelo homem, logo após a água, esse avanço revolucionou a arte de projetar e construir estruturas cuja evolução sempre esteve interligada ao desenvolvimento das civilizações ao longo da história da humanidade. Os egípcios foram pioneiros e dominaram a arte de construir com blocos de rocha, mas não exploraram o enorme potencial desse material. Os engenheiros da idade média criaram magníficas igrejas góticas, demonstrando os mais belos usos desse nobre material de construção. A rocha foi líder dos materiais estruturais por cerca de 4500 anos desde sua adoção tecnológica por volta de 2750 a.C. no Egito, até a Revolução Industrial (1750-1850 d.C.), quando o aço e as estruturas metálicas surgiram como alternativas líderes (HELENE e ANDRADE, 2007).

Com o passar do tempo, as empresas vêm buscando melhores alternativas em termos de custo e resistência. A fim de um bom resultado, recorrem a utilização de diversos tipos de fibras, sendo as principais, fibras de aço, fibras poliméricas e fibras naturais (HELENE, 2001).

Adicionar fibras às matrizes pode aprimorar as suas propriedades mecânicas, como a resistência à tração, à flexão e ao impacto. Igualmente, altera seu comportamento após fissuração diminuindo os efeitos de uma ruptura brusca da matriz cimentícia (AGOPYAN e SAVASTANO JUNIOR, 2007). A incorporação de fibras naturais em elementos construtivos pode ajudar a reduzir a necessidade de extração de recursos naturais necessários para a produção dos compósitos cimentícios. Segundo dados do DNPM (2014), a produção de brita e cascalho no Brasil, em 2013, registrou 293.527 milhões de toneladas, valor 2,3% maior que em 2012. No que se refere à areia, o aumento no período foi de 2,2%, atingindo 377.248 milhões de toneladas. Dessa maneira, em 2013 foram extraídos da natureza aproximadamente 670 milhões de toneladas de materiais para serem utilizados como agregados na construção civil. No que se diz respeito à comercialização de cimento Portland, aproximadamente 70 milhões de toneladas foram fabricadas em 2013 (SNIC, 2014). Além da utilização da extração de argila e calcário para a produção de cimento Portland, a fabricação de uma tonelada de

clínquer, sua matéria-prima, lança aproximadamente uma tonelada de CO₂ na atmosfera (METHA; MONTEIRO, 2008).

Em virtude da redução da necessidade de extração de recursos naturais as influências das fibras no comportamento do concreto são analisadas e estudadas por diversos pesquisadores sobre diferentes aspectos. Por exemplo, é possível adicionar fibras vegetais, de bambu e cana-de-açúcar, para fins estruturais (OLIVEIRA et al., 2014). As fibras de aço são aplicadas na fabricação de intertravados (SANTOS, 2014). Quando utilizadas em determinada porcentagem, essas fibras podem alcançar até 26 MPa de resistência à compressão (JÚNIOR et al., 2017). Outras fibras, como a de sisal, são usadas na fabricação de blocos de concreto (IZQUIERDO, 2021), e há também a fibra de bananeira, que pode reforçar materiais termoplásticos e auxiliar no isolamento acústico (SILVA, 2017). Além disso, devido ao aumento da ductilidade e da resistência ao impacto, a utilização desses compósitos também é aplicada a pisos (SANTOS et al., 2020).

Em relação às fibras naturais, uma que é amplamente produzida no País é a fibra de coco, um subproduto derivado da produção da fruta da palmeira de coco. Estimativas apontam para cerca de que 10% da massa da fruta do coco seja constituída por fibras e em um País onde foi produzido aproximadamente 1,9 bilhão de frutos apenas no ano de 2022, obtém-se uma estimativa aproximada de quase 190 mil toneladas de fibras produzidas. A porção predominante da produção da fruta do coco e conseqüentemente da fibra, é a Região Nordeste do País (IBGE, 2022).

A fibra de Coco, material orgânico, oferece diversos benefícios quando se é utilizada no concreto. Além de possuir significativas propriedades mecânicas específicas, sua biodegradabilidade e baixo custo em relação a outros aditivos disponíveis do mercado a tornam uma escolha vantajosa. Além disso, ela também é resistente a fungos e decomposição, se faz um excelente isolante térmico e acústico, não absorve umidade, é à prova de traças e possui ação retardadoras de chamas. Ressalta-se ainda como sendo a fibra mais dúctil entre todas as fibras naturais (PRATES, 2019). No entanto, a utilização desses materiais requer uma atenção especial em virtude da degradação natural que as fibras tendem a sofrer quando se encontram dentro das matrizes cimentícias (SILVA et al., 2014).

Reis (2006, p. 1735) demonstrou que a fibra de coco provou ser um eficiente reforço para concreto polimérico, aumentando sua tenacidade e resistência à flexão. De maneira semelhante, Al-Oraimi e Seibi (1995, p. 170) afirmam que o uso de uma baixa porcentagem (entre 0,05 a 0,15% em relação ao peso total da mistura) de fibras vegetais melhorou as

propriedades mecânicas e a resistência ao impacto do concreto. Eles também obtiveram desempenho semelhante quando comparado ao concreto com adição de fibra sintética. Em última análise, Gunasekaran et al. (2011, p. 97) trabalharam com misturas de concreto utilizando cascas de coco e obtiveram compósitos com menores densidades que apresentaram potencial para utilização como agregado leve.

A partir dos trabalhos publicados, observa-se a viabilidade na utilização da fibra de coco para a produção de concretos e argamassas, no entanto, verificam-se questões em aberto relacionadas à incorporação efetiva da fibra de coco à matriz cimentícia, incluindo a quantidade das fibras que otimizam a mistura. Diante disso, no presente trabalho, objetiva-se estudar a utilização de fibras de coco incorporadas no concreto, verificando o desempenho do concreto com o foco no teor adicionado.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o desempenho técnico do concreto quando a fibra de coco é incorporada como agregado, comparando-o ao concreto convencional que utiliza agregados tradicionais.

2.2. Objetivos Específicos

- Verificar a massa específica dos agregados miúdos e graúdos naturais, bem como da fibra de coco;
- Comparar a trabalhabilidade dos concretos contendo a fibra de coco nas proporções de 2%, 5% e 8% em relação ao concreto de referência;
- Analisar a resistência à compressão dos concretos com a adição da fibra em tais percentuais;
- Verificar a absorção por capilaridade nos corpos de prova do concreto de referência e dos concretos adicionados da fibra, nas proporções de 2%, 5% e 8% em peso seco.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Concreto de cimento Portland

O concreto é um compósito resultante da mistura de agregados (brita e areia), uma matriz cimentícia (aglomerante) e água. Ocorre uma reação química entre os minerais que compõem o cimento e a água, e, em função dessa reação, a massa endurece, atingindo as propriedades mecânicas desejadas. Devido as suas reações químicas, à medida em que o tempo avança ele endurece e ganha resistência durante toda sua vida útil. Para modificar suas características físicas e químicas em alguns tipos de concreto são adicionados aditivos. É dividido em classes, concretos convencionais e concretos de alta resistência. Esta classificação é, geralmente, dada de acordo com sua dosagem e sua resistência à compressão. (GARCIA et al., 2012 e YAZIGI, 2008).

Se houver a possibilidade de obter alta resistência a partir somente da variação da relação água/cimento, o concreto ainda é considerado como convencional, e se a obtenção desta alta resistência é executada a partir da incorporação de adições ativas ou de aditivos especiais, o mesmo é então considerado de alta resistência e desempenho (RECENA, 2015).

Para Mehta e Monteiro (2014), o concreto pode ser dividido a partir de suas resistências à compressão em três amplas categorias: baixa resistência (menos de 20 MPa), resistência moderada (de 20 MPa à 40MPa) e alta resistência (acima de 40 Mpa).

Conforme Yazigi (2008), a durabilidade e a resistência de uma estrutura de concreto são influenciadas por fatores como a execução correta da estrutura, o controle tecnológico dos materiais que são incorporados na mistura e o estudo da dosagem. Para a confecção da dosagem do concreto são tidas em conta as características que se deseja obter do concreto em seu estado fresco ou endurecido, levando em conta a resistência, a estanqueidade, a trabalhabilidade e a retração mínima. A estanqueidade e a resistência levam em consideração a presença de vazios no material, já a trabalhabilidade é proveniente de estudos experimentais, segundo Bauer e Noronha (2000).

Conforme Recena (2015), levando em conta aspectos econômicos e mecânicos, a dosagem do concreto não visa a obtenção do melhor concreto, nem mesmo o mais resistente, e sim o mais conveniente. Porém, o mesmo autor salienta que a maior economia nem sempre

se associa à melhor trabalhabilidade, à maior durabilidade ou resistência, tendo em vista que a dosagem é a administração de aspectos conflitantes.

Para Yazigi (2008), o concreto deve ser dosado de maneira a satisfazer e garantir, após a cura, as exigências estruturais que são indicadas no projeto em que irá se encontrar a determinada estrutura. A resistência a ser atendida no corpo de prova aos 28 dias será descrita como resistência padrão, e para a finalidade de se obter controle de qualidade, em hipótese alguma poderá ser empregado o cimento em frações de saco, sempre em função ao peso e massa, assim como a relação água/cimento que não poderá ser superior a 0,6.

Segundo Helene e Andrade (2007), o concreto possui duas fases distintas, concreto fresco e concreto endurecido. A primeira que denomina-se de concreto fresco, o qual compreende um período de tempo muito curto, varia em torno de uma hora a cinco horas. Para os autores, este tempo compreende o intervalo correspondente à mistura, ao transporte, ao lançamento e ao adensamento do concreto. A segunda denomina-se concreto endurecido, que compreende o início da hidratação do cimento e o endurecimento do concreto, estendendo-se por toda a vida útil do material compósito.

Conforme Sobral (2000), o estado fresco do concreto é constituído por uma pasta de cimento que envolve os agregados graúdos e miúdos e os espaços cheios de ar. Oliveira (2000) cita que o estado endurecido do concreto é considerado a partir da pega. O concreto é classificado conforme suas propriedades básicas, em concreto endurecido e concreto não endurecido. No concreto não endurecido, observam-se as propriedades de trabalhabilidade, exsudação (transpiração) e tempos de início e fim de pega.

O termo pega refere-se à solidificação da pasta plástica de cimento, e é o início da solidificação do material, no momento em que a pasta se torna não trabalhável, dificultando as operações de manuseio do concreto, sendo estas, lançamento, compactação e acabamento. Já no concreto em seu estado endurecido são observadas as 24 propriedades de resistência aos esforços mecânicos, propriedades técnicas, deformações em face das ações extrínsecas e solicitações mecânicas, permeabilidade e durabilidade da ação do meio ambiente. Além disso, é importante ressaltar sobre as variações da resistência do cimento, bem como a variação da granulometria dos agregados, que resulta em um concreto com trabalhabilidade e resistências variadas, conforme Mehta e Monteiro (2014) e Yazigi (2008).

O concreto, assim como seus componentes, possui normas regulamentadoras que regem sua confecção e distribuição, a fim de garantir as mínimas exigências para sua utilização. Esta norma regulamentadora é a NBR 12.655 (ABNT, 2006), que define sobre o preparo, controle e recebimento do concreto. A NBR 12.654 (ABNT, 1992) define, a partir de procedimentos, como se deve efetuar a realização do controle tecnológico dos materiais empregados na produção do concreto, segundo Helene e Andrade (2007).

3.2. Materiais constituintes do concreto

3.2.1. Cimento

Para Neville (1997), o conceito de cimento pode ser considerado, na acepção geral da palavra, como todo material que possui propriedades coesivas e adesivas, capaz, ainda, de unir fragmentos e minerais, formando um material todo compacto. O cimento Portland é composto por calcário, argila e minério de ferro, que formam o clínquer. Após ser moído, ao clínquer é adicionado gesso para, assim, reduzir a velocidade da pega, ou seja, a velocidade de hidratação das partículas de cimento, e formar o cimento (PETRUCCI,1998).

Os cimentos podem ser classificados em cimentos hidráulicos e não hidráulicos. Os cimentos hidráulicos são caracterizados por só endurecem através a reação com a água, e, também, por formarem um produto resistente à água. Os cimentos não hidráulicos também são chamados de aglomerantes aéreos, e resultam da calcinação da gipsita ou carbonatos de cálcio, e os produtos da hidratação não possuem resistência à água. O cimento tipo Portland, enquadrado como cimento hidráulico, somente adquire propriedades adesivas quando é misturado com a água. Este processo chama-se hidratação do cimento, que proporciona a este as características de pega e endurecimento, segundo Mehta e Monteiro (2014).

O cimento Portland é composto por diferentes compostos químicos (C3S, C2S, C3A e C4AF), cuja principal característica é o processo de endurecimento, resultado das reações químicas que ocorrem com esses compostos. Em sua composição, o cimento Portland contém substâncias anidras que, ao entrarem em contato com a água, tornam-se hidratadas. Esse processo de hidratação transforma os compostos anidros, mais solúveis, em compostos hidratados, menos solúveis, conforme descrito por Petrucci (1998).

Mehta e Monteiro (2014) definem o cimento Portland como uma mistura heterogênea formada por vários compostos que apresentam comportamentos distintos ao serem hidratados. Enquanto os silicatos se hidratam lentamente, os aluminatos reagem de forma mais acelerada. Essas reações de hidratação envolvendo aluminatos são as principais responsáveis por determinar as características de enrijecimento (perda de consistência) e pega (solidificação da mistura) da pasta de cimento Portland.

Segundo Mehta e Monteiro (2014) e Yazigi (2008), a fabricação do cimento envolve processos em altas temperaturas, que resultam na formação de materiais quimicamente desidratados, conferindo ao produto um estado instável e de alta energia. Durante a hidratação, o material torna-se mais estável e de baixa energia, liberando calor em uma reação exotérmica conhecida como calor de hidratação, que, em determinadas circunstâncias, compromete a integridade das estruturas de concreto. Suas propriedades são analisadas em três aspectos principais: no estado natural em pó, na mistura com água em proporções adequadas e na combinação da pasta com agregados. Nesse contexto, o cimento Portland apresenta diferentes classificações:

Cimento Portland Comum (CPC - CP I e CP II): Obtido pela moagem do clínquer Portland com adição de sulfato de cálcio, podendo incluir materiais pozolânicos, escórias de alto-forno ou carbonatos. Suas subdivisões incluem o Cimento Portland Comum Simples (CPS - CP I), Cimento Portland Comum com Escória (CPE - CP II-E) e Cimento Portland Comum com Pozolana (CPZ - CP II-Z).

Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI - CP V-ARI): Produzido a partir da moagem do clínquer Portland, sem a adição de substâncias além do sulfato de cálcio.

Cimento Portland de Alto-Forno (AF - CP III): Elaborado pela mistura homogênea de clínquer Portland com escória granulada de alto-forno, permitindo a inclusão de sulfatos e derivados de carbonato de cálcio.

Cimento Portland Pozolânico (POZ - CP IV): Obtido pela mistura de clínquer Portland com materiais pozolânicos, com a possível adição de sulfato de cálcio.

Cimento Portland Branco (CPB): Fabricado pela moagem de clínquer Portland com baixos teores ou ausência de óxido de ferro, permitindo a adição de sulfato de cálcio.

A Tabela 1 apresenta as características especificadas de cimentos brasileiros, conforme regulamentado pela ABNT.

Tabela 1: Características especificadas pela ABNT.

TIPOS PROPRIEDADES		CPC			ARI	AF		POZ	
		25	32	40		25	32	25	32
Mg O máx. (%)		6,5	6,5	6,5	6,5	—	—	6,0	6,0
Perda ao fogo máx. (%)		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Finura	Resíduo na peneira 0,075 (%)	15,0	15,0	15,0	6,0	10,0	10,0	12,0	12,0
	cm ² /g	2.400	2.600	2.600	3.000	2.600	2.800	2.500	2.900
Tempo mínimo de pega, Vicat (h)		1	1	1	1	1	1	1	1
Resistências mínimas argamassas normalizadas (Mpa)	01 dia	—	—	—	11	—	—	—	—
	03 dias	8	10	14	22	8	10	7	10
	07 dias	15	20	24	31	15	20	15	18
	28 dias	25	32	40	—	25	32	25	32
	90 dias	—	—	—	—	32	40	32	40
NORMA BRASILEIRA		NBR - 5732			NBR - 5733	NBR - 5735		NBR - 5736	

Fonte: Adaptado materiais de construção (OLIVEIRA, 2002).

Cimento Portland Pozolânico (POZ): de acordo com a NBR 5736 (ABNT, 1991), possui composição fixada em norma, contudo aceita uma determinada variação de seus compostos. Em percentual, estas variações estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Composição do cimento CP IV.

Cimento Portland Pozolânico (POZ)	
Tipo	IV
Sigla	CP IV
Classe de resistência	32
Norma	5736/91
Clínquer + Gesso	45 a 85%
Pozolana	15 a 50%
Material carbonático	0 a 5%

Fonte: Adaptado Norma Brasileira Regulamentadora 5736 da ABNT, 1991.

Materiais pozolânicos são materiais siliciosos ou silicoaluminosos que possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que formam compostos com propriedades cimentícias quando reagem com o hidróxido de cálcio, reação esta que advém da presença de água. São divididos em pozolanas naturais e artificiais. As pozolanas naturais advêm de

atividades vulcânicas, ao passo que as pozolanas artificiais são subdivididas em argilas calcinadas, provenientes da calcinação de determinadas argilas e cinzas volantes, provenientes da combustão do carvão, e outros materiais, em que se enquadram as microsílicas, escórias siderúrgicas ácidas e rejeitos silicoaluminosos de craqueamento do petróleo (ABNT, 1991).

Oliveira (2002) acredita que, de um modo geral, não há diminuição da resistência mecânica final com a substituição, de 20 a 40 por cento, do cimento utilizado nos concretos pelas pozolanas. O mesmo autor ainda acredita que isto promove melhorias na qualidade do material.

O uso das pozolanas nos concretos de cimento Portland melhora características como, por exemplo, a trabalhabilidade, diminui o calor de hidratação, aumento da impermeabilidade e, de uma maneira geral, reduz custos (OLIVEIRA, 2002).

3.2.2. Agregados

Segundo Andolfato (2002) os agregados representam cerca de 75% do total do concreto e suas características agregam valor em suas proporções. Conforme na Figura 1, a NBR 7211 (ABNT, 2022) estabelece o agregado miúdo como sendo os grãos que passam pela peneira com abertura da malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm . Os Agregados graúdos, por sua vez, são os grãos cuja granulometria refere-se aos grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,75 mm (ABNT, 2022).

Figura 1: Classificação Granulométrica.

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μm	-
300 μm	-
150 μm	-

Fonte: (Adaptado) ABNT, 2022.

As areias e rochas de emprego na construção civil são abundantes na natureza, entretanto, fatores exógenos à geologia influenciam a relação entre o quantitativo de reservas existentes e aquelas realmente disponíveis para o uso. A mineração de agregados, como também o seu beneficiamento gera impactos ambientais como poluição sonora e do ar. A produção dos agregados tende a ser bastante descentralizada espacialmente, e com grande quantidade de ocorrências e empreendimento. Fato que acompanha a dinâmica do principal setor consumidor, o da construção civil, relevante em todas as regiões urbanas. Além dos agregados naturais, que são encontrados já de forma particulada no meio ambiente (cascalho, areia), pode-se obter por meio de processos industriais os agregados artificiais, nesse caso, as matérias-primas a serem fragmentadas podem ser escoria de alto forno, argila e rocha (LA SERNA e REZENDE 2009).

Farias e Palmeira (2007) definem que as propriedades do concreto irão depender das características que seus agregados possuem, dentre elas: massa específica aparente, porosidade, composição granulométrica, forma e textura. A resistência, compressibilidade e sanidade dos concretos endurecidos está relacionada diretamente à porosidade e à composição mineralógica dos agregados a serem utilizados na confecção do concreto.

Mehta e Monteiro (2014) classificam, ainda, os agregados como minerais naturais e artificiais. Os agregados minerais naturais abrangem cerca de 90% do total de agregados utilizados para a confecção do concreto, e compreendem areia, pedregulho e pedra britada (brita), provenientes de jazidas naturais. Os agregados artificiais são materiais termicamente processados, como argila e folhelho expandidos, bem como materiais produzidos a partir de rejeitos industriais, como as escórias de alto forno e cinzas volantes.

Albuquerque (2000) complementa com a adesão de uma classificação dos agregados, segundo o peso específico aparente dos materiais em agregados leves, médios e pesados. Os agregados leves compreendem o grupo das vermiculitas, argilas expandidas e a escória granulada. Já os agregados médios compreendem o calcário, o arenito, o cascalho, o granito, a areia, o basalto e a escória. Por fim, os agregados pesados compreendem a barita, a hematita e a magnetita.

3.2.2.1. Areia

Albuquerque (2000) e Yazigi (2008) definem os agregados miúdos como sendo compostos pela areia natural quartzosa, conhecida como areia comercial, e pela areia artificial, obtida pela fragmentação de rochas e com diâmetro máximo de 4,80 mm. A areia também pode ser classificada como um sedimento geológico clástico inconsolidado, composto por grãos de quartzo extraídos de diferentes fontes, como rios, cavas, britagem, escória, praias e dunas. No entanto, as areias provenientes de praias e dunas brasileiras não são utilizadas na construção civil devido à elevada concentração de cloreto de sódio, o que pode comprometer a durabilidade das estruturas.

A composição granulométrica da areia é de 0,06 mm a 2,0 mm de diâmetro, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para a determinação da composição utilizam-se as peneiras da série normal e intermediária, e a partir dos valores de massa retidos em cada peneira tem-se a classificação. O ensaio de determinação de massa específica e massa específica aparente é normatizado pela NBR NM 52 (ABNT, 2003), a qual descreve os procedimentos para obter valores estipulados em relação à massa-volume dos agregados miúdos. Para a determinação da absorção de água é realizado o ensaio descrito pela NBR NM 30 (ABNT, 2001).

3.2.2.2. Brita

Albuquerque (2000) define o agregado graúdo a partir de suas composições mineralógicas, e justifica que é extraído de rochas compactas chamadas jazidas, podendo enquadrar-se em diversas classificações, definidas a partir da NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para a classificação dos agregados, a normativa referente ao ensaio de peneiras de série normal e intermediária é a NBR NM 248 (ABNT, 2003), que classifica o tipo de brita através do material que ficou retido em cada peneira e o seu diâmetro, o qual deve possuir diâmetro mínimo superior a 4,8 mm. O ensaio de determinação de massa específica, massa específica aparente e determinação da absorção de água dá-se através da NBR NM 53 (ABNT, 2003), a qual descreve os procedimentos para estipular a relação massa-volume do agregado graúdo e sua absorção de água.

A caracterização da brita é feita por razões comerciais, em pedrisco (diâmetro de 4,80 mm a 9,50 mm), brita 1 (diâmetro de 9,50 mm a 19,00 mm), brita 2 (diâmetro de 19,00 mm a

38,00 mm), brita 3 (diâmetro de 38,00 mm a 76,00 mm) e pedra de mão, também conhecida como rachão (diâmetros maiores que 76,00 mm), segundo Yazigi (2008).

3.2.3. Aditivos

De acordo com Bauer, Noronha e Bauer (2000), os aditivos são definidos como produtos não essenciais na produção de concretos e argamassas, mas que possuem a função de induzir ou intensificar certas características e propriedades do material, seja no estado fresco ou endurecido.

A normativa norte-americana ASTM C125-21a (2021) descreve os aditivos como materiais incorporados ao concreto ou argamassa, antes ou durante a mistura, excluindo água, agregados, cimento hidráulico ou fibras. Já a NBR 11768 (ABNT, 1992) caracteriza os aditivos como substâncias adicionadas ao concreto de cimento Portland em pequenas quantidades, com o propósito de modificar suas propriedades para melhor atender condições específicas.

Conforme Bauer, Noronha e Bauer (2000), os aditivos podem ser classificados com base em dois critérios: ação ou efeito. A classificação pela ação apresenta um caráter mais científico, diferenciando-se por suas características químicas e/ou físicas. Já a classificação baseada no efeito foca na finalidade do uso, isto é, na característica específica desejada, desconsiderando aspectos científicos, como propriedades químicas.

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 1992), os aditivos são classificados com base na característica que modificam no concreto, sendo as categorias definidas como: tipo P – Plastificante; tipo R – Retardador; tipo A – Acelerador; tipo PR – Plastificante Retardador; tipo PA – Plastificante Acelerador; tipo IAR – Incorporador de Ar; tipo SP – Superplastificante; tipo SPR – Superplastificante Retardador; e tipo SPA – Superplastificante Acelerador.

Para Mehta e Monteiro (2014), a indústria de aditivos e adições para concreto registrou um significativo crescimento nos últimos 50 anos, impulsionado pela função dos aditivos de alterar as propriedades do concreto tanto em seu estado fresco quanto endurecido. Assim, os engenheiros da construção civil passaram a reconhecer as vantagens e limitações associadas ao uso desses materiais no setor.

Segundo Bauer, Noronha e Bauer (2000), o estudo de aditivos visa o desenvolvimento de produtos que sejam capazes de incorporar todas as qualidades desejáveis ao concreto, ao mesmo tempo em que eliminem seus possíveis defeitos.

3.2.3.1. Superplastificantes

Desde a sua criação em 1970, os superplastificantes têm ganhado ampla aceitação na indústria da construção civil. Esses compostos, que são surfactantes aniônicos de cadeia longa e alta massa molecular, possuem uma grande quantidade de grupos polares na cadeia de hidrocarbonetos. Eles aumentam significativamente a fluidez do sistema, reduzindo consideravelmente a tensão superficial da água que envolve as partículas de cimento, conforme Mehta e Monteiro (2014).

Os superplastificantes são utilizados em concretos com o objetivo de reduzir a relação água-cimento, aumentar o abatimento e, conseqüentemente, incrementar a resistência do material. Isso ocorre devido à diminuição da relação água-cimento (a/c), mantendo-se a mesma trabalhabilidade e abatimento do concreto, conforme Bauer, Noronha e Bauer (2000).

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 1992), que estabelece os aditivos para o concreto Portland, os aditivos superplastificantes (tipo SP) permitem uma redução de, no mínimo, 12% (doze por cento) na quantidade de água de amassamento, ou ainda aumentam o índice de consistência do concreto para uma mesma quantidade de água de amassamento.

Os superplastificantes (SP) de 3ª geração, compostos à base de policarboxilatos, atuam por meio de repulsão estérica dos grãos de cimento e repulsão eletrostática, sendo esta última pouco significativa, uma vez que sua ionização não é suficiente para gerar uma repulsão elétrica considerável. Além disso, esses superplastificantes possuem moléculas longas com ramificações que auxiliam na dispersão das partículas de cimento. Quanto maior o tamanho da cadeia, maior será a fluidez da mistura e menor o seu tempo de pega (HARTMANN, 2002).

Prudêncio Jr. (2005) afirma que os aditivos à base de policarboxilatos possibilitam reduções de água superiores a 20% (vinte por cento) em tempos de atuação entre 30 e 60 minutos, sendo, portanto, considerados atualmente os aditivos superplastificantes de melhor eficiência.

A confecção de concretos especiais com resistências elevadas requer maiores proporções de cimento na mistura. Esse maior consumo de cimento eleva o teor de finos da mistura, o que, por sua vez, exige maior quantidade de água para hidratar o cimento e manter a trabalhabilidade desejada. Para suprir essa demanda de água sem comprometer a resistência

do concreto, é adicionado à mistura o aditivo superplastificante, conforme Mehta e Monteiro (2014).

Prudêncio Jr. (2005) afirma que, em concretos com resistências características superiores a 40 MPa, o uso de superplastificantes torna-se praticamente imprescindível, pois, na sua ausência, a trabalhabilidade é comprometida significativamente.

Hartmann (2002) cita que os aditivos superplastificantes são utilizados mundialmente com as finalidades de reduzir significativamente o consumo de água para uma mesma consistência, aumentar a resistência e a durabilidade do concreto, aumentar a fluidez mantendo o mesmo consumo de água de amassamento, e diminuir a quantidade de cimento, mantendo as características de consistência e resistência. Isso visa reduzir os custos e também minimizar problemas como retração, fluência e tensões térmicas provenientes da hidratação do cimento.

3.3. Resistência

A seleção de materiais para aplicação em construções específicas baseia-se na capacidade do material de suportar a força aplicada. A aplicação de uma carga resulta em uma alteração no comprimento por unidade de comprimento, denominada deformação. As tensões em um mesmo corpo podem variar de forma distinta, dependendo da maneira como atuam no material. Essas tensões são classificadas como compressão, tração, flexão, cisalhamento e torção. A relação entre tensão e deformação é geralmente expressa em termos de resistência, módulo de elasticidade, ductilidade e dureza, conforme Mehta e Monteiro (2014).

Resistência refere-se ao limite de tensão necessário para provocar o rompimento do material. Em concretos, essa resistência é adquirida por meio da solidificação de seu aglomerante, o cimento, que requer a hidratação para este fim. O processo de hidratação do cimento ocorre de forma lenta, e, como consequência, o concreto apresenta variação de resistência durante toda a sua vida útil, sendo essa variação mais pronunciada nos primeiros dias, segundo Mehta e Monteiro (2014).

De acordo com Vasconcelos (1997), a resistência característica à compressão está diretamente relacionada à durabilidade. Para que o concreto satisfaça as condições mínimas de durabilidade, o autor recomenda que sua resistência não seja inferior a 20 MPa, conforme a NBR 8953 (ABNT, 1992). Em materiais sólidos, como o concreto, há uma relação inversa

entre porosidade e resistência. Embora a relação água-cimento seja determinante na porosidade do concreto, outros fatores, como o adensamento e as condições de cura, também desempenham um papel significativo. A resistência à compressão é amplamente utilizada como indicador de outras resistências. Ao longo do tempo, foram estabelecidas relações empíricas úteis que conectam a resistência à compressão com outras tensões, como cisalhamento, flexão e tração (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O tipo de cimento utilizado no concreto não exerce uma influência significativa na resistência final, mas afeta diretamente a velocidade de desenvolvimento da resistência. Diversos fatores influenciam a resistência do concreto, tanto na fase não endurecida (mistura) quanto na fase endurecida (cura), à medida que a resistência aumenta, conforme observado por Botelho e Marchetti (2004).

O concreto é amplamente empregado em estruturas prediais devido à sua boa resistência à compressão em relação ao custo de produção. Por isso, a resistência à compressão geralmente é especificada em classes, como baixa, média e moderada resistência, segundo Mehta e Monteiro (2014).

Além disso, o concreto é classificado como um material sólido Hookeano, estando sujeito às leis de Hooke. Assim, em sua deformação elástica, apresenta proporcionalidade entre tensões e deformação, conforme os autores.

Para Botelho e Marchetti (2004), o teste que determina a resistência à compressão do concreto é considerado rápido, pois o intervalo entre a aplicação das tensões de compressão e o rompimento ocorre em poucos minutos. Ensaio realizado com o concreto em estado rígido permite avaliar as características do material após o endurecimento. Contudo, é inviável realizar essa verificação a partir de amostras retiradas diretamente da obra. Por isso, procede-se à coleta de amostras do concreto ainda em estado fresco, conforme a NBR NM 33 (ABNT, 1998). Essas amostras são moldadas em corpos de prova e colocadas em câmaras úmidas para promover a cura ideal, conforme a NBR 9479 (ABNT, 1994).

O regime plástico ocorre quando há um alto nível de tensões, no qual a deformação deixa de ser proporcional à tensão aplicada. Nesse regime, a deformação se torna permanente, ou seja, o material não retorna à forma original após a remoção da tensão. Essa deformação permanente caracteriza a ductilidade do material. No entanto, o concreto não se enquadra

nessa categoria. Mehta e Monteiro (2014) afirmam que o concreto não pode ser considerado um material dúctil, embora apresente características inelásticas antes do rompimento. Os mesmos autores citam que os aditivos que reduzem a relação água-cimento empregada no concreto demonstram potencial de elevar a resistência tanto inicial como final do concreto.

3.4. Adensamento

Ao confeccionar um concreto, deve-se observar diversos aspectos que envolvem sua produção. Esses aspectos estão presentes em todas as etapas, desde a mistura, realizada em centrais de dosagem ou betoneiras fixas, até seu lançamento nas formas na obra. A qualidade obtida nesses processos depende de fatores como o transporte do material sem segregação, a manutenção do índice de água adequado, o tempo para seu destino na obra, o lançamento a alturas excessivas, a ausência de adensamento nas formas e a falta de uma cura apropriada, de acordo com Botelho e Marchetti (2004).

Para que o concreto apresente um índice de vazios reduzido após o lançamento nas formas, é necessário compactá-lo utilizando procedimentos manuais ou mecânicos. Essa etapa promove a expulsão do ar presente no material, facilitando o rearranjo interno dos agregados e garantindo melhor contato com as formas, fibras e ferragens. O adensamento manual é empregado em estruturas menores, enquanto o adensamento mecânico utiliza soquetes específicos, aplicando entre 100 e 150 golpes por minuto. O processo de vibração faz com que as partículas de concreto se movimentem oscilatoriamente, como partículas de um fluido, conferindo ao material um coeficiente de viscosidade adequado (BAUER, 2000).

A diminuição dos vazios no interior do concreto reflete diretamente no aumento de sua resistência, uma vez que esses vazios se tornam pontos de concentração de tensões, favorecendo o surgimento de fissuras. Tais tensões, em vez de se dissiparem na matriz cimentícia, encontram nos vazios um ponto de fragilidade. Dessa forma, a redução dos vazios contribui significativamente para a melhoria das propriedades mecânicas do material (YAZIGI, 2008).

3.5. Fibras

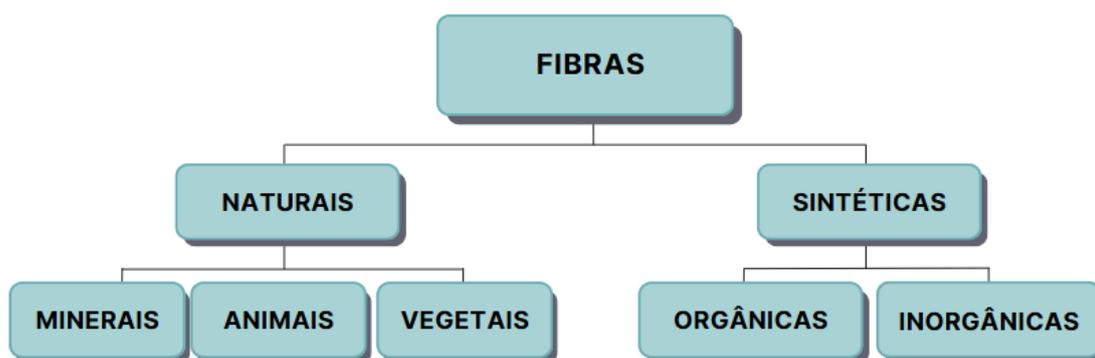
A utilização de fibras em diversas atividades remonta às primeiras civilizações, com aplicações que se expandiram e técnicas que se aprimoraram ao longo do tempo. Atualmente, essas fibras são amplamente empregadas em segmentos industriais variados, como o setor

têxtil e a construção civil. Neste último, elas são utilizadas como reforço em compósitos com matrizes poliméricas, metálicas ou cerâmicas (MARQUES, 2015).

Fibras são elementos descontínuos, longos e finos, que apresentam elevada resistência à tração em sua direção longitudinal e podem ser classificadas como microfibras ou macrofibras. As microfibras possuem diâmetro variando entre 10 e 30 μm e comprimento de 3 a 18 mm, sendo particularmente vantajosas para o controle de retração e fissuração em matrizes frágeis durante a fase plástica. Já as macrofibras apresentam diâmetro superior a 0,30 mm, comprimento de 30 a 60 mm, e são recomendadas para conferir resistência residual após a fissuração do compósito (SALVADOR, 2013).

As fibras também podem ser caracterizadas pela sua origem (Figura 2), classificando-se como naturais ou sintéticas. De acordo com Cunha (2012), as fibras naturais subdividem-se em três grupos: minerais, animais e vegetais. As fibras minerais, como as de amianto, possuem cadeias cristalinas extensas. As de origem animal, como lã e seda, apresentam composição proteica, enquanto as vegetais são lignocelulósicas, como as de coco, juta e sisal. Por outro lado, as fibras sintéticas podem ser orgânicas, formadas por polímeros como acrílico, polietileno e polipropileno, ou inorgânicas, como as de vidro e metálicas.

Figura 2: Classificação dos tipos de fibra.



Fonte: (Adaptado) Ferraz, 2011.

Mehta e Monteiro (2014) definem como Concreto Reforçado com Fibras (CRF), ou Fiber-Reinforced Concrete (FRC), o concreto produzido a partir de cimento hidráulico, agregados, água e fibras discretas e descontínuas. A introdução de fibras no concreto mostrou que a rápida propagação de microfissuras, geradas por esforços de tração, foi reduzida, o que

resultou em um aumento da resistência à tração do material. Apesar do mercado de concreto reforçado com fibras ainda ser pequeno em comparação à produção total de concreto, registrou-se um crescimento anual de 20% na América do Norte.

3.5.1. Propriedades das fibras

As características das fibras naturais dependem, principalmente, de sua composição química. Contudo, fatores como localização geográfica, clima, tipo de fibra, parte da planta e condições do solo influenciam aspectos como cristalinidade, propriedades de superfície, diâmetro, forma, tamanho, força e rigidez das fibras (BLEDZKI; GASSAN, 1999; SPARNIAS, 2006).

Thakur e Singha (2010) afirmam que as propriedades mecânicas das fibras estão ligadas à percentagem de celulose, ao grau de polimerização dessa celulose e ao ângulo microfibrilar. Fibras com alta concentração de celulose, elevado grau de polimerização e menor ângulo microfibrilar apresentam maior resistência à tração. Essas propriedades, no entanto, podem variar tanto ao longo do comprimento da fibra quanto entre diferentes fibras.

Olorunnisola (2007) ressalta que fibras naturais são amplamente disponíveis, têm baixo custo e demandam pouco consumo energético. Normalmente adicionadas de forma descontínua à matriz de cimento, elas desempenham funções como reforçar, retardar e controlar fissuras de tração.

Neto e Pardini (2006) destacam como vantagens das fibras vegetais:

- Baixa densidade;
- Maciez e menor abrasividade;
- Custo reduzido;
- Reciclabilidade, atoxicidade e biodegradabilidade;
- Baixo consumo de energia na produção.

Por outro lado, as limitações incluem:

- Temperaturas de processamento limitadas;
- Grande variabilidade nas propriedades mecânicas e estabilidade dimensional reduzida;
- Sensibilidade a variações ambientais, como umidade e temperatura;
- Geometria complexa e não uniforme nas seções transversais;
- Propriedades mecânicas inferiores às fibras sintéticas (vidro, carbono, etc.).

De acordo com Santos (2006), um fator importante na escolha do tipo de fibra é o módulo de elasticidade. Conforme apresentado na Tabela 3 (BLEDZKI; GASSAN, 1999), as propriedades mecânicas das fibras naturais são inferiores às fibras de vidro (E-vidro) e de carbono, mas, considerando a densidade da E-vidro ser cerca de 45% maior, as fibras naturais demonstram propriedades comparáveis.

Tabela 3: Propriedades mecânicas de fibras vegetais e de fibras convencionais usadas como reforço.

Fibra	Densidade (g/cm ³)	Alongamento (%)	Resistência à Tração	MOE (GPa)
Coco	1,2	30	175	4,0-6,0
Algodão	1,5-1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Cânhamo	-	1,6	690	-
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Sisal	1,5	2,0-2,5	511-635	9,4-22,0
Kraft	1,5	-	1000	40
E-vidro	2,5	2,5	2000-3500	70
Carbono padrão	1,4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0

Fonte: (Adaptado) Bledzki e Gassan,1999.

3.5.2. Fibra de coco

O coqueiro (*Cocos nucifera L.*), pertencente à família Aracaceae, é uma palmeira alta que alcança de 10 a 20 m de altura. Seu fruto é amplamente utilizado para alimentação, produção de óleo, fibras, combustível e outros produtos. O coco é cultivado em cerca de 90 países, sendo típico de climas tropicais e subtropicais, com destaque para Filipinas, Indonésia e Índia como os maiores produtores mundiais (TAVARES, 2010).

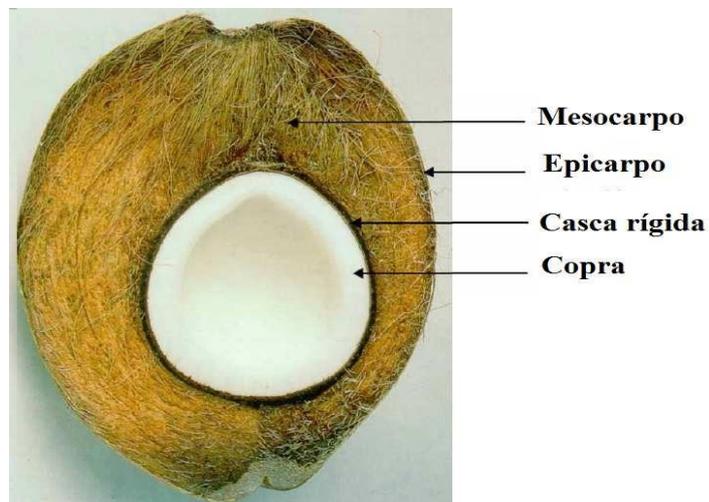
Figura 3: Coqueiro (*Cocos nucifera* L.)



Fonte: AUTORA, 2025.

O fruto do coqueiro (Figura 4) é classificado botanicamente como uma drupa, composta por um epicarpo que reveste o mesocarpo, caracterizado por sua espessura e estrutura fibrosa. Internamente, encontra-se o endocarpo, uma camada rígida e fina que protege a copra – o albúmen sólido –, uma porção carnosa, branca e rica em óleo, que envolve uma cavidade preenchida pelo albúmen líquido, conhecido como água de coco (VALE et al., 2004).

Figura 4: Coco (*Cocos nucifera* L.)



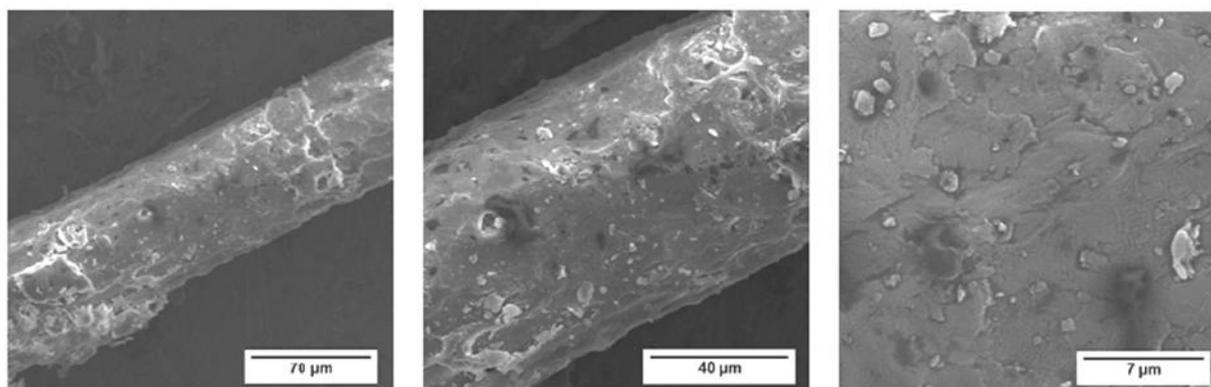
Fonte: Ferraz, 2011.

O coco oferece diversas vantagens, como resistência à água, fungos e térmitas, excelente isolamento térmico e acústico, possibilidade de modificação química e fácil reciclagem (GEETHAMMA et al., 1998).

Pesquisas indicam o potencial de utilização do resíduo da casca do coco verde em diversas áreas, como na agricultura intensiva, especialmente no cultivo de plantas ornamentais e hortaliças, na indústria de papel, na engenharia de alimentos – como complemento alimentar para humanos e animais –, na produção de enzimas e na construção civil, aplicado em matrizes cimentícias e poliméricas. O reaproveitamento da casca do coco verde, seja como resíduo industrial ou sólido urbano, representa uma oportunidade adicional de geração de renda (SENHORAS, 2004).

As fibras de coco são obtidas a partir do mesocarpo do fruto e apresentam elevado teor de lignina (GEETHAMMA et al., 1998). De acordo com Rajan et al. (2005), a fibra de coco, classificada como uma fibra dura, possui estrutura multicelular e baixa densidade, com comprimento variando entre 10 e 35 cm e diâmetro de 0,1 a 0,3 mm. Conforme ilustrado na Figura 5, a superfície da fibra de coco é recoberta por óleos, ceras e extrativos, características naturais das fibras lignocelulósicas (CARVALHO et al., 2010).

Figura 5: Fotomicrografia da fibra de coco in natura.



Fonte: Carvalho et al., 2010.

A fibra de coco é constituída predominantemente por celulose, hemicelulose, lignina e compostos secundários. A Tabela 4 apresenta uma síntese, baseada em diferentes autores, dos principais componentes químicos que caracterizam a composição básica da fibra de coco verde.

Tabela 4: Composição química da fibra de coco.

Hemicelulose (%)	Celulose (%)	Lignina (%)	Referências
0,25	43,4	45,4	Rajan et al.(2005)
15 - 28	35 - 60	20 - 48	Agopyan et al. (2005)
16,8	68,9	32,1	Asasutjarit et al. (2007)
0,15 – 0,25	36 - 43	41 - 45	Corradini et al. (2006)
12,1	44,2	32,8	Abdul Khalil; Siti Alwani; Mohd Omar (2006)

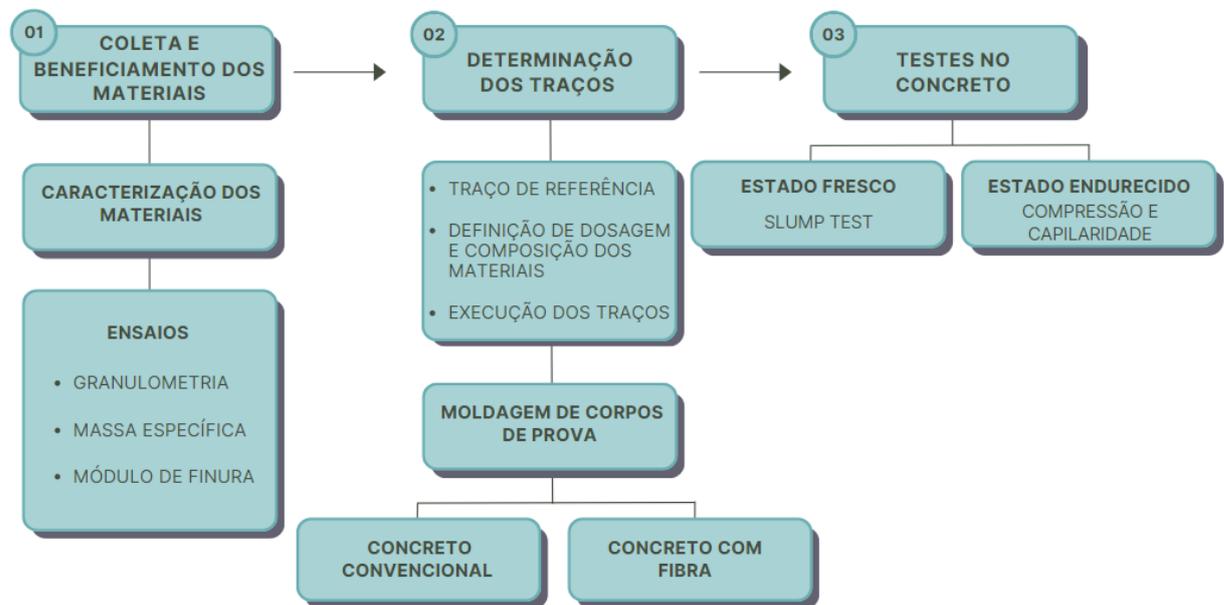
Fonte: (Adaptado) Ferraz, 2011.

De acordo com Vandam et al. (2004), a lignina presente no coco apresenta um teor de 2 a 4 vezes superior ao encontrado em fibras como a juta e o sisal, o que lhe confere características únicas em comparação às demais fibras naturais. Esse comportamento pode ser explicado pela função desempenhada pela lignina, que atua na união dos tecidos vegetais, no fortalecimento das paredes celulares das fibras e na proteção dos carboidratos contra danos de natureza física e química (RAJAN et al., 2005)

4. METODOLOGIA

O presente projeto apresenta em seu corpo uma pesquisa quantitativa de caráter experimental, que para a consecução de seus desígnios consistiu-se em um conjunto de etapas: coleta e beneficiamento dos materiais, caracterização dos materiais, determinação dos traços e testes no concreto. O fluxograma correspondente a essa metodologia encontra-se representado na Figura 6.

Figura 6: Fluxograma da metodologia usada.



Fonte: AUTORA, 2025.

4.1. Coleta e beneficiamento dos materiais

A fibra de coco verde que foi utilizada pode ser encontrada e coletada em uma fábrica de água de coco situada na região. A proposta consistiu em empregar as fibras provenientes do descarte dos cocos utilizados após determinadas etapas de produção na fábrica. Até então, tais resíduos não possuíam uma destinação específica associada ao seu reaproveitamento. Todas as características do material foram baseadas nos dados técnicos da Tabela 5 por Savastano Jr. (2000) em vista da não existência de materiais para a obtenção de determinadas informações.

Tabela 5: Propriedades físicas e mecânicas da fibra de coco.

PROPRIEDADES DO COCO	MASSA ESPECÍFICA (Kg/m ³)	ABSORÇÃO MÁXIMA (%)	ALONGAMENTO NA RUPTURA (mm)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
Savastano Jr. (2000)	1177	93,8	23,9 a 51,4	95 a 118	2,8

Fonte: Savastano Jr. (2000).

Conforme o estudo proposto por Prates (2019) foram adotadas fibras de todos os tamanhos, sem ter sido realizado nenhum processo de padronização ou submissão prévia de tratamento químico assim como representadas na Figura 7 e Figura 8.

Figura 7: Amostras de fibras de coco.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 8: Fibras de coco.



Fonte: AUTORA, 2025.

Os agregados miúdos e graúdos foram disponibilizados pelo laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Serra Talhada, que está localizado na Rodovia PE 320, Zona Rural. O cimento utilizado foi o CP II-Z- 32 (adição de pozolana), a escolha do material se deu devido a sua disponibilidade e facilidade de ser obtido nas lojas de materiais de construção da região. O aditivo empregado foi o redutor de água tipo 2 - RA2 (com intervalo médio para pega normal), apresentando propriedades superplastificantes, designado como Muraplast FK 22, produzido pela MC Bauchemie, com a densidade de 1,16 kg/L e dosagem recomendada pelo fabricante sendo $\geq 0,2\% \leq 3,0\%$ sobre o peso do cimento. O fornecimento desse componente foi realizado por uma empresa sediada na cidade de Serra Talhada. Na Tabela 6, a seguir, consta um resumo dos materiais que foram utilizados para a produção dos traços de concreto.

Tabela 6: Materiais utilizados para confecção do concreto.

MATERIAIS	CIMENTO	AGREGADO MIÚDO	AGREGADO GRAÚDO	AGREGADO EXTRA	ADITIVO
	CP II-F- 32	Areia média	Brita 01	Fibra de coco	RA2

Fonte: AUTORA, 2025.

4.2. Caracterização dos materiais

Os procedimentos de caracterização foram realizados de acordo com as normas específicas para cada tipo de material que foi empregado na formulação dos traços. Por meio de análises laboratoriais foram conduzidos os ensaios representados na Figura 9.

Figura 9: Ensaios e normas utilizados para caracterização dos materiais.



Fonte: AUTORA, 2025.

4.3. Granulometria

4.3.1. Granulometria do agregado miúdo

A análise granulométrica do agregado miúdo natural foi conduzida de acordo com a norma ABNT NBR 17054 (2022). Para a execução do ensaio, foram coletadas duas amostras que já haviam sido previamente secas em estufa por no mínimo 24h, cada uma totalizando 300 g de material. O procedimento foi feito rigorosamente assegurando a análise precisa e abrangente da distribuição granulométrica do agregado, contribuindo para a obtenção de melhores resultados para uma fundamentação sólida no estudo do projeto. O material e o jogo de peneiras utilizado estão dispostos na Figura 10 e na Figura 11, proporcionando uma visualização clara do processo.

Figura 10: Amostra de material do agregado miúdo.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 11: Conjunto de peneiras utilizado.



Fonte: AUTORA, 2025.

4.3.2. Granulometria do agregado graúdo

Assim como foi realizado com o agregado miúdo, a composição granulométrica do agregado graúdo foi efetuada seguindo a ABNT NBR 17054 (2022). Levando em consideração a dimensão máxima nominal visual do agregado, foram utilizadas duas amostras de 5000 g para o agregado graúdo. O jogo de peneiras utilizado para obtenção da curva granulométrica está disposto na Figura 12, sendo que posteriormente o material passante na peneira de abertura 6.3 mm foi passado em uma peneira de abertura 4.8 mm de um conjunto de peneiras diferentes representado na Figura 13, visto que o primeiro conjunto estava incompleto.

Figura 12: Conjunto de peneiras.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 13: Peneira 4.8 mm utilizada.



Fonte: AUTORA, 2025.

4.4. Massa específica

4.4.1. Massa específica do agregado miúdo

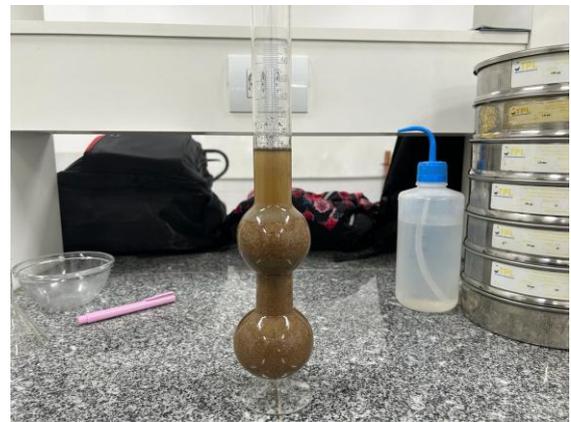
Os ensaios de massa específica foram realizados para garantir que os materiais resultantes fossem apropriados para posterior confecção da dosagem do traço. O agregado miúdo foi ensaiado conforme o método do picnômetro (Figura 14) e pelo do frasco de Chapman (Figura 15), segundo a DNER-ME 084/95 e a DNER-ME 194/98.

Figura 14: Realização pelo método do picnômetro.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 15: Realização pelo frasco de Chapman.



Fonte: AUTORA, 2025.

Utilizou-se a Fórmula 1 para a obtenção de resultados de acordo com método do picnômetro:

$$Dr = \frac{P2-P1}{(P4-P1)-(P3-P2)} \quad (1)$$

Sendo: Dr = Densidade real dos grãos em g/cm^3 ; $P1$ = Massa do picnômetro vazio em g; $P2$ = Massa do picnômetro + material em g; $P3$ = Massa do picnômetro + material em g + água em g; $P4$ = Massa do picnômetro + água em g.

Posteriormente realizaram-se os cálculos utilizando o método do frasco de Chapman através da Fórmula 2:

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (2)$$

Sendo: γ = Massa específica do agregado miúdo, expressa em g/cm^3 ; L = Leitura do

frasco (volume ocupado pelo conjunto água - agregado miúdo).

4.4.2. Massa específica do agregado graúdo

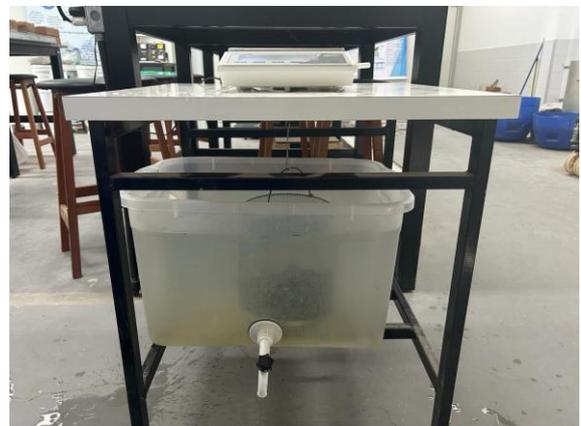
Com o propósito de determinação da massa específica do agregado graúdo foi empregada a NBR NM 53 (2003). A massa mínima da amostra foi determinada através da dimensão máxima característica visual, com isso foram utilizadas 3000 g, para uma melhor compreensão do procedimento adotado, as ilustrações presentes na Figura 16 e Figura 17 estão disponibilizadas posteriormente.

Figura 16: Amostra previamente saturada.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 17: Amostra submersa.



Fonte: AUTORA, 2025

Os resultados foram obtidos através dos cálculos prescritos pela Fórmula 3.

$$ds = \frac{Ms}{(Ms - Ma)} (g/cm^3) \quad (3)$$

Sendo: Ds: Massa específica do agregado na condição saturada; Ms = Massa de agregado saturado superfície seca; Ma = Massa de agregado submerso.

4.4.3. Massa específica do cimento Portland

A fim da obtenção da massa específica do cimento o ensaio foi realizado logo em sequência, seguindo as diretrizes da NBR NM 23 (2000). Utilizaram-se duas amostras de 60 gramas do material disposto no frasco volumétrico “Le Chatelier” como mostrado na Figura 18 e na Figura 19.

Figura 18: Amostra de cimento.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 19: Frascos com amostras.



Fonte: AUTORA, 2025.

A realização dos cálculos foi conduzida empregando a Fórmula 4.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4)$$

Sendo: ρ = Massa específica do material ensaiado, em g/cm³; m = Massa do material ensaiado, em gramas; v = Volume deslocado pela massa do material ensaiado, em cm³.

4.5. Módulo de finura

4.5.1. Módulo de finura do cimento Portland

Seguindo especificações da NBR 11579 o processo para determinação da finura do cimento Portland foi realizado. Foi utilizada a peneira de abertura 75 μm (nº 200) para uma única amostra de 50 g, como descrito na norma. As ilustrações presentes na Figura 20 e Figura 21 representam etapas da execução do ensaio.

Figura 20: Pesagem da amostra de cimento.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 21: Peneiramento da amostra.



Fonte: AUTORA, 202

Os resultados foram obtidos de acordo com a utilização da Fórmula 5.

$$F = \frac{RC}{M} \times 100 \quad (5)$$

Sendo: F = índice de finura do cimento, em porcentagem; R = resíduo do cimento na peneira 75 μm , em g; M = massa inicial do cimento, em g; C = fator de correção da peneira utilizada no ensaio, determinado de acordo com o disposto na EB-22, devendo estar compreendido no intervalo de $1,00 \pm 0,20$.

4.6. Determinação dos traços

Todo concreto produzido seguiu uma dosagem conforme o estudo sugerido por Weber (2018), o qual visa analisar o concreto com adição de agregados diferentes dos concretos convencionais. Nesta pesquisa os percentuais de fibras utilizados serão os mesmos usados por Prates (2019), o qual visa uma análise do desempenho do concreto com a utilização da fibra de coco como agregado, utilizando um traço definido em uma proporção conforme a Tabela 7. A relação água/cimento (0,41) foi mantida.

Tabela 7: Proporção de materiais (traço utilizado).

CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA/CIMENTO
1	1,4	2,4	0,41
1 : 1,4 : 2,4 : 0,41			

Fonte: AUTORA, 2025.

Seguindo o referido traço indicado na Tabela 7, 4 dosagens de materiais foram realizadas de acordo com as proporções adotadas, sendo a primeira com 100% de agregado natural e as próximas dosagens com substituições de 2%, 5% e 8% do peso seco do agregado convencional pela fibra de coco, como está indicado na Tabela 8. No atual estudo foi proposto o uso de 1% de aditivo do tipo superplastificante em cima da quantidade de cimento utilizada, de modo a propiciar uma melhor trabalhabilidade ao material.

Tabela 8: Traço conforme proporção dos materiais.

Nº TRAÇO	IDENTIFICAÇÃO	COMPOSIÇÃO	ADITIVO
1	T1F0 (Referência)	100% de agregados convencionais + 0% de fibra	1%
2	T2F2 (Adição)	98% de agregados convencionais + 2% de fibra	1%
3	T3F5 (Adição)	95% de agregados convencionais + 5% de fibra	1%
4	T4F8 (Adição)	92% de agregados convencionais + 8% de fibra	1%

Fonte: AUTORA, 2025.

Com base na disponibilidade de moldes fornecidos, foi estabelecida uma quantidade de 12 corpos de prova para cada uma das dosagens. Foram destinados 9 para a realização do ensaio de compressão, distribuídos em três conjuntos, ou seja, cada um correspondendo a uma idade de cura, sendo elas: 7, 14 e 28 dias. O restante foi destinado para a realização do ensaio de capilaridade. Dessa forma, foram utilizados 48 corpos de prova no total. Para melhor compreensão a Tabela 9 está disponibilizada posteriormente.

Tabela 9: Quantidade de corpos de prova por idades e total.

Quantidade de CP	
7 dias	3
14 dias	3
28 dias	3
Capilaridade	3
Quant. Total	12
Total de CP	48

Fonte: AUTORA, 2025.

Para as seguintes etapas, envolvendo a produção e os testes no concreto foram rigorosamente seguidas as normas indicadas na Figura 22.

Figura 22: Ensaio e normas utilizados para produção de testes no concreto.



Fonte: AUTORA, 2025.

4.6.1. Moldagem de corpos de prova

A confecção dos corpos de prova seguiu o padrão regido pela ABNT NBR 5738 (2015), sendo utilizados moldes cilíndricos, com dimensões 100x200mm e volume total de 0,0016 m³ que já estavam preparados com desmoldante específico, realizando, assim, a

moldagem de 12 unidades para cada traço. Os moldes foram acomodados em uma superfície horizontal inflexível livre de vibrações e intempéries pelo período de 24 horas, posteriormente, os corpos de prova foram direcionados para um reservatório preenchido com água de admissível qualidade visual até o seu determinado tempo de cura. Para uma melhor compreensão do procedimento adotado, as ilustrações presentes na Figura 23 e Figura 24 estão disponibilizadas posteriormente.

Figura 23: Disposição de materiais para confecção do traço.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 24: Moldes preenchidos e submetidos ao descanso de 24 horas.



Fonte: AUTORA, 2025.

4.7. Testes no concreto fresco e endurecido

4.7.1. Slump Test

Logo após o término da mistura do concreto, foi realizado o abatimento do tronco de cone (Slump Test) das diferentes amostragens de traço do concreto (Figura 25 e Figura 26), seguindo as recomendações e procedimentos estabelecidos pela NBR NM 67 (1998).

Figura 25: Execução do Slump Test.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 26: Obtenção de altura de abatimento.



Fonte: AUTORA, 2025.

4.7.2. Resistência à compressão

Após o tempo de cura, foi iniciado o processo de capeamento dos corpos de prova para uniformizá-los, de modo a assegurar a planicidade e a orientação perpendicular em relação ao eixo longitudinal dos mesmos, obtendo melhor contato das peças com as placas da prensa para receber as cargas do ensaio de compressão. Conforme a ABNT NBR 5739 (05/2018), foram realizados os ensaios de acordo com cada respectiva idade de 7,14 e 28 dias, para análise de resistência como ilustrado na Figura 27 e na Figura 28.

Figura 27: Capeamento do corpo de prova.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 28: Rompimento do corpo de prova.



Fonte: AUTORA, 2025.

4.7.3. Absorção por capilaridade

Os corpos de prova que foram submetidos ao teste de absorção por capilaridade seguiram o mesmo processo de cura submersa e de rompimento. Seguindo as diretrizes da NBR 9779:2012 foi possível a obtenção da altura de absorção da água pelo concreto na idade de 28 dias para cada respectivo traço, assim como demonstradas na Figura 29 e Figura 30.

Figura 29: Rompimento de corpo de prova.



Fonte: AUTORA, 2025.

Figura 30: Leitura da altura de absorção de água.



Fonte: AUTORA, 2025.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados foram obtidos ao longo do estudo por meio da realização de 10 ensaios propostos, organizados de acordo com 3 categorias listadas. Considerando o número de repetições realizadas para cada ensaio, a quantidade total de procedimentos chegou a 67, conforme mostrado na Tabela 10.

Tabela 10: Ensaio realizados.

ENSAIOS			
DESCRIÇÃO	NORMA	QUANTIDADE	
AGREGADOS E AGLOMERANTE	GRANULOMETRIA		
	Agregado miúdo	ABNT NBR 17054 (2022)	2
	Agregado graúdo	ABNT NBR 17054 (2022)	2
	MASSA ESPECÍFICA		
	Agregado miúdo	DNER-ME 194/98 e a DNER-ME 084/95	2
	Agregado graúdo	NBR NM 53 (2003)	2
	Cimento Portland	NBR NM 23 (2000)	2
	FINURA		
Cimento Portland	NBR 11579	1	
CONCRETO FRESCO	Moldagem dos corpos de prova	ABNT NBR 5738 (2015)	4
	Slump test	NBR NM 67:1998	4
CONCRETO ENDURECIDO	Compressão	ABNT NBR 5739 (05/2018)	36
	Absorção por capilaridade	NBR 9779:2012.	12
TOTAL		67	

Fonte: AUTORA, 2025.

Os dados obtidos durante toda a pesquisa focam nos aspectos experimentais e nas análises realizadas, seguindo rigorosamente os procedimentos estabelecidos pelas normas técnicas que foram aplicadas.

5.1. Granulometria

5.1.1. Granulometria do agregado miúdo

Com o propósito de identificar as propriedades do agregado miúdo, o ensaio de granulometria foi realizado por meio de peneiramento. Os dados obtidos são demonstrados em seguida na Tabela 11.

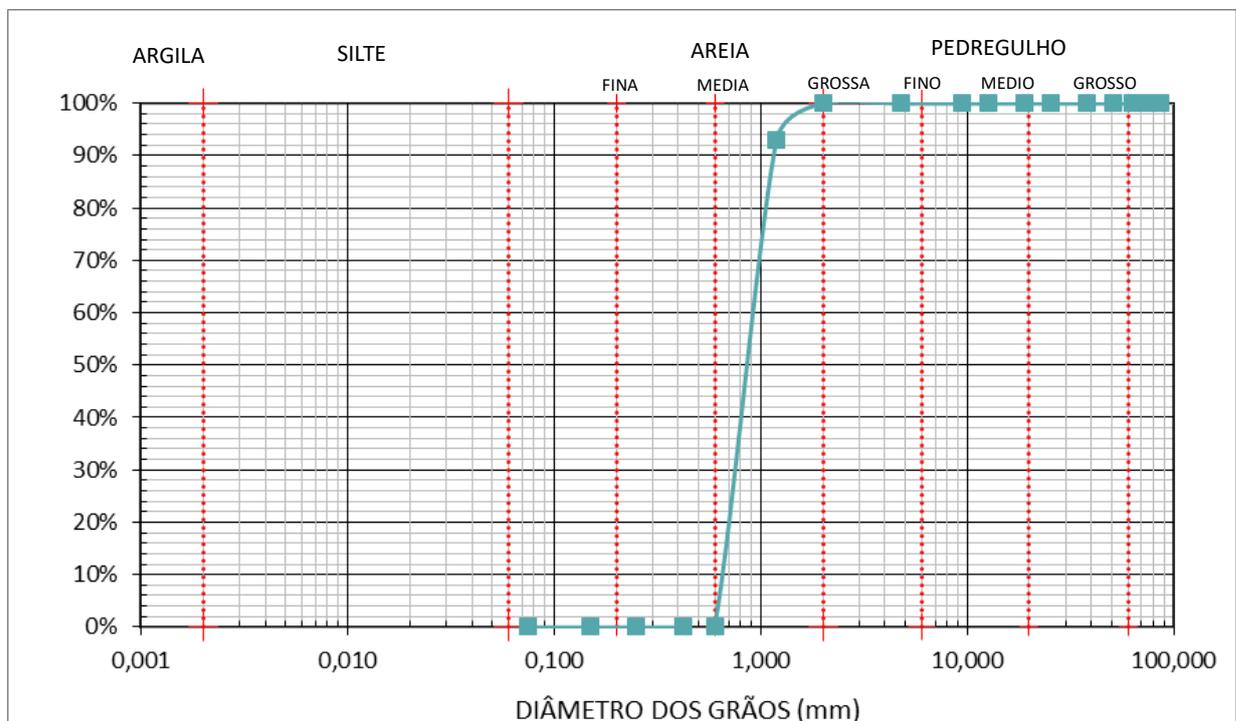
Tabela 11: Dados de caracterização do agregado miúdo.

Ensaio granulométrico agregado miúdo - ABNT NBR 17054 (2022)								
AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		A1	A2	Amostra inicial: 300 g		
PENEIRA	MAT. RETIDO (g)	PENEIRA	MAT. RETIDO (g)	% ret.	% ret.	vari.+/- 4%	Média %	Acumulada
4.8	0	4.8	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.4	0,36	2.4	0,25	0,12	0,084	-0,04	0,10	0,10
1.2	20,03	1.2	25	6,73	8,36	1,64	7,55	7,65
600 µm	64,44	600 µm	63,94	21,64	21,39	-0,25	21,52	29,16
300 µm	134,25	300 µm	139,48	45,08	46,67	1,59	45,88	75,04
150 µm	69,79	150 µm	64,2	23,44	21,48	-1,96	22,46	97,50
FUNDO	8,91	FUNDO	6	2,99	2,01	-0,98	2,50	100,00
total final	297,78	total final	298,87	100,00	100,00			
D. Máx 2,4 mm								
M. Finura: 2,10 mm								

Fonte: AUTORA, 2025.

Como indicado em norma as duas amostras não deferiram mais do que o valor de 4% e possuíram resultados aproximados. O agregado apresentou o diâmetro máximo de 2,4 mm, o módulo de finura de 2,10 mm e através da curva granulométrica (Gráfico 1) o mesmo foi definido como uma areia média fina.

Gráfico 1: Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: AUTORA, 2025.

5.1.2. Granulometria do agregado graúdo

De maneira análoga ao padrão do procedimento apresentado anteriormente, as características do agregado graúdo também foram obtidas através do peneiramento, seguido dos dados expostos na Tabela 12.

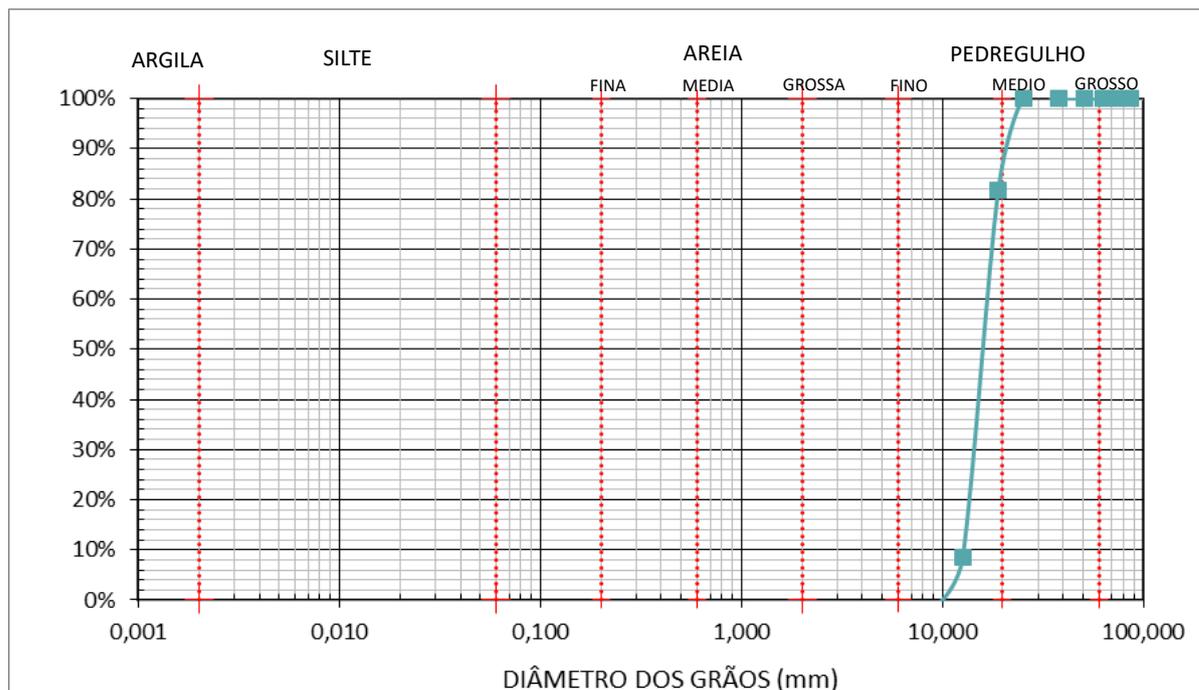
Tabela 12 : Dados de caracterização do agregado graúdo.

Ensaio granulométrico agregado graúdo - ABNT NBR 17054 (2022)								
AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		A1	A2	Amostra inicial: 5000 g		
PENEIRA	MAT. RETIDO (g)	PENEIRA	MAT. RETIDO (g)	% ret.	% ret.	vari.+/- 4%	Média %	Acumulada
25	0	25	0	0	0	0,00	0,00	0,00
19	841,4	19	880,3	16,84	17,61	0,77	17,23	17,23
12.5	3584,6	12.5	3529,3	71,76	70,62	-1,15	71,19	88,42
9.5	443,7	9.5	451,6	8,88	9,04	0,15	8,96	97,38
6.3	92,7	6.3	120,7	1,86	2,42	0,56	2,14	99,51
4.8	24,5	4.8	11	0,49	0,22	-0,27	0,36	99,87
FUNDO	8,1	FUNDO	5	0,16	0,10	-0,06	0,13	100,00
total final	4995	total final	4997,9	100,00	100,00			
D. Máx: 19 mm								
M. Finura: 2,14 mm								

Fonte: AUTORA, 2025.

Diante dos dados é notável que ambas amostras tiveram aproximação nos resultados, com o agregado apresentando o diâmetro máximo de 19 mm e o módulo de finura de 2,14 mm sendo classificado como brita 1 através da curva granulométrica (Gráfico 2).

Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado graúdo.



5.2. Massa específica

5.2.1. Massa específica do agregado miúdo

Com a aplicação do método do picnômetro foi determinada a massa específica conforme exposto na Tabela 13. Levando em consideração como é indicado em norma, as determinações consecutivas feitas com as amostras do mesmo material não diferiram entre si mais de $0,05 \text{ g/cm}^3$. Com isso, o agregado miúdo obteve um valor médio de massa específica de $2,62 \text{ g/cm}^3$.

Tabela 13: Resultados do procedimento pelo método do picnômetro.

Massa específica pelo método do picnômetro - DNER-ME (084/95)		
	Amostra 1	Amostra 2
Peso do picnômetro (P1)	103,8 g	106,2 g
Peso do picnômetro + Amostra (P2)	603,3 g	605,7 g
Peso do picnômetro + Amostra + Água (P3)	955,9 g	969,5 g
Peso do picnômetro + Água (P4)	646,3 g	660,4 g
Massa específica (g/cm^3)	2,63	2,62
Resultado médio (g/cm^3)	2,62	

Fonte: AUTORA, 2025.

Para execução do segundo método, foram coletados os dados das leituras de acordo com cada amostra que também não apresentaram diferença de $0,02 \text{ g/cm}^3$ (como requerido em norma), com a média dos valores encontrados, obteve-se um valor de massa específica igual a $2,62 \text{ g/cm}^3$, como demonstrado na Tabela 14.

Tabela 14: Resultados do procedimento pelo método do frasco de Chapman.

Massa específica pelo método do frasco de Chapman - DNER-ME (194/98)		
	Amostra 1	Amostra 2
Leitura do frasco (ml)	390	391
Massa específica (g/cm^3)	2,63	2,61
Resultado médio (g/cm^3)	2,62	

Fonte: AUTORA, 2025.

Com isso, diante da ausência de discrepâncias nos resultados obtidos com ambos métodos, a massa específica do agregado miúdo foi considerada com valor geral de $2,62 \text{ g/cm}^3$.

5.2.2. Massa específica do agregado graúdo

Visando a obtenção dos resultados da massa específica do agregado graúdo, foram seguidas as especificações descritas na norma de referência. A média dos valores das amostras foi de $2,62 \text{ g/cm}^3$, conforme representado na Tabela 15.

Tabela 15: Resultados da massa específica do agregado graúdo.

Massa específica do agregado graúdo - NBR NM 53 (2003)		
Dados	Amostra 1	Amostra 2
Ms (g)	3016,41	3032,21
Ma (g)	1868,31	1882,53
Ds (g/cm^3)	2,62	2,63
Resultado médio (g/cm^3)	2,62	

Fonte: AUTORA, 2025.

5.2.3. Massa específica do cimento Portland

Conforme apresentado na Tabela 16, os resultados obtidos para as duas amostras durante a realização do ensaio foram semelhantes e em conformidade com as especificações da norma, obtendo a média de valores de $2,96 \text{ g/cm}^3$.

Tabela 16: Resultados da massa específica do cimento Portland.

Massa específica do cimento - NBR NM 23 (2000)		
Dados	Amostra 1	Amostra 1
Massa do cimento (g)	60	60
Leitura inicial do frasco (cm^3)	0,3	0,7
Leitura final do frasco (cm^3)	20,4	21,2
Peso específico (g/cm^3)	3	2,9
Resultado médio (g/cm^3)	2,96	

Fonte: AUTORA, 2025.

5.3. Módulo de finura

5.3.1. Módulo de finura do cimento Portland

A finura do cimento Portland foi considerada com o valor final de 1,46, expresso em porcentagem. Todos os resultados alcançados a partir da análise da amostra única estão organizados e representados na Tabela 17.

Tabela 17: Resultados da finura do cimento Portland.

Finura do cimento - NBR 11579	
Dados	Amostra
Resíduos de cimento na peneira 75 µm (g)	0,73
Massa inicial do cimento (g)	50
Fator de correção	1
Resultado (%)	1,46

Fonte: AUTORA, 2025.

5.4. Traço e Consumo de Insumos

Os resultados alcançados através dos ensaios de massa específica foram utilizados para determinar o consumo dos insumos que compõem o traço de concreto. Para isso, foi utilizado o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Em todos os traços, a relação água/cimento de 0,41 permaneceu constante.

Inicialmente, o consumo de cimento foi calculado utilizando a fórmula fornecida pelo método, resultando em 0,714 kg para 1 corpo de prova. Posteriormente, foi realizada a determinação dos demais materiais, por meio da multiplicação do índice do traço de cada material pelo consumo de cimento. Com os valores do consumo de todos os materiais necessários, foram calculadas as quantidades para 15 corpos de prova, incluindo 3 unidades extras além da quantidade prevista, como forma de garantir material adicional, caso necessário, conforme representado na Tabela 18.

Tabela 18: Consumo de materiais.

Consumo			
$Cc = \frac{1000}{\frac{1}{\delta c} + \frac{a}{\delta a} + \frac{b}{\delta b} + x}$	Insumos	Qtd p/ 1 CP	Qtd p/ 15 CP
	Cimento (kg)	0,714	10,71
	Areia (kg)	1,000	15,00
	Brita (kg)	1,714	25,71

Fonte: AUTORA, 2025.

A proporção de cada dosagem foi definida em massa. Em seguida, os consumos de cimento e agregados foram ajustados de acordo com a dosagem de cada traço, considerando a porcentagem de fibra a ser adicionada. Todos os dados estão organizados e representados na Tabela 19.

Tabela 19: Consumo de materiais de acordo com dosagens dos traços.

Consumo de insumos para traços de referência e com fibra (4 dosagens)							
ID	Traço	Cimento (kg)	Agregado miúdo (kg)	Agregado graúdo (kg)	Fibra (kg)	Água (l)	Aditivo(ml)
T1F0	Ref. 1	10,71	15,00	25,71	0,00	4,39	107,10
T2F2	0,02	10,71	15,00	25,20	0,51	4,39	107,10
T3F5	0,05	10,71	15,00	24,43	1,29	4,39	107,10
T4F8	0,08	10,71	15,00	23,65	2,06	4,39	107,10

Fonte: AUTORA, 2025.

5.5. Slump test

A quantidade de aditivo seguiu o valor calculado inicialmente, resultando em um concreto plástico na primeira dosagem (T1F0), com um abatimento de 10 cm. No entanto, ao incorporar gradativamente a fibra de coco em cada traço, a plasticidade foi reduzida, o que levou a valores menores de abatimento. O menor valor foi registrado na dosagem T4F8 com a maior proporção de fibra (8%), indicando um desempenho inferior em relação às demais porcentagens analisadas. A Tabela 20 demonstra os valores de abatimento para cada uma das quatro dosagens.

Tabela 20: Abatimentos obtidos.

Slump test - NBR NM 67:1998			
ID	Traço	Aditivo (ml)	Abatimento (cm)
T1F0	Ref. 1	107,10	10
T2F2	0,02	107,10	9
T3F5	0,05	107,10	9
T4F8	0,08	107,10	7

Fonte: AUTORA, 2025.

5.6. Resistência à compressão e Absorção por capilaridade

5.6.1. Dosagem 1: T1F0

Os resultados obtidos referentes ao tratamento categorizado nos tempos de 7, 14 e 28 dias, estão dispostos na Tabela 21.

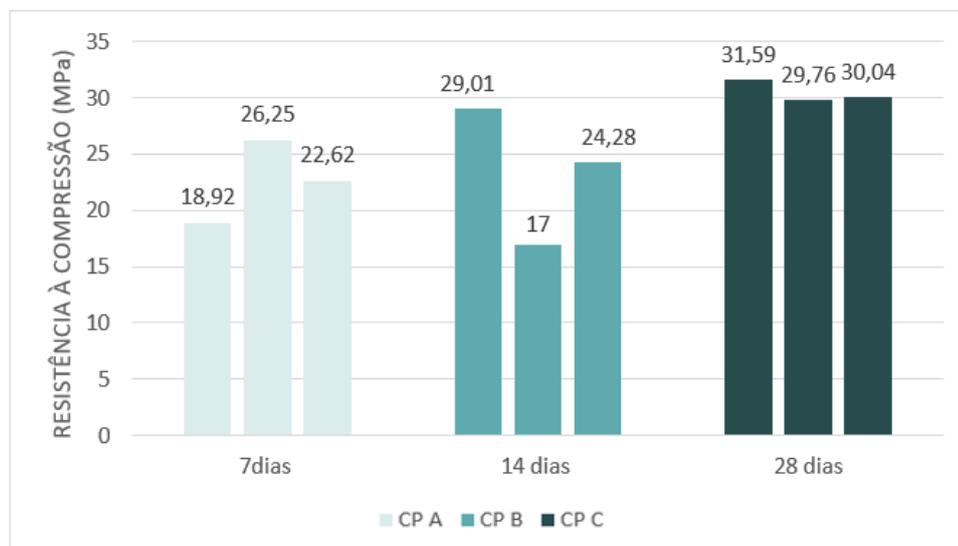
Tabela 21: Resistência à compressão da dosagem 1.

DOSAGEM 1 (T1F0)			
Idade de rompimento (dias)	Área (mm ²)	CP	Resistência (mpa)
7	7880,47	T1F0 A1	18,92
7	7867,90	T1F0 A2	26,25
7	7874,97	T1F0 A3	22,69
Média			22,62
14	7891,47	T1F0 B1	29,01
14	7889,90	T1F0 B2	17,00
14	7924,54	T1F0 B3	26,82
Média			24,28
28	7740,42	T1F0 C1	31,59
28	7906,42	T1F0 C2	29,76
28	7835,68	T1F0 C3	30,04
Média			30,46

Fonte: AUTORA, 2025.

Pode-se verificar que, no caso da resistência esperada para o traço de referência, o resultado foi adequado, atingindo 30 MPa aos 28 dias (Gráfico 3).

Gráfico 3: Resistência à compressão da dosagem 1.



Fonte: AUTORA, 2025.

O traço demonstrou um desempenho satisfatório, apesar de o corpo de prova T1F0 B2 ter exibido uma diminuição considerável. Um dos fatores que pode ter influenciado a queda no valor é a inconsistência no processo de cura.

Além disso, foram utilizados três corpos de prova no ensaio de capilaridade, realizado ao longo de 72 horas, com medições nos intervalos de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h. Os resultados

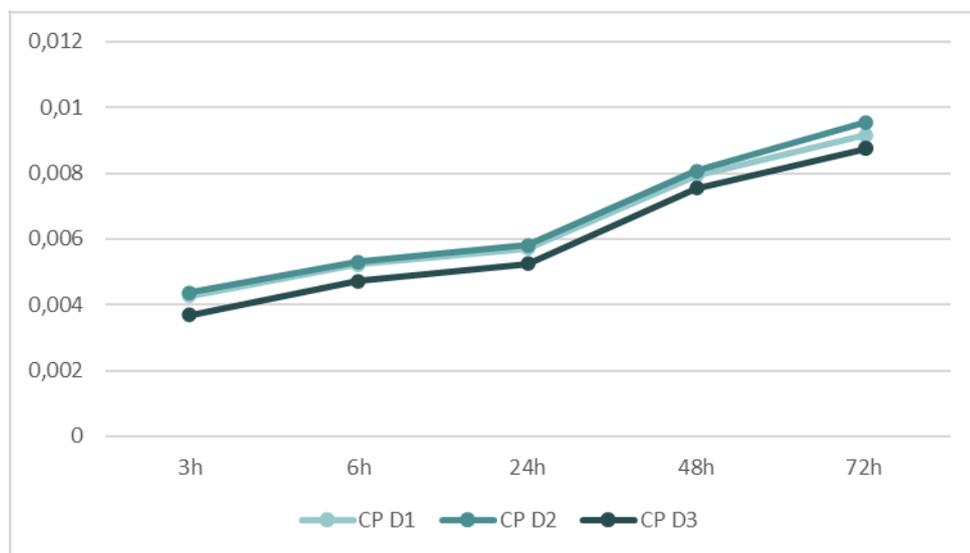
obtidos estão dispostos na Tabela 12 e no Gráfico 4. Essa quantidade de corpos de prova e a sequência metodológica adotada foram aplicadas às demais dosagens analisadas.

Tabela 22: Absorção por capilaridade da dosagem 1.

Leitura de ensaio de capilaridade (g/cm^3) - T1F0							
	Área	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h	Altura da água
T1F0 D1	7800	0,00428	0,005221	0,005708	0,007944	0,00917	3,5 cm
T1F0 D2	7789	0,00436	0,005309	0,005808	0,008069	0,009557	4 cm
T1F0 D3	7833	0,00368	0,004715	0,005237	0,007553	0,00876	4 cm

Fonte: AUTORA, 2025.

Gráfico 4: Absorção por capilaridade da dosagem 1.



Fonte: AUTORA, 2025.

5.6.2. Dosagem 2: T2F2

Na segunda dosagem (T2F2), observou-se que a resistência obtida aos 7 dias foi distinta daquela alcançada na dosagem 1 (T1F0) para o mesmo período de cura. Todos os resultados do ensaio de compressão para a segunda dosagem estão representados na Tabela 23.

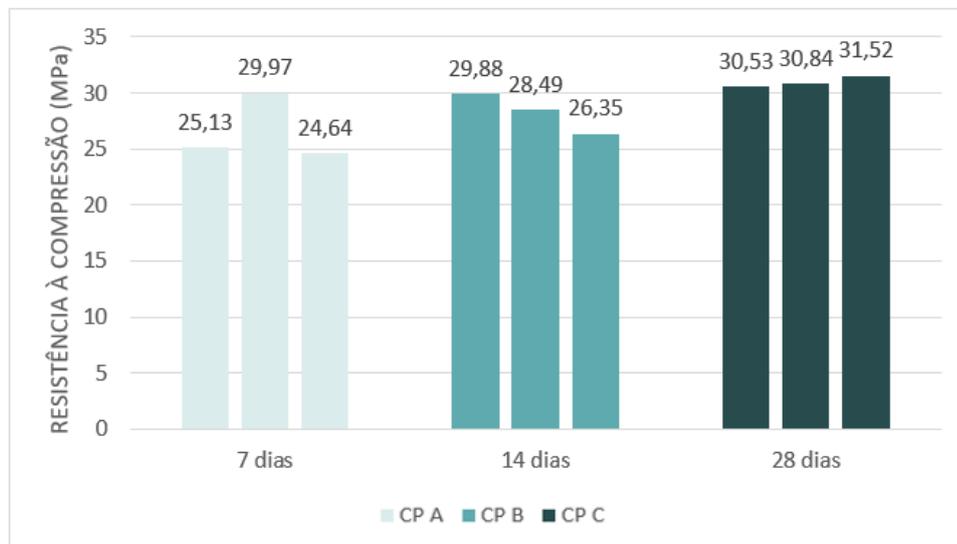
Tabela 23: Resistência à compressão da dosagem 2.

DOSAGEM 2 (T2F2)			
Idade de rompimento (dias)	Área (mm ²)	CP	Resistência (mpa)
7	7863,77	T2F2 A1	25,13
7	7876,98	T2F2 A2	29,97
7	7880,02	T2F2 A3	24,64
Média			26,58
14	7903,14	T2F2 B1	29,88
14	7864,08	T2F2 B2	28,49
14	7992,86	T2F2 B3	26,35
Média			28,24
28	7808,83	T2F2 C1	30,53
28	7905,72	T2F2 C2	30,84
28	7834,98	T2F2 C3	31,52
Média			30,96

Fonte: AUTORA, 2025.

Aos 14 dias, houve um aumento significativo na resistência, enquanto aos 28 dias constatou-se uma aproximação nos valores da resistência média em relação à dosagem 1 (T1F0). O Gráfico 5 demonstra ilustradamente os valores obtidos.

Gráfico 5: Resistência à compressão da dosagem 2.



Fonte: AUTORA, 2025.

Em relação à dosagem com fibras, a ligeira melhoria na resistência à compressão pode ser explicada pela capacidade das fibras de distribuir de forma mais uniforme a energia aplicada ao concreto, graças ao seu entrelaçamento com a argamassa e os agregados. Essa característica foi evidente ainda durante a produção da amostra, que demonstrou elevada resistência no momento da mistura. Por outro lado, na amostra sem a fibra de coco, essa mesma condição não foi observada.

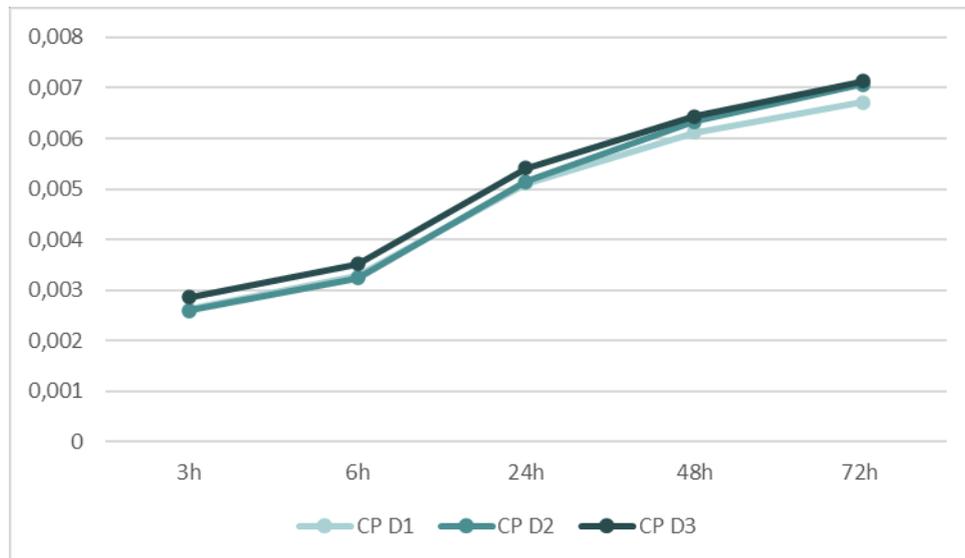
Conforme expostos na Tabela 24 e no Gráfico 6, os resultados da altura de ascensão capilar obtidos no ensaio mostraram-se superiores em relação às medições da dosagem 1 (T1F0). Além disso, foi observado um acréscimo nas leituras de absorção de água ao final das 72 horas de avaliação.

Tabela 24: Absorção por capilaridade da dosagem 2.

Leitura de ensaio de capilaridade (g/cm ³) - T2F2							
	Área	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h	Altura da água
T2F2 D1	7811	0,00262	0,003281	0,005107	0,006119	0,006718	6 cm
T2F2 D2	7758	0,00259	0,003239	0,005146	0,006342	0,007072	5,5 cm
T2F2 D3	7730	0,00286	0,003518	0,005408	0,006439	0,007126	5 cm

Fonte: AUTORA, 2025.

Gráfico 6: Absorção por capilaridade da dosagem 2.



Fonte: AUTORA, 2025.

5.6.3. Dosagem 3: T3F5

Com a substituição de 5% do agregado graúdo natural pela fibra de coco, o aumento da resistência foi constante em relação às médias dos ensaios nas dosagens anteriores, sendo o maior valor de 32,01 MPa, observado na idade de 28 dias, conforme exposto na Tabela 25.

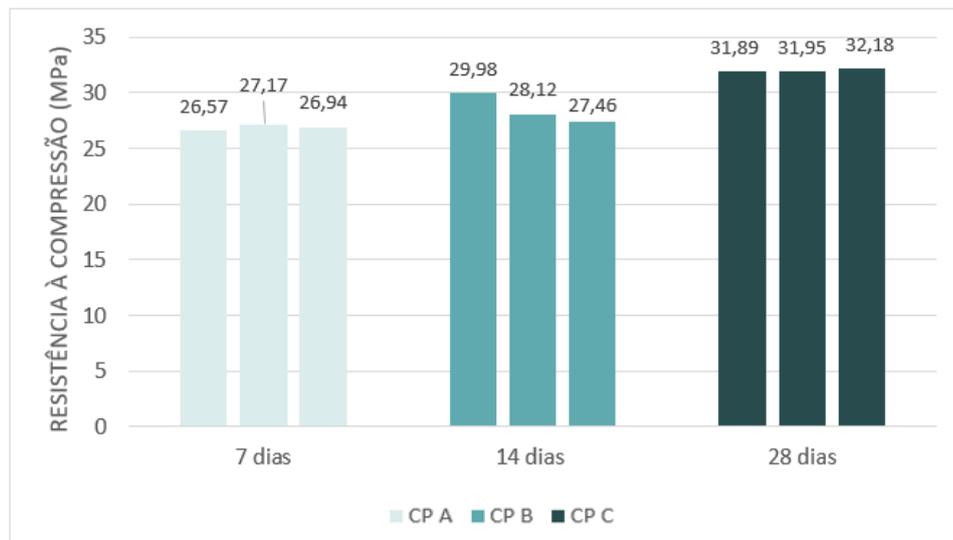
Tabela 25: Resistência à compressão da dosagem 3.

DOSAGEM 3 (T3F5)			
Idade de rompimento (dias)	Área (mm ²)	CP	Resistência (mpa)
7	7898,27	T3F5 A1	26,57
7	7885,7	T3F5 A2	27,17
7	7892,77	T3F5 A3	26,94
Média			26,89
14	7929,57	T3F5 B1	29,98
14	7928	T3F5 B2	28,12
14	7962,64	T3F5 B3	27,46
Média			28,52
28	7739,92	T3F5 C1	31,89
28	7905,92	T3F5 C2	31,95
28	7835,18	T3F5 C3	32,18
Média			32,01

Fonte: AUTORA, 2025.

A dosagem 3 (T3F5), com uma maior porcentagem de fibra de coco, apresentou resistência superior em relação às dosagens 1 (T1F0) e 2 (T2F2) (Gráfico 7). Segundo Fiorentin et al. (2021), esse resultado pode ser justificado, assim como indicar outra possibilidade para a melhoria da resistência em ambas as dosagens analisadas, pela rugosidade superficial das fibras, que, aliada ao seu maior comprimento, pode ter proporcionado uma maior tensão interfacial na composição interna do concreto.

Gráfico 7: Resistência à compressão da dosagem 3.



Fonte: AUTORA, 2025.

Para a dosagem 1 (T1F0), sem fibra, a resistência pode ter sido influenciada justamente pela ausência da tensão interfacial proporcionada pelo comprimento das fibras.

Mesmo que sua resistência tenha sido inferior às das demais dosagens estudadas, aos 14 dias apresentou um valor superior a 20 MPa, atendendo ao valor mínimo estabelecido pela NBR 6118 (2014) para concretos estruturais destinados a locais com baixa agressividade (Classe I).

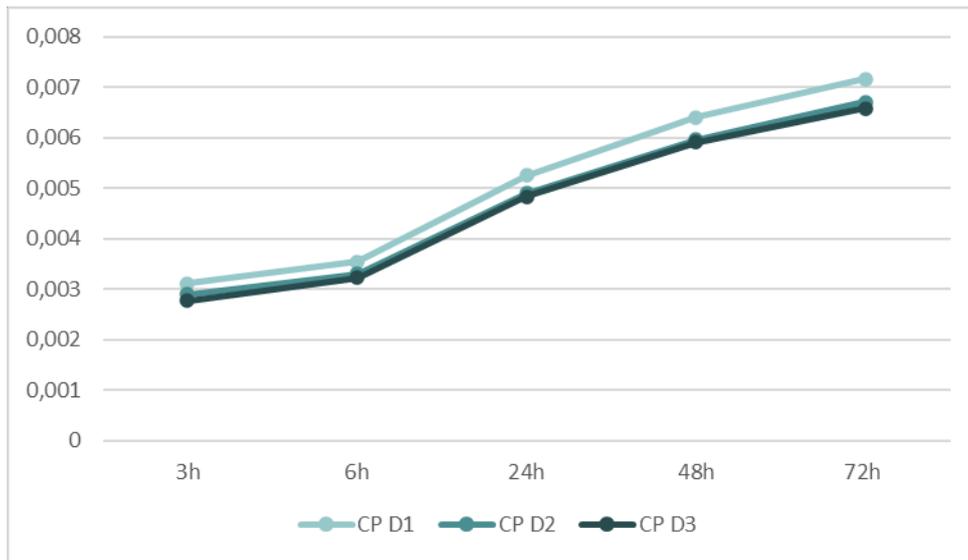
As leituras do ensaio de absorção de água, representadas na Tabela 26 e no Gráfico 8, mostraram-se similares às das dosagens anteriores, destacando-se uma proximidade particular com os resultados obtidos na T2F2, que contém 2% de substituição de fibra de coco

Tabela 26: Absorção por capilaridade da dosagem 3.

Leitura de ensaio de capilaridade (g/cm ³) - T3F5							
	Área	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h	Altura da água
T3F5 D1	7913	0,00312	0,003554	0,005254	0,006415	0,007167	6,0 cm
T3F5 D2	7917	0,00290	0,003302	0,004897	0,00597	0,006712	5, cm
T3F5 D3	7902	0,00278	0,00323	0,004843	0,00592	0,006591	5,5 cm

Fonte: AUTORA, 2025.

Gráfico 8: Absorção por capilaridade da dosagem 3.



Fonte: AUTORA, 2025.

5.6.4. Dosagem 4: T4F8

Conforme apresentado na Tabela 27, na quarta dosagem (T4F8), com a substituição de 8% do agregado graúdo por fibra de coco, a resistência à compressão apresentou um aumento considerável ao longo das idades de rompimento.

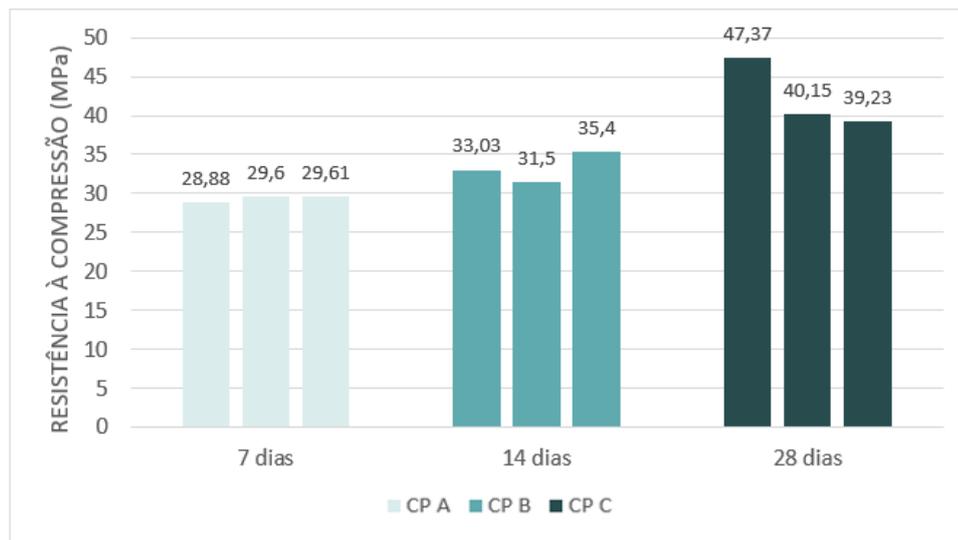
Tabela 27: Resistência à compressão da dosagem 4.

DOSAGEM 4 (T4F8)			
Idade de rompimento (dias)	Área (mm ²)	CP	Resistência (mpa)
7	7884,63	T4F8 A1	28,88
7	7872,06	T4F8 A2	29,60
7	7879,13	T4F8 A3	29,61
Média			29,36
14	7859,51	T4F8 B1	33,03
14	7897,06	T4F8 B2	31,50
14	7931,7	T4F8 B3	35,40
Média			33,31
28	7758,22	T4F8 C1	47,37
28	7924,22	T4F8 C2	40,15
28	7853,48	T4F8 C3	39,23
Média			42,25

Fonte: AUTORA, 2025.

Ainda que Prattes (2019) não tenha realizado ensaios de resistência à compressão com essa porcentagem de substituição, os resultados obtidos para essa dosagem (T4F8) foram superiores aos da dosagem com 5% (T3F5) de substituição de fibra. Em um de seus corpos de prova (T4F8 C1) a dosagem 4 chegou a apresentar o valor 47,37 Mpa na idade de 28 dias. O Gráfico 9 ilustra os resultados de resistência à compressão obtidos na quarta dosagem.

Gráfico 9: Resistência à compressão da dosagem 4.



Fonte: AUTORA, 2025.

Os resultados da altura da água no ensaio de capilaridade, representados na Tabela 28 e no Gráfico 10, indicaram um aumento em comparação à leitura anterior. As medições da absorção de capilaridade ao final do ensaio revelaram valores inferiores na dosagem de

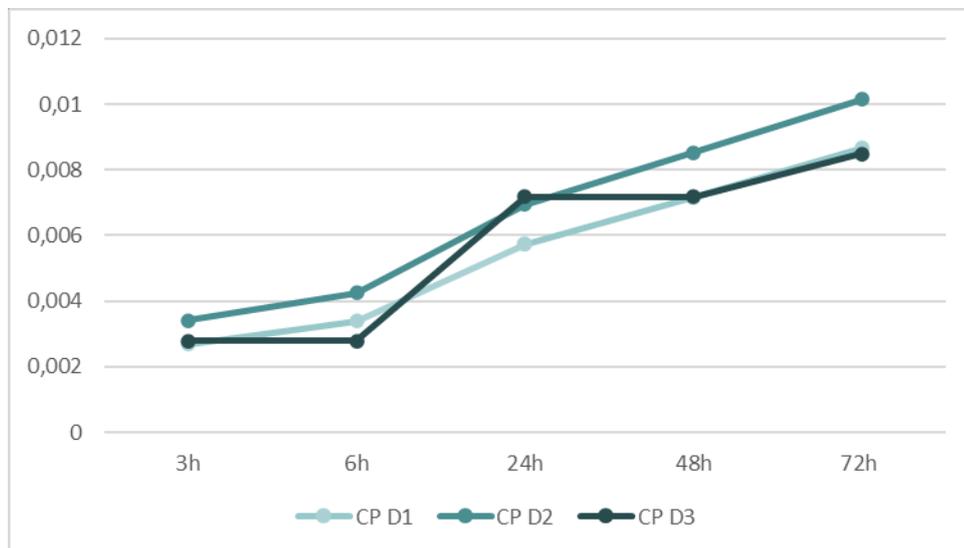
referência, assim como nas dosagens com 2% (T2F2) e 5% (T3F5) de substituição de fibra de coco.

Tabela 28: Absorção por capilaridade da dosagem 4.

Leitura de ensaio de capilaridade (g/cm^3) - T4F8							
	Área	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h	Altura da água
T4F8 D1	7853	0,00268	0,003386	0,005734	0,007157	0,008669	7 cm
T4F8 D2	7731	0,00342	0,00425	0,006954	0,008529	0,010158	7 cm
T4F8 D3	7958	0,00279	0,003503	0,005867	0,007172	0,008487	6,5 cm

Fonte: AUTORA, 2025.

Gráfico 10: Absorção por capilaridade da dosagem 4.



Fonte: AUTORA, 2025.

5.6.5. Desempenho Comparativo

As quatro dosagens apresentaram um crescimento uniforme no comportamento das médias de resistência à compressão, mas com alterações significativas nos valores para as idades de 7, 14 e 28 dias quando comparadas. A dosagem 1 (T1F0), em relação às outras, obteve o menor valor médio, com sua resistência máxima de 30,46 MPa aos 28 dias. Em comparação com a dosagem 4 (T4F8), que obteve o melhor desempenho (42,25 MPa), houve um aumento de 27,91%. Todos os valores estão dispostos na Tabela 29.

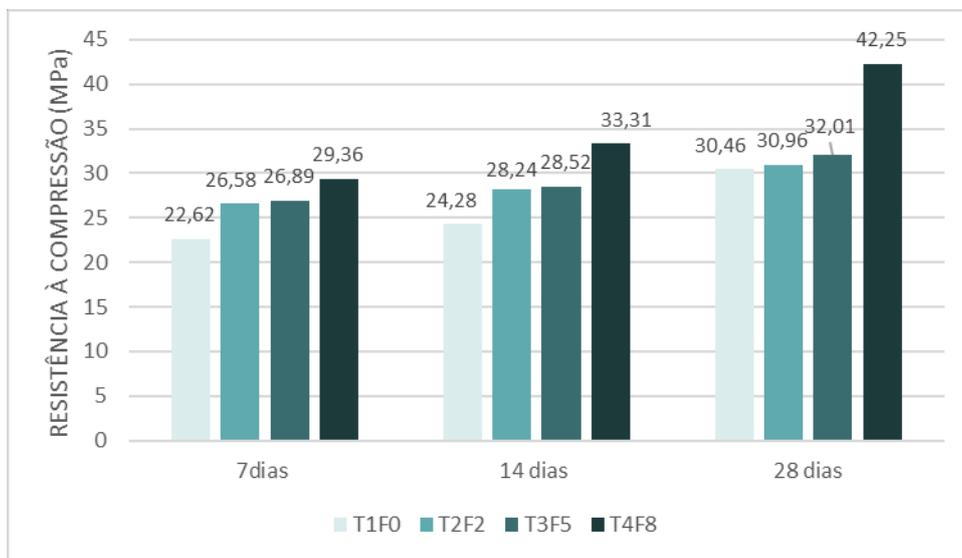
Tabela 29: Médias de resistência à compressão de todas as dosagens.

Resistência média para dosagens (MPa)				
Idade de rompimento (dias)	T1F0	T2F2	T3F5	T4F8
7	22,62	26,58	26,89	29,36
14	24,28	28,24	28,52	33,31
28	30,46	30,96	32,01	42,25

Fonte: AUTORA, 2025.

Como pode ser observado no Gráfico 11, ao comparar as dosagens, nenhuma das que continham fibra de coco apresentou redução de resistência em relação à T1F0.

Gráfico 11: Médias de resistência à compressão de todas as dosagens.



Fonte: AUTORA, 2025.

As dosagens com 2% (T2F2) e 5% (T3F5) demonstraram uma capacidade intermediária, mas sempre com valores superiores. Entre as dosagens com 5% (T3F5) e 8% (T4F8), que apresentaram as melhores resistências, a opção mais vantajosa seria a de 8% (T4F8), pois obteve os melhores resultados. Contudo, a trabalhabilidade dessa dosagem foi bem menor. Ainda assim, ao considerar a resistência relativamente superior, a utilização do traço com maior teor de fibras pode ser justificada, mesmo com a redução na trabalhabilidade.

Ao comparar com Prates (2019), observa-se que a Amostra 1 apresentou melhor desempenho nas idades iniciais de 7 e 14 dias, com resistência de 23,11 MPa e 23,37 MPa, respectivamente. No entanto, aos 28 dias, apresentou um desempenho inferior, atingindo apenas 23,75 MPa, cerca de 79,17% da meta esperada de 30 MPa. Já as amostras 2 e 3, que continham fibras, demonstraram melhor resistência final, atingindo 27,62 MPa e 27,79 MPa, respectivamente.

A influência positiva da adição de fibras na resistência à compressão do concreto foi evidente em ambas as pesquisas. Prates (2019) verificou que, embora as amostras com fibras apresentassem um crescimento inicial mais lento, ao final do período de cura elas superaram a resistência do concreto convencional. No entanto, os valores finais obtidos por Prates (2019) foram inferiores aos registrados nesta pesquisa, onde todas as dosagens apresentaram crescimento uniforme desde os primeiros dias de cura.

Nesta pesquisa, a resistência final das amostras com fibras foi superior, destacando-se a dosagem com 8% de fibras (T4F8), que obteve um ganho de 27,91% em relação ao concreto convencional. Esse resultado sugere que teores mais elevados de fibras podem proporcionar ganhos ainda maiores de resistência, desde que a perda de trabalhabilidade seja levada em consideração.

Outro aspecto relevante é que, enquanto Prates (2019) obteve resistências finais máximas de aproximadamente 27,79 MPa, esta pesquisa alcançou valores bem superiores, chegando a 42,25 MPa. Essa diferença pode estar associada a variações no traço do concreto, no tipo de fibra utilizada ou em outros fatores experimentais.

Alguns corpos de prova não se fragmentaram em vários pedaços, como ocorreu com o concreto sem fibras (Figura 31). A perda de massa foi praticamente nula, pois, com a adição de fibras, os corpos de prova não demonstraram uma dispersão significativa de energia ao romper; eles apenas fissuraram de forma branda. Essa característica pode ser considerada vantajosa para certos tipos de aplicação sem fibras.

Figura 31: Corpos de prova rompidos.



Fonte: AUTORA, 2025.

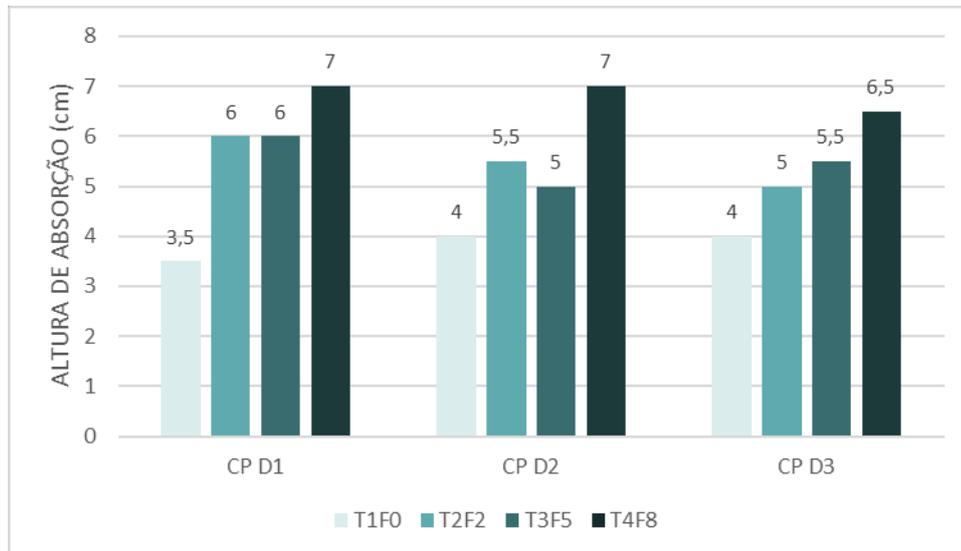
Paralelamente, foi analisada a altura de absorção das amostras com adição de fibras em comparação ao concreto de referência (T1F0), conforme apresentado na Tabela 30 e no Gráfico 12. No entanto, como Prates (2019) não realizou ensaios de capilaridade, não foi possível estabelecer uma comparação direta entre os resultados.

Tabela 30: Altura de absorção de todas as dosagens.

Altura de absorção de água para dosagens (cm)				
	T1F0	T2F2	T3F5	T4F8
CP D1	3,5	6	6	7
CP D2	4	5,5	5	7
CP D3	4	5	5,5	6,5

Fonte: AUTORA, 2025.

Gráfico 12: Altura de absorção de todas as dosagens.



Fonte: AUTORA, 2025.

Considerando que o teor de absorção está diretamente relacionado à resistência do concreto, de modo que um maior número de vazios resulta em menor resistência, verificou-se, ao analisar os tratamentos estudados, que o concreto T1F0, que apresentou a menor resistência, também exibiu o menor teor de absorção. Por outro lado, o concreto T4F8, que obteve a maior resistência, apresentou também o maior índice de absorção de água em ambos os períodos analisados.

Essa situação levanta uma preocupação de que o concreto com adição de fibra possa ter sua resistência afetada ao longo de períodos mais prolongados, devido à absorção, o que sugeriria um comportamento linear, em que, com o tempo, o aumento da absorção poderia ser

suficiente para degradar a fibra e, conseqüentemente, comprometer a durabilidade e a integridade física do concreto.

5.7. Avaliação econômica

Um ponto fundamental para a utilização da fibra de coco no setor da construção civil está associado ao fator econômico. Nesse sentido, com base em valores de bancos de dados para composição de planilhas orçamentárias, como SINAPI e EMBASA, as quantidades necessárias para a produção das dosagens foram precificadas de acordo com o valor unitário fornecido. Considerando a unidade de medida de cada item, foram realizadas conversões conforme a massa específica e a densidade dos materiais utilizados durante o estudo. Além disso, a fibra de coco não possui um valor significativo de mercado, uma vez que se trata de um material frequentemente descartado como resíduo. Na Tabela 31 estão representados os custos dos materiais utilizados na produção de cada uma das 4 dosagens com a adição de fibra, conforme as porcentagens propostas.

Tabela 31: Avaliação econômica das dosagens.

Valores para produção de dosagens												
Materiais	Fonte	Código	Valor unit.	Un.	T1F0		T2F2		T3F5		T4F8	
					Quant.	Total	Quant.	Total	Quant.	Total	Quant.	Total
Cimento Portland	SINAPI	1379	0,78	KG	10,7100	8,35	10,71	8,35	10,71	8,35	10,71	8,35
Areia	SINAPI	370	110	M3	0,0057	0,63	0,00573	0,63	0,00573	0,63	0,00573	0,63
Brita	SINAPI	4721	130,01	M3	0,0098	1,28	0,00962	1,25	0,00932	1,21	0,00903	1,17
Fibra de coco	-	-	0	KG	0,0000	0,00	0,51	0,00	1,29	0,00	2,06	0,00
Aditivo	SINAPI	43618	22,02	KG	0,1242	2,73	0,1242	2,73	0,1242	2,73	0,1242	2,73
Água	EMBASA-BA	D240000005	0,32	M3	0,0044	0,00	0,00439	0,00	0,00439	0,00	0,00439	0,00
Valor total para cada dosagem					13,00		12,97		12,93		12,89	

Fonte: AUTORA, 2025.

Foi observado que o custo para produção da dosagem de referência (T1F0) sem nenhum teor de fibra tem um valor de R\$ 13,00, sendo R\$ 0,11, em termos percentuais, 0,85% mais alto do que a dosagem 4 (T4F8) com maior teor de fibra. Com a redução percentual do valor por traço sendo de 0,23% para a dosagem 2 (T2F2) e 0,54% para a dosagem 3 (T3F5) é notável uma economia progressiva pois o custo diminui a cada aumento na porcentagem de fibra, mas por outro lado o percentual de economia (redução) não cresce continuamente; ele se estabiliza. Isso porque a adição de fibra está substituindo materiais como agregados (mais caros), mas essa substituição tem um limite de eficiência. Após certo ponto, o impacto econômico do aumento da fibra é reduzido, pois outros custos se tornam dominantes.

Avaliando o desempenho técnico das dosagens, a 4 (T4F8) não apresentou nenhuma

redução na resistência ou durabilidade, que em uma análise de custo-benefício a economia inicial pode acabar compensando também na necessidade de manutenções futuras. Embora o valor de redução da (T4F8) seja pequeno é importante ressaltar que se a produção envolvesse volumes de concreto maiores, a economia se amplificaria e a escolha poderia gerar economias mais significativas.

6. CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados da análise do concreto com a adição de fibras de coco obtidos no programa experimental da pesquisa, avaliou-se a resistência e o comportamento das fibras em diferentes porcentagens adicionadas ao concreto.

Ao analisar as amostras ensaiadas de forma sucinta, verificou-se que o T4F8, concreto com maior presença de fibra (8%) apresentou a maior resistência entre as dosagens, embora tenha registrado o menor valor de abatimento e maior teor de absorção. Por outro lado, o concreto sem fibra (T1F0) obteve os menores valores de resistência, mas o maior abatimento e menor teor de absorção.

Foi possível observar que as dosagens contendo fibras (T2F2, T3F5 e T4F8) apresentaram um desempenho significativamente superior em termos de resistência à compressão. Essa análise baseou-se nos resultados obtidos nos ensaios de resistência das diferentes dosagens, bem como na comparação entre a perda ou o ganho de resistência dos corpos de prova conforme os períodos propostos. Os resultados deste estudo indicam que, com a adição de fibras, houve uma melhoria nas características de resistência à compressão do concreto.

Portanto, a incorporação de fibras de coco nas matrizes cimentícias contribuiu para o aumento da resistência à compressão do concreto e para a sua tenacidade. Os resultados obtidos indicam a viabilidade do uso da fibra natural de coco em compósitos cimentícios. Do ponto de vista técnico, as propriedades físicas de resistência foram alcançadas, porém essa análise se limita ao período máximo de 28 dias.

Para trabalhos futuros, sugere-se realizar mais análises com diferentes porcentagens de fibras incorporadas ao concreto, avaliar o comportamento do material ao longo de períodos mais longos de vida, estudar a incorporação da fibra de coco em conjunto com outros materiais e analisar outras características mecânicas, como tração e flexão.

REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V; SAVASTANO JUNIOR, H. **Fibras vegetais como materiais de construção**. In: ISAIA, G. C. (editor) *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: Ibracon, 2007. 2v. 1721 p.
- AL ORAIMI S, S. **Mechanical characterization and impact behavior of concrete reinforced with natural fibres**, *Compos Struct*, v.32,p. 165-171, 1995.
- ALBUQUERQUE, A.S. **Agregados**. In: BAUER, L. A. F (org). *Materiais de Construção*. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. 2002. 30 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, UNESP, Ilha Solteira, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 5738: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 5739: Ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 9779: argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR NM 53: Agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR NM 23: Cimento portland e outros materiais em pó- determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -**NBR 17054. Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579: Cimento Portland-Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº200)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768: aditivos para concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.654: Controle Tecnológico de Materiais componente do concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.655: Controle de cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento- Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732: Cimento Portland Comum**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735: Cimento Portland de alto-forno**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736: Cimento Portland Pozolânico**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211. Agregados para concreto - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479: Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33: Concreto - Amostragem de Concreto Fresco.** Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67:1998. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

ASTM C125-21a. **Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.** West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021.

BAUER, L. A. F; NORONHA, M. A. A. **Estudo de dosagem.** In: BAUER, L. A. F (org). **Materiais de Construção.** 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. **Composites reinforced with cellulose based fibres.** Progress in Polymer Science, v. 24, n.2, p.221–274. 1999.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado, eu te amo.** 2. Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2004.

CARVALHO, K. C.C.; MULINARI, D. R.; VOORWALD, H. J. C.; CIOFFI, M. O. H. **Chemical modification effect on the mechanical properties of hips coconut fiber composites.** BioResources, v.5, n. 2, p.1143-1155, 2010.

CUNHA, P. W. S. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na construção civil.** 120 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

DE OLIVEIRA, D. **Análise de concreto com adição de fibra de coco para a produção de laje maciça**. Tese de Doutorado. Centro universitário de barra mansa. São Paulo. 2017.

DNER-ME 084/95. **Agregado Miúdo – determinação da densidade real. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, Brasil. 1995.

DNER-ME 194/98. **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, Brasil. 1998.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2014**. Brasil. DNPM, Ministério de Minas e Energia, Governo Federal. 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>. Acesso em: 27 fev. 2024.

EMBASA. Empresa Baiana de Águas e Saneamento. **Tabela de referência de preços**. Bahia, 2023. Disponível em: <https://www.embasa.ba.gov.br/tabela-de-preco/2023.1>. Acesso em: 22 de dez. 2024.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M.; BEJA, I. A. Agregados para a construção civil. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, v. 1, p. 481-523, 2007.

FERRAZ, J. M. **Produção e propriedades de painéis de fibra de coco verde (Cocos nucifera L.) em mistura com cimento Portland**. Brasília/DF. 2011.

FIORENTIN, L. D; ANDRETTA, E. R. Z; BATISTON, E. R. **Utilização de fibra de coco como componente para aumentar a resistência final do concreto**. Anais do Seminário Internacional de Arquitetura e Urbanismo-SIAU, v. 1, p. e27916-e27916, 2021.

GARCIA. A; SPIM J. A.; SANTOS C. A.; **Ensaio dos Materiais**, 2 ED. 2012.

GEETHAMMA, V. G.; K. MATHEW, T.; LAKSHMINARAYNAN, R. THOMAS, S. **Composite of short coir fibres and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fibre**. Polymer, v. 39, n. 6-7, p. 483-1491, 1998.

GUNASEKARAN, K.; KUMAR, P. S.; LAKSHMIPATH, M. **Mechanical and bond properties of coconut shell concrete**, Construction and Building Materials, v.25, p. 92-98, 2011.

HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. Dissertação (mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2002.

HELENE, P. R. L. **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto**. Workshop sobre durabilidade das construções. São José dos Campos, 2001.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**, v. 2, p. 945-984, 2007.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portlan. Cap. 27. In: ISAIA, G. C. (Ed.1) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto- IBRACON. 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Coco-da-baía**. Rio de Janeiro. IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coco-da-baia/br>. Acesso em: 25 fev. 2024.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

JÚNIOR, J. C. A.; SILVA, L. C. F.; MORAVIA, W. G. **Análise experimental da adição de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do concreto**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, p. e11780, 2017.

LA SERNA, H.; REZENDE, M. **Agregados para a construção civil**. DNPM, São Paulo, 2009.

MARQUES, M. G. S. **Estudo das Propriedades Físicas e Mecânicas e da Durabilidade de Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibra Amazônica**. 243 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

MEHTA, K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Microestruturas, Propriedades e Materiais**. 1. Ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MEHTA, K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Microestruturas, Propriedades e Materiais**. 1. Ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 1a ed. – Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 2006. p. 98-100.

NEVILLE, Adam Mathew. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

OLIVEIRA, C. A. S.; DE ARAÚJO GOUVEIA, L. L; TEIXEIRA, R. L. P. **Concreto estrutural com adição de fibras vegetais**. Construindo, 2014.

OLIVEIRA, H. M. **Propriedades do concreto endurecido** In: BAUER, L. A. F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

OLIVEIRA, Hélio Martins de. **Propriedades do concreto endurecido** In: BAUER, L. A. F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

OLORUNNISOLA, A. O. **Effects of particle geometry and chemical accelerator on strength properties of rattan-cement composites**. African Journal of Science and Technology: science and engineering Series, v. 8, n. 1, p. 22 – 27, 2007.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Globo, 1998.

PRATES, N. Q. **Análise comparativa da resistência á compressão axial e resistência a tração por compressão diametral entre o concreto convencional e concreto com fibra de coco verde**. Minas Gerais, 2019.

PRUDÊNCIO, J. L. R. **Concreto Projetado**. In: ISAIA, G.C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

RAJAN, A.; SENAN, C. R.; PAVITHRAN, C.; ABRAHAM, T. E. **Biosoftening of coir fiber using selected microorganisms**. Bioprocess and Biosystems Engineering, v.28, p. 165–173. 2005.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portlan**. 1. ed. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2015.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portlan**. 1. ed. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2015.

REIS, J. M. L. **Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete**. Construction and Building Materials, v.20, p. 6733-678, 2006.

SALVADOR, R. P. **Análise comparativa de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras**. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SANTOS, A. M. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e de coco para aplicações em Engenharia**. 2006, 90f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SANTOS, V. C. et al. Vigas de concreto reforçado com fibras de aço submetidas à flexão. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 16, n. 1, p. 01-15, 2020.

SANTOS, V. R. F. **Análise do desempenho de pisos táteis, intertravados, produzidos com agregados de resíduos de construção civil–RCC e fibras de aço**. 2014. Tese de Doutorado.

SAVASTANO JR., H. **Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção civil de baixo custo**. São Paulo, 2000. 144p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SENHORAS, E. M. **Oportunidades da Cadeia Agroindustrial do Coco Verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta**. Revista Urutágua, n. 5, Dezembro, 2004. Disponível em: http://www.urutagua.uem.br/005/22eco_senhoras.htm, Acesso em: 18 de novembro de 2024.

SILVA, D. M. **Fibras naturais como isolamento Acústico**. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, v. 12, n. 12, p. 41-44, 2017.

SILVA, E. et al. **Análise técnica para o reaproveitamento da fibra de coco na construção civil**. Ambiência, v. 11, n. 3, 2015

SILVA, E. J. et al. **Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 2, 2014.

SINAPI. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Sumário de publicações**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 22 de dez. 2024.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Relatório anual 2013**. Rio de Janeiro, SNIC, 2014. 46 p. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2013.pdf. Acesso em: 27 fev. 2024.

SOBRAL, E. S. **Propriedades do concreto fresco**. In: BAUER, L. A. F (org). *Materiais de Construção*. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

SPARNIAS, E. **Mechanical properties of flax fibers and their composites**. Licentiate Thesis. Sweden, 2006. 84p.

TAVARES, M. F. F. **Pós-coco: agregação de valor na cadeia produtiva do coco verde**. Disponível em <www.espm.br/centraldecases>, acesso em 18 de novembro de 2024.

THAKUR, V. K.; SINGHA, A. S. **Natural fibres-based polymers: Part I—Mechanical analysis of Pine needles reinforced biocomposites**. *Bulletin of Material Science*, v. 33, n. 3, p. 257–264, 2010.

VALE, A. T.; BARROSO, R. A.; QUIRINO, W. F. **Caracterização da biomassa e do carvão vegetal do coco da baía (*Cocos nucifera* L.) para uso energético**. *Biomassa & Energia*, v. 1, n. 4, p.365-370, 2004.

VANDAM, J. E. G.; VAN DEN OEVER, M. J. A.; KEIJSERS, E.; R. P. VAN DER PUTTEN, J. ANAYRON, C.; JOSOL, F.; PERALTA, A. G. **Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk Part 2: Coconut husk morphology, composition and properties**. *Industrial Crops and Products*. v.24, p.96–104. 2006.

VASCONCELOS, A. C. **Prática recomendada IBRACON para estruturas de edifícios de nível 1. Estruturas de pequeno porte**. In: Comitê técnico CT-301 concreto estrutural. São Paulo: IBRACON, 1997.

WEBER, M. **Análise de desempenho do concreto com a utilização de agregados reciclados da construção civil**. 2018, Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do vale do Taquari curso de engenharia civil. Lajeado, 2018.

YAZIGI, W. **A técnica de Edificar** 9. ed. São Paulo: Pini: SINDUSCON, 2008.