



**INSTITUTO
FEDERAL**

Ceará

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ

IFCE *CAMPUS* FORTALEZA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

MESTRADO ACADÊMICO EM TECNOLOGIA E GESTÃO

JÉSSICA MARIA DE PAIVA ABREU TEIXEIRA

ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA

MISTA COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE COCO

FORTALEZA

2020

JÉSSICA MARIA DE PAIVA ABREU TEIXEIRA

ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA MISTA
COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE COCO

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Acadêmico em Tecnologia e Gestão Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita

Coorientadora: Profa. Dra. Regina Célia Espinosa Modolo

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- T266e Teixeira, Jéssica Maria de Paiva Abreu.
 Estudo das propriedades físicas e mecânicas de argamassa mista com adição de fibras de coco / Jéssica Maria de Paiva Abreu Teixeira. - 2020.
 96 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2020.
 Orientação: Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita.
 Coorientação: Profa. Dra. Regina Célia Espinosa Modolo.
1. Fibra de coco. 2. Argamassa para revestimento. 3. Argamassas mistas. 4. Resistência mecânica. I. Título.

JÉSSICA MARIA DE PAIVA ABREU TEIXEIRA

ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA MISTA
COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE COCO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Tecnologia e Gestão Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito para obtenção do título de Mestra em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Mylene de Melo Vieira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Abrahão Bernardo Rohden
Universidade Regional de Blumenau (FURB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus, por tornar possível mais esta importante conquista em minha vida.

Ao Instituto Federal do Ceará – IFCE e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental pela oportunidade da realização do presente trabalho.

Ao meu esposo, Delfábio Teixeira, e aos meus pais, José Abreu e Liduina Maciel, por todo apoio e incentivo oferecido, não medindo esforços em ajudar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Esequiel Mesquita, pela orientação, dedicação, paciência, confiança e pela amizade durante o mestrado.

À coorientadora, Profa. Dra. Regina Modolo, por compartilhar seus conhecimentos, pelo incentivo e entusiasmo na elaboração deste trabalho.

À empresa Iapacoco pela doação da fibra da casca do coco utilizada nesta pesquisa.

À professora Lílian Brasileiro e aos funcionários da Faculdade Ari de Sá pela oportunidade e auxílios na realização dos ensaios desta pesquisa, em especial à Betânia e ao José do Laboratório de Materiais da Construção Civil.

Ao meu amigo, Davi Gomes, por toda a ajuda nos ensaios, pelo compromisso e companheirismo no desenvolvimento da pesquisa, meu sincero agradecimento.

Ao Helano e Paulo Vítor, pelo suporte na pesquisa no Laboratório de Materiais da Construção Civil na Universidade Federal do Ceará, *campus* Pici.

Ao Saboia, Viana e Jhonathan pela ajuda na pesquisa no Laboratório de Materiais da Construção Civil do IFCE, *campus* Fortaleza.

Ao Neto de Azevedo pela ajuda na pesquisa no Laboratório de Química, *campus* Camocim.

Ao NUTEC, na pessoa de Tec. Adriano pela solidariedade na pesquisa.

À professora Rafaela Fugita e ao Felipe Cavalcante, e à Enga. Joana Ribeiro, também pela solidariedade.

Ao professor Dr. Lucas da Silva, IFCE – *Campus* Quixadá, pela oportunidade em docência.

Aos meus amigos do mestrado, pelo carinho, pela troca de conhecimento e pelo companheirismo que passamos juntos nesta jornada.

A todos os professores que passaram pela minha formação, meu sincero agradecimento pelos conhecimentos e ensinamentos transmitidos.

RESUMO

As fibras vegetais têm sido utilizadas para reforço de compósitos e materiais da construção civil, com vantagens ambientais, econômicas e melhorias técnicas. Dentre essas fibras, a fibra da casca do coco apresenta-se como um material abundante e com características vantajosas para aplicação na construção civil. Portanto, constituiu-se objetivo deste trabalho analisar as propriedades físicas e mecânicas de argamassas de revestimento reforçadas com fibras da casca do coco. A metodologia da pesquisa utilizou duas formulações de argamassas mistas (cimento, cal e areia). As formulações receberam adição de 0,10%, 0,15% e 0,20% de fibra de coco, sobre a massa total da mistura. As fibras adicionadas possuíam comprimentos variados dentro do intervalo de 20 a 50 milímetros. Em seguida foram avaliados a densidade de massa aparente, módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão e resistência à compressão dos compósitos. Observou-se uma redução na densidade de massa em ambos os traços com adição de 0,15% e 0,20% de fibra, em relação aos traços de referência. Os resultados médios para o ensaio de módulo de elasticidade apresentaram para o traço A uma redução, em argamassas com adição de 0,10%, um pequeno aumento para a argamassa TAF15, e um aumento significativo de 12,40% para a argamassa TAF20. Para o ensaio de resistência à tração na flexão, pode-se observar que a incorporação de 0,15% de fibra (TAF15) e de 0,20% (TAF20) registraram valores elevados na resistência, resultando, respectivamente, em um aumento de 16,9% e 40,7%. No ensaio de resistência à compressão, metade das amostras apresentaram redução para essa medição, tendo o percentual de 0,20% de fibra, em ambos os traços, conseguido um incremento positivo de 14,0% para o traço A e 3,3% para o B. O tratamento estatístico através de análise de variância e teste de comparação múltipla, demonstrou que a fibra da casca do coco apresenta efeito significativo sobre os ensaios estudados. Conclui-se como percentual ótimo o valor de 0,20% de adição em argamassas mistas.

Palavras-chave: *Fibra de coco; Argamassa para revestimento; Argamassas mistas; Resistência mecânica.*

ABSTRACT

Vegetable fibers have been used to reinforce composites and construction materials, with environmental, economic and technical improvements. Among these fibers, the fiber of the coconut shell presents itself as an abundant material and with advantageous characteristics for application in construction. Therefore, the objective of this work is to analyze the physical and mechanical properties of mortars with coconut fibers added. The research methodology used two formulations of mortars (cement, lime and sand). The formulations received addition of 0.10%, 0.15% and 0.20% of coconut fiber, over the total mass. The added fibers had varying lengths within the range of 20 to 50 millimeters. Then, density, modulus of elasticity, flexural tensile strength and compressive strength of the composites were evaluated. There was a reduction in mass density in both samples with addition of 0.15% and 0.20% fiber, compared to the reference samples. The average results for the modulus of elasticity test showed for the A sample a reduction, in mortars with an addition of 0.10%, a small increase for the mortar TAF15, and a significant increase 12.40% for TAF20 mortar. For the flexural tensile strength test, it can be observed that the incorporation of 0.15% fiber (TAF15) and 0.20% (TAF20) registered high values in the resistance, resulting in an increase of 16.9% and 40.7%, respectively. In the compressive strength test, half of the samples showed a reduction for this measurement, with the percentage of 0.20% fiber, in both samples, achieving a positive increase of 14.0% for line A and 3.3% for B. The statistical treatment through analysis of variance and multiple comparison test, demonstrated that the fiber of the coconut shell has a significant effect on the studied tests. The value of 0.20% of addition in mixed mortars is concluded as an ideal percentage.

Keywords: *Coconut fiber; Mortar for coating; Mixed mortars; Mechanical resistance.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Produção e área colhida de coco no Brasil de 2000 a 2018	17
Figura 2 – Microscopia eletrônica da superfície das fibras de coco	24
Figura 3 – Trabalhabilidade e condições de aplicação da argamassa.	28
Figura 4 – Classificação dos compósitos segundo o material de reforço	30
Figura 5 – Mecanismos de falhas em compósitos.....	32
Figura 6 – Distribuição de patentes para compósitos com fibra de coco no Google <i>Patents</i>	33
Figura 7 – Local de produção da fibra da casca do coco	37
Figura 8 – Fibras de coco com comprimentos 20,0 e 50,0 mm.....	38
Figura 9 – Preparação das argamassas	41
Figura 10 – Moldes e corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos.....	43
Figura 11 – Medição do corpo-de-prova prismático	44
Figura 12 – Ensaio Módulo de elasticidade.....	45
Figura 13 – Ensaio de resistência à tração na flexão e corpos-de-prova após ensaio	46
Figura 14 – Ensaio de Resistência à compressão e corpo-de-prova após ensaio	47
Figura 15 – Ruptura do corpo-de-prova em ensaio de resistência à tração na flexão	61
Figura 16 – Fibras do coco unindo as faces de corpo-de-prova rompido.....	62
Figura 17 – Corpo-de-prova com fibras do coco após ensaio de resistência à compressão.....	71
Fluxograma 1 – Programa experimental da pesquisa	35
Gráfico 1 – Distribuição granulométrica da areia natural para módulo de finura entre 2,20 e 2,90 conforme NBR 7211	36
Gráfico 2 – Delimitação da amostra	40
Gráfico 3 – Média dos resultados para o ensaio de densidade de massa aparente .	50
Gráfico 4 – Distribuição dos resíduos para densidade de massa.....	51
Gráfico 5 – Efeito dos fatores Traço e Fibra para a densidade de massa.....	52
Gráfico 6 – Média dos resultados para o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico	54
Gráfico 7 – Distribuição dos resíduos para Módulo de elasticidade	55
Gráfico 8 – Efeito dos fatores Traço e Fibra para o módulo de elasticidade	56

Gráfico 9 – Interações entre Traço e Fibra para Módulo de elasticidade	57
Gráfico 10 – Interações entre Fibra e Traço para Módulo de elasticidade	57
Gráfico 11 – Média dos resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão.	60
Gráfico 12 – Distribuição dos resíduos para resistência à tração na flexão	63
Gráfico 13 – Efeito dos fatores Traço e Fibra para resistência à tração na flexão	64
Gráfico 14 – Interações entre Traço e Fibra para resistência à tração na flexão	65
Gráfico 15 – Interações entre Fibra e Traço para resistência à tração na flexão	65
Gráfico 16 – Média dos resultados para o ensaio de resistência à compressão	69
Gráfico 17 – Distribuição dos resíduos para resistência à compressão	72
Gráfico 18 – Efeito dos fatores Traço e Fibra para resistência à compressão	73
Gráfico 19 – Interações entre Traço e Fibra para resistência à compressão	73
Gráfico 20 – Interações entre Fibra e Traço para resistência à compressão	74
Gráfico 21 – Correlação entre as variáveis dependentes.....	77
Quadro 1 – Propriedade das argamassas para estado fresco e para estado endurecido	26
Quadro 2 – Estado de consistência das argamassas	27
Quadro 3 – Normas para caracterização da areia natural.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais produtores mundiais de coco em 2018	16
Tabela 2 – Percentuais de celulose, hemicelulose e lignina	22
Tabela 3 – Caracterização da fibra da casca do coco.....	22
Tabela 4 – Resumo das propriedades da fibra do coco	23
Tabela 5 – Espessuras admissíveis de revestimento para parede	25
Tabela 6 – Massa específica real, aparente e teor de umidade das fibras da casca do coco.....	39
Tabela 7 – Dosagem das argamassas.....	41
Tabela 8 – Normas para caracterização da argamassa no estado endurecido	42
Tabela 9 – Resultados médios de caracterização das argamassas.....	49
Tabela 10 – Tabela da ANOVA para Densidade de massa aparente das argamassas	52
Tabela 11 – Comparações por fator: FIBRA	53
Tabela 12 – Tabela da ANOVA para Módulo de elasticidade das argamassas	56
Tabela 13 – Comparações por fator para módulo de elasticidade	58
Tabela 14 – Resultados médios para o ensaio de resistência à tração na flexão	60
Tabela 15 – Tabela da ANOVA para resistência à tração na flexão das argamassas	63
Tabela 16 – Comparações por fator para resistência à tração na flexão das argamassas.....	66
Tabela 17 – Resultados médios para o ensaio de resistência à compressão	69
Tabela 18 – Tabela da ANOVA para resistência à compressão das argamassas	72
Tabela 19 – Comparações por fator para resistência à compressão	74
Tabela 20 – Matriz de correlação entre as variáveis dependentes	76
Tabela 21 – Teor de Fibra que otimiza as propriedades das argamassas	78
Tabela A 1– Análise granulométrica da areia – NBR 248/2003	92
Tabela A 2– Caracterização física da areia natural.....	92
Tabela B 1– Resultados do ensaio de densidade de massa aparente.....	93
Tabela C 1 – Resultados dos ensaios de Módulo de Elasticidade	94
Tabela D 1 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão	95
Tabela E 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão	96

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Produção de coco e geração de resíduo pós-consumo	16
2.2	A fibra do coco	19
2.2.1	Processo de obtenção da fibra e características	19
2.2.2	Características da fibra do coco	21
2.3	Argamassa de revestimento	24
2.4	Compósitos com fibras vegetais	30
2.4.1	Fibra do coco em compósitos cimentícios	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1	Caracterização dos materiais	36
3.1.1	Areia	36
3.1.2	Cimento e Cal	37
3.1.3	Fibra de coco	37
3.2	Definição da Amostra	39
3.3	Ensaaios no Estado Endurecido	42
3.3.1	Densidade de massa aparente	43
3.3.2	Módulo de elasticidade dinâmico	44
3.3.3	Resistência à tração na flexão	45
3.3.4	Resistência à compressão axial	46
3.4	Análise estatística	47
4	RESULTADOS	49
4.1	Densidade de massa aparente	49
4.1.1	Tratamento estatístico para densidade de massa aparente	51
4.2	Módulo de elasticidade dinâmico	53
4.2.1	Tratamento estatístico para módulo de elasticidade dinâmico	55
4.3	Resistência à tração na flexão	59
4.3.1	Tratamento estatístico para resistência à tração na flexão	63

4.4	Resistência à compressão.....	69
4.4.1	<i>Tratamento estatístico para resistência à compressão axial</i>	71
4.5	Estimativa de percentual ótimo de fibra.....	77
5	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS	83
	APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	92
	APÊNDICE B – RESULTADOS DO ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO	93
	APÊNDICE C – RESULTADOS DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRA-SÔNICA E DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE	94
	APÊNDICE D – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO	95
	APÊNDICE E – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	96
		96

1 INTRODUÇÃO

A cultura do coco tem considerável representação mundial, com produção do fruto acima de 60 milhões de toneladas, com destaque para os países da Ásia, conforme levantamento realizado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO (FAO, 2020). O Brasil também desponta com bom rendimento na produção de coco: faturamento anual de R\$ 4.844,00 por hectare (aproximadamente 215.683 ha de área colhida), ou seja, mais de um bilhão de reais movimentados pela indústria brasileira do coco (CADERNO SETORIAL ETENE, 2017). Tal cenário favorável para a produção do fruto, torna-se preocupante quando se analisa a questão do descarte do resíduo após o consumo, pois, são mais de 800 mil toneladas de cascas geradas por ano, as quais se configuram em um resíduo de grandes dimensões, com longo tempo de decomposição (ASSAD, 2017).

O descarte incorreto de resíduos potencializa a degradação ambiental e traz riscos à saúde pública. Para minimizar esse quadro, uma das ferramentas disponíveis para a gestão dos resíduos sólidos é a reciclagem desses materiais (ANTUNES *et al.*, 2013; GUIMARÃES, 2017).

Os discursos voltados para a sustentabilidade dos recursos naturais têm motivado a aplicação de fibras naturais como reforço em compósitos. Estas apresentam vantagens, em contraposição a polímeros artificiais, por serem, em sua maioria de baixa densidade (algumas fibras sintéticas plásticas podem ter densidades inferiores), terem elevada resistência à tração, e apresentarem baixo custo (CUNHA, 2012). As fibras vegetais mais citadas que apresentam alta possibilidade de aplicação em compósitos são as fibras da juta (*Corchorus capsularis*), da malva (Família *Malvaceae*), do rami (*Boehmeria nivea*), do abacaxi (*Ananas comosus*), do curauá (*Ananas erectifolius*), do sisal (*Agave sisalana*) e do coco (*cocus nucifera*). (CUNHA, 2012; CARDOSO, 2017; COSTA, 2019)

Como alternativa para a gestão dos resíduos do coco pós-consumo, a fibra e o pó extraídos da casca do coco podem tornar-se matéria-prima renovável e de baixo custo de aquisição, com possibilidade de aplicação em diversos tipos de processos produtivos, entre eles, como reforço em compósitos cimentícios.

O aproveitamento de resíduos sólidos reciclados, na construção civil e seus processos, busca a melhoria de propriedades como a resistência mecânica seus compósitos. Pode-se ver alguns dos primeiros estudos com essa finalidade

desenvolvido na Inglaterra no ano de 1970, e em 1980, no Brasil, pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED), em Camaçari, Bahia (CUNHA, 2012).

Verifica-se a aplicação da fibra do coco nos estudos de: Cunha (2012) – Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na construção civil; Silva, Marques e Fornari Jr (2012) – Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias; Gunasekaran *et al.* (2013) – *Study on reinforced lightweight coconut shell concrete beam behavior under torsion*; Jayapriithika e Sekar (2016) – *Stress-strain characteristics and flexural behavior of reinforced Eco-friendly coconut shell concrete*; e Kanojia & Jain (2017) – *Performance of coconut shell as coarse aggregate in concrete*.

A partir dos trabalhos expostos, percebe-se que é possível o uso de fibras da casca do coco como reforço em compósitos de matrizes cimentícias tais como concreto e argamassa, com obtenção de resultados favoráveis, como pode ser visto no trabalho de Bonato (2013), o qual obteve resultados superiores aos recomendados pelas normas brasileira em 16% para desempenho de concreto com fibra de coco à compressão axial. Entretanto, vê-se ainda demandas a serem estudadas relacionadas às formulações da matriz cimentícia, quantidade e comprimento de fibra a serem incorporadas, entre outros.

Além da problemática explanada a respeito da geração de resíduos da casca do coco, a justificativa desta pesquisa está em ainda serem poucos os trabalhos de incorporação de fibra do coco direcionados para argamassas de revestimento, em comparação com os muitos estudos realizados, nacional e internacionalmente, para o concreto, tais como os de Reis (2006), Rodríguez *et al.* (2011), Scheffer, Andrade e Reis (2018), Silva *et al.* (2018), Kanojia & Jain (2017), Ali (2014), Wang e Chouw (2017), Olukunle *et al.* (2018), Khan e Ali (2019), entre outros; na possibilidade de se obter para a construção civil um produto final com melhorias em sua qualidade; na probabilidade de interromper ou reduzir fissuras e deslocamentos nos revestimentos de construções; na necessidade de aprofundar a verificação de parâmetros mecânicos para diferentes formulações de argamassas reforçadas com fibra de coco, bem como testar percentuais de incorporação da fibra para variadas medidas de comprimentos da mesma, e em uma avaliação com precisão dos efeitos sobre a qualidade técnica do compósito por meio de tratamento estatístico dos dados coletados.

A estrutura desta pesquisa é composta por cinco tópicos principais, iniciando pela introdução ao tema, na qual consta a justificativa e os objetivos. O segundo capítulo foi reservado para a revisão bibliográfica sobre a fibra do coco, argamassa de revestimento e compósitos cimentícios com fibras vegetais. No capítulo terceiro é descrito o programa experimento e os ensaios para o mesmo. Os resultados obtidos são avaliados no Capítulo quatro. Por fim, o capítulo cinco conclui a pesquisa e apresenta sugestões para trabalhos futuros.

1.1 Objetivos

Para melhor compreensão do tema, os objetivos desta pesquisa serão apresentados em objetivo geral e específicos.

1.1.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as propriedades físicas e mecânicas de argamassas mistas reforçadas com fibras da casca de coco seco, para aplicação em revestimento.

1.1.2 *Objetivos específicos*

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Desenvolver formulações de argamassas com incorporação de fibra;
- b) Avaliar as propriedades das argamassas em seu estado endurecido para incorporação de 0,10%, 0,15% e 0,20% de fibras sobre a massa total da mistura, de comprimento não definido, compreendendo o intervalo de 20 a 50 milímetros;
- c) Determinar o teor ótimo de fibra da casca do coco por meio de tratamento estatístico dos dados coletados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Destinou-se a este capítulo a apresentação da revisão bibliográfica sobre a fibra do coco, argamassa de revestimento e compósitos cimentícios com fibras vegetais.

2.1 Produção de coco e geração de resíduo pós-consumo

O cultivo do coco (*Cocos nucifera*) é uma das culturas mais disseminadas mundialmente, típica de clima tropical, com origem na Ásia. Atualmente, encontra-se presente em todos os continentes e economicamente cultivada em aproximadamente 90 países, com frutos destinados a mais de 100 produtos e derivados, dentre eles, para a produção de óleo, de coco seco desidratado, comercialização da água de coco, entre outros (JERÔNIMO; SILVA, 2012; MARTINS; JESUS, 2011).

Segundo pesquisas da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) (2020), o continente asiático dispõe do maior percentual em produção de coco, acima de 84% da produção mundial, seguido pela América Latina, Oceania e África, por apresentarem condições favoráveis para o desenvolvimento dessa cultura.

A mesma organização realizou para o ano de 2018 a listagem dos países com maiores produções de coco, estando em primeiro lugar a Indonésia, após esta, Filipinas e Índia (Tabela 1). O Brasil detém a quinta posição em termos de produção de coco, porém, em relação à produtividade, o país lidera com o melhor rendimento para a relação produção/área colhida (FAO, 2020).

Tabela 1 – Principais produtores mundiais de coco em 2018

País	Produção (1.000 T)	Área Cultivada (Ha)	Produtividade (1.000 T/Ha)
Indonésia	18.555.371	3.247.986	5,71
Filipinas	14.726.165	3.628.134	4,06
Índia	11.706.343	2.098.946	5,58
Sri Lanka	2.623.000	455.330	5,76
Brasil	2.346.750	198.715	11,81
Mundo	61.865.423	12.381.051	~5,0

Fonte: Elaborado a partir de FAO (2020).

O coqueiro chegou ao Brasil através dos portugueses, os quais introduziram coqueiros oriundos de Cabo Verde no estado da Bahia de onde se dispersou pelo

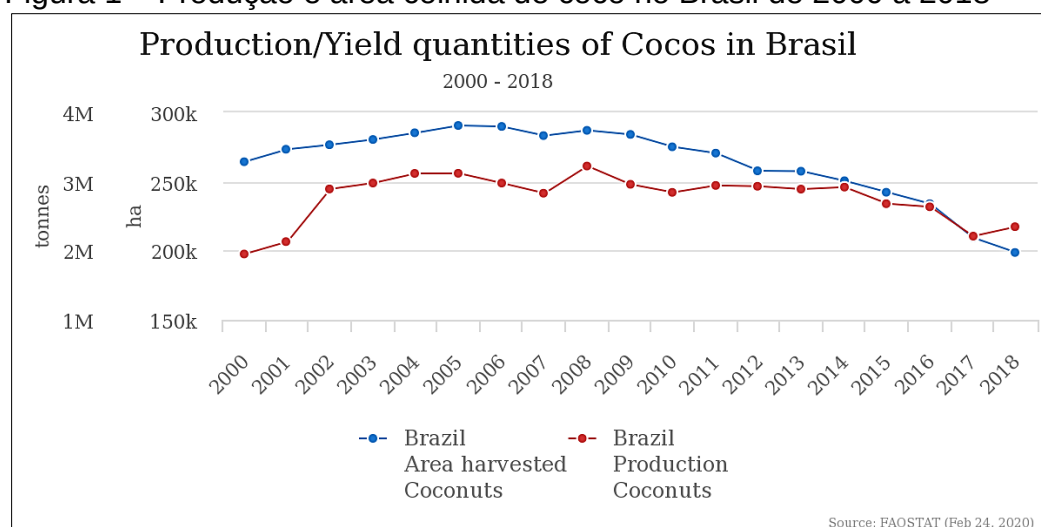
litoral nordestino e posteriormente por todo o país (JERÔNIMO; SILVA, 2012). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Brasil foram produzidos cerca 1,5 milhão de toneladas do frutos no ano de 2018, em uma área cultivável de mais de 190 mil hectares com 71,2% da produção correspondente a Região Nordeste, região de tradicional cultivo desse fruto; a segunda maior produtora de coco é a Região Sudeste com 14,3%. As Regiões Norte, Centro-oeste e Sul representam, respectivamente, um percentual de 13,2%, 1,1% e 0,12% (IBGE, 2019).

Por apresentarem condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura do coco, os Estados brasileiros que mais produzem o fruto são os da região litorânea no Nordeste: o Estado da Bahia detém a liderança na produção de coco, 344,8 mil toneladas, seguido por Ceará e Sergipe, 254,2 mil toneladas e 174,4 mil toneladas, respectivamente (IBGE, 2019).

Conforme IBGE (2019), no Brasil, a produção de coco para o ano de 2018 agregou um aumento 6,18% em relação ao ano de 2017. Guimarães (2017) destaca o mercado de água-de-coco como contribuinte em potencial para o aumento na demanda de coco verde no país.

Em um acompanhamento anual de produção de coco e de área colhida realizado pela FAO (2020) dos anos 2000 a 2018, percebe-se, no Brasil, uma diminuição de área colhida e uma constância na produção de coco, o que reflete em um bom rendimento na produtividade na cultura do coco (Figura 1). Tal aumento de rendimento pode ser atribuído a investimentos e avanços tecnológicos no cultivo do fruto.

Figura 1 – Produção e área colhida de coco no Brasil de 2000 a 2018



Fonte: FAO (2020).

Em paralelo à produção de coco, há a geração de subprodutos, ou resíduos do pós-consumo do coco. Silva *et al.* (2018) considera que 10% da massa do fruto é formada por fibra, e que para o ano de 2015, foram gerados, aproximadamente, um volume de 960 mil m³ de fibra de coco.

No Brasil, são gerados aproximadamente mais de 800 mil toneladas de casca de coco por ano (ASSAD, 2017). Em Fortaleza, são descartados, por dia, em torno de 150 toneladas de casca de coco-verde (OLIVEIRA, 2010).

Este resíduo, ao ser descartado de forma inadequada, gera problemas de ordem ambiental e social: consideráveis volumes de material descartados, com agrave pelo tempo de decomposição longo (8 a 12 anos); abrigo para vetores, gerando riscos à saúde pública, entre outros (GUIMARÃES, 2017).

O resíduo da casca do coco descartado em aterros sanitários faz com que o tempo de vida útil dos mesmos sejam reduzidos, devido às cascas terem grandes dimensões, baixa capacidade de compactação e longo tempo de decomposição (SILVA, 2014).

À vista do volume de resíduo gerado, da responsabilidade e sustentabilidade ambiental, pesquisas voltadas para a elaboração e desenvolvimento de técnicas de reaproveitamento e reciclagem do coco pós-consumo em ciclos produtivos sustentáveis têm sido realizadas como propostas de soluções viáveis para os subprodutos do coco (ANTUNES *et al.*, 2013) com perspectiva de lucro para a nova aplicação (GUIMARÃES, 2017).

Um passo inicial para a melhoria na gestão dos descartes da casca do coco e redução de impactos ao meio ambiente é o processamento da mesma em fibras e pó, ao mesmo tempo que estes podem ser aplicados em diversos tipos de processos produtivos. Os percentuais para os dois produtos obtidos do processamento da casca do coco são de 30% em fibras longas e 70% em pó ou fibras curtas (FONTENELE, 2005).

As principais qualidades da fibra da casca do coco são: matéria-prima renovável, de baixo custo de produção e biodegradável. No Brasil, tem-se desenvolvido tecnologias que aproveitam as fibras do coco para a fabricação de produtos para paisagismo, jardinagem e decoração de ambientes. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desenvolveu tecnologia que além de aproveitar as fibras, ainda proporciona a utilização do pó resultante do processo para a produção de substratos agrícolas.

Essas aplicações básicas da casca do coco na agricultura como substrato agrícola, teve o potencial como meio de crescimento avaliado por pesquisa realizada pela Embrapa, a qual verificou que o pó da casca do coco maduro e do coco verde é tecnicamente viável como substrato para as culturas estudada na pesquisa (ROSA *et al.*, 2002).

A fibra, tecida em forma de manta, é um excelente material para ser usado em superfícies sujeitas à erosão provocada pela ação de chuvas ou ventos, como em taludes nas margens de rodovias e ferrovias, em áreas de reflorestamento, em parques urbanos e em qualquer área de declive acentuado ou de ressecamento rápido (JERÔNIMO; SILVA, 2012).

Na construção civil, tem-se a problemática ambiental relacionada à extração de recursos naturais por essa indústria, provenientes, em sua maioria, de fontes não renováveis; e também o elevado consumo de energia para a extração, transporte e processamento de insumos, provocando danos ambientais (ROTH; GARCIA, 2008). Como alternativa ao exposto, a fibra da casca do coco tem suas aplicações voltadas para o reforço de matrizes frágeis, como concreto e argamassas.

2.2 A fibra do coco

A seguir, serão apresentados o processo de obtenção da fibra e do pó da casca do coco seco e as características físicas e químicas da fibra determinadas pelos autores dessa seção.

2.2.1 Processo de obtenção da fibra e características

O fruto coco pode ser subdividida em 4 camadas: no seu interior, encontra-se o albúmen sólido (castanha) juntamente com o albúmen líquido (água-de-coco), envolto a estes, tem-se o endocarpo e, a cima deste, o mesocarpo, parte do coco de onde são extraídas as fibras; a camada mais externa, lisa e fina, é denominada de epicarpo (CUNHA, 2012).

O processo de obtenção da fibra da casca do coco é realizado mecanicamente em um conjunto de equipamentos e pode ser resumido, conforme metodologia desenvolvida pela Embrapa e instituições parceiras a esta, nas etapas de (MATTOS, 2011): Trituração; prensagem; classificação do pó e da fibra.

Na Trituração, as cascas inteiras ou cortadas são processadas em máquina trituradora constituída de facas rotativas em disco seguidas de marteletes fixos movida por um motor de 30 CV. O resultado desta etapa é um composto com fibra, pó e restos do endocarpo e albúmen triturados, úmidos, que segue para a etapa de prensagem.

A Prensagem é realizada em uma prensa rotativa horizontal, formada por um conjunto de rolos emborrachados alimentados por um motor de 5 CV. O objetivo da prensagem é a retirada de parte de sais que se encontram em solução, os quais são atenuados por meio da extração da umidade na etapa de prensagem, aquela de encontra em torno de 50% ao final da etapa (a casca de coco verde tem 80% de umidade). A redução de sais e da umidade, reduz a salinidade e a demanda de uso de água na etapa de lavagem. Como subproduto da prensagem, obtém-se o Líquido da Casca de Coco Verde (LCCV) composto por açúcares fermentescíveis, compostos fenólicos, cátions (cálcio, magnésio, potássio e sódio) e ânions (cloreto, bicarbonato e sulfato), valores elevados de DQO e DBO, indicadores da necessidade de tratamento para esse efluente gerado no processo de beneficiamento da casca de coco verde (MATTOS, 2011).

A etapa seguinte a prensagem é a Classificação, na qual as fibras são separadas do pó em uma máquina classificadora, por meio de marteletes fixos helicoidais e uma chapa perfurada com malha de 2,54 cm (1 polegada). Nesse processo, o pó selecionado cai na base da máquina, sendo disposto diretamente no chão ou coletado em caixas plásticas ou em carrinhos adaptados. Para as etapas seguintes, o pó e a fibra seguem por vias distintas de processamento para a obtenção dos produtos finais para a comercialização.

O rendimento para as etapas apresentadas se configura em: 33,3% de pó bruto (com 50% de umidade); 15,1% de fibra bruta (30% de umidade) e 5,1% de casquilhos (50% de umidade). Além dos percentuais apresentados, há 39% de LCCV e 7,2% de resíduos (MATTOS, 2011).

O processamento do pó, tem por finalidade a melhoria das características de salinidade, estabilidade, granulometria e umidade. O pó, então, segue para a etapa de Lavagem com água limpa na proporção volumétrica de 1:1 por um período de 15 minutos. Após a lavagem, o pó é levado para secagem do excesso da umidade em pátios pavimentados e em seguida é levado para a etapa de fermentação do pó, na qual ocorre a degradação dos carboidratos e gorduras mais disponíveis no material a fim de atingir a estabilização orgânica.

Por fim, o pó da casca do coco é peneirado em diferentes malhas, em peneiras vibratórias ou giratórias com furos de 3, 5 e 10 mm de diâmetros, para se obter variadas granulometrias.

Na continuidade, após a separação do pó na etapa de Classificação, há o processamento da fibra da casca do coco. A fibra segue para a etapa de Secagem ao sol por 24 horas, com o objetivo de se obter umidade cerca de 18% para evitar problemas na armazenagem do material.

Para qualidade final da fibra, é realizada Reclassificação, através de peneiramento, para separar as impurezas como restos do endocarpo e um pouco de pó, das fibras.

Esse processo de obtenção da fibra e do pó pode ser visto em funcionamento em 12 unidades de beneficiamento da casca do coco em todo o País, com um volume médio de processamento de 10 toneladas de cascas por dia, o qual resulta em mais de R\$ 7,7 milhões por ano. Em média, cada unidade de beneficiamento retira coleta cerca de 5 mil cascas de coco por dia (EMBRAPA, ca 2012).

Os ganhos com aproveitamento da casca do coco através de seu beneficiamento em fibra podem ser vistos na redução da pressão do descarte dos resíduos sólidos sobre o meio ambiente com impactos positivos na gestão dos resíduos; e, em contra partida, possibilita: agregar valor à fibra; o fortalecimento do ciclo produtivo do fruto; e a geração de emprego.

2.2.2 Características da fibra do coco

As fibras extraídas do mesocarpo correspondem a 30% da casca do coco, as quais formam uma camada protetora do fruto e são compostas, principalmente a base de carbono (C) e hidrogênio (H), celulose, hemicelulose e lignina (VAN DAM, 2002; CORREIA, 2015). A celulose é um polímero de cadeia longa e concede resistência mecânica às fibras vegetais. Assim como a celulose, a hemicelulose é um polissacarídeo que atua na parede celular dos vegetais, conferindo elasticidade às microfibrilas de celulose. A lignina (em média 70%) confere dureza, durabilidade e baixa taxa de degradação às fibras vegetais.

A Tabela 2 apresenta os percentuais de celulose, hemicelulose e lignina para as fibras vegetais do algodão, juta, banana, sisal e da casca do coco encontrados por Mwaikambo e Ansell (2002) e por Ladchumananandasivam *et al.* (2009).

Tabela 2 – Percentuais de celulose, hemicelulose e lignina

Fibra Vegetal	Celulose		Hemicelulose		Lignina	
	1	2	1	2	1	2
Algodão	82 - 96	-	2-6,4	-	0-5	-
Juta	51 - 84	64,4	12 - 20	12	5 – 13	11,8
Banana	60 - 65	-	6 - 19	-	5 – 12	-
Sisal	43 - 46	65,8	0,25	12	45 – 46	0,8 - 2
Coco	43 - 46	36 - 46	0,25	0,15 – 2,5	45 – 46	41 – 45

Fonte: Adaptado de (1) Mwaikambo e Ansell (2002); (2) Ladchumananaadasivam (2009).

A fibra do coco é formada por células compostas por quatro camadas de microfibrilas e uma cavidade central (o lúmen), na qual ocorre a maior absorção de água. Outros elementos que compõem a casca do coco como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, entre outros, têm suas concentrações influenciadas pelas condições de cultivo, principalmente, o período do ano e a quantidade de chuvas (SILVEIRA, 2008).

A Tabela 3 apresenta uma caracterização da fibra da casca do coco, determinadas por Aragão *et al.* 2005 apud Jerônimo e Silva (2012).

Tabela 3 – Caracterização da fibra da casca do coco

Propriedades	Valores
pH	5,4
Condutividade elétrica	1,8 dS/m
Relação C/N	132
Densidade	70 g/L
Porosidade total	95,6%
Retenção de água	538 mL/L
Lignina	35 a 45%
Celulose	23 a 43%
Hemicelulose	3 a 12%

Fonte: Aragão *et al.* 2005 apud Jerônimo e Silva (2012).

Além das características químicas e morfológicas, a fibra do coco, consoante Senhoras (2003), apresenta características técnicas tais como: resistência ao impacto, às bactérias e à água; é inodora; e tem baixa condutividade ao calor. Algumas propriedades das fibras do coco são apontadas no estudo de Rosa *et al.* (2009) como alta resistência e rigidez das mesmas, o que as tornam adequadas para o uso como reforço em materiais da construção civil. O mesmo autor também pontua para as fibras de coco como estas possuírem grande durabilidade, devido aos

elevados percentuais de lignina e poliose, e baixos percentuais de celulose. Rosa *et al.* (2009) ainda identificou que as fibras do coco possuem baixa densidade, grandes percentuais de alongamento das mesmas e baixos valores de resistência à tração e de módulo de elasticidade.

A pesquisa de Motta e Agopyan (2007) mostram resultados para propriedades mecânicas da fibra da casca do coco tais como: Módulo de elasticidade; resistência à tração; deformação máxima; massa específica e diâmetro médio da fibra do coco – conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Resumo das propriedades da fibra do coco

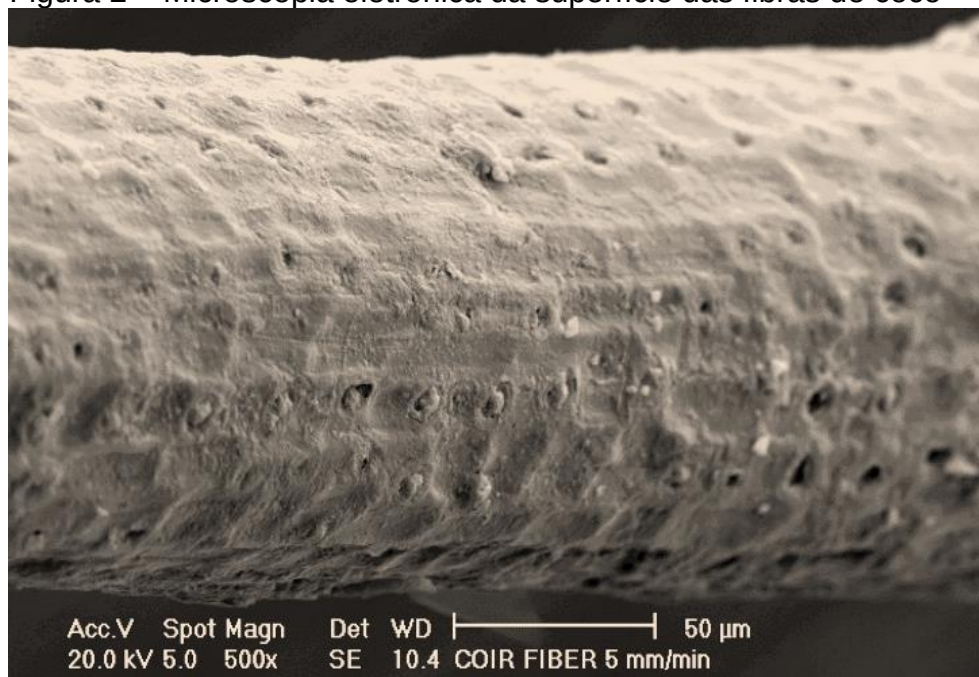
Propriedades	Valores
Módulo de elasticidade (GPa)	1,9 (0,5)
Resistência à tração (MPa)	105,97 (33,53)
Deformação máxima (%)	32 (11)
Massa específica (g/cm ³)	1,289 (0,024)
Diâmetro (µm)	333,2 (72,6)

Fonte: MOTTA e AGOPYAN (2007).

O trabalho sobre as propriedades mecânicas da fibra da casca do coco realizado por Savastano Júnior e Agopyan, em 1997, observou que a resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras de coco têm variação proporcional direta com o teor de celulose. Motta e Agopyan (2007) analisaram as propriedades mecânicas de fibras vegetais e fibras sintéticas, dentre aquelas, a fibra da casca do coco, que embora tenha resultado em uma menor resistências à tração, em comparado as outras fibras vegetais estudadas (sisal e cana), notou-se elevada deformação antes da ruptura, elevando também a resistências em todo o trecho final.

O trabalho de Shimizu, Jorillo Junior (1992), verificou que saliências com diâmetros de 8 µm a 15 µm presentes na superfície lateral da fibra de coco podem auxiliar na adesão das mesmas a matrizes cimentícias. Essas saliências foram evidenciadas no trabalho de Tomczak (2010) (Figura 2).

Figura 2 – Microscopia eletrônica da superfície das fibras de coco



Fonte: TOMCZAK, 2010.

Cunha (2012) obteve para a fibra do coco seco uma tenacidade média correspondente a uma tensão de 117 MPa e um alongamento de 18,167%.

A composição química e propriedades da fibra do coco lhe conferem vantagens para a utilização em compósitos de matrizes frágeis (ROSA *et al.*, 2009).

2.3 Argamassa de revestimento

As argamassas são a mistura de uma pasta mais agregado miúdo (material de baixa granulometria, comumente a areia natural), com aquisição de aderência e endurecimento por aquelas. A pasta é resultante da mistura do material aglomerante de origem mineral com a água, considerando, também, a presença de ar na mistura, o qual pode ser retido ou incorporado a mesma (RECENA, 2011).

Os aglomerantes mais usados nas argamassas são o cimento e a cal, que irão influenciar nas propriedades nos estados fresco e endurecido. O agregado tem influência nas propriedades de resistência mecânica, retração, módulo de deformação, entre outras (BAUER *et al.*, 2005). Pode-se, ainda, aplicar aditivos, resinas poliméricas, à argamassa para conferir-lhe outras propriedades e melhorias para usos específicos.

As argamassas podem ser classificadas, quanto a sua aplicação, em argamassas de assentamento e argamassas de revestimento. No que concerne ao uso para assentamento de elementos de alvenaria, as argamassas têm o papel de impermeabilização das paredes, unir os componentes da alvenaria, distribuir igualmente as cargas atuantes e absorver deformações (RECENA, 2011).

As argamassas de revestimento têm função de recobrimento de paredes, muros e estruturas de concreto armado. As propriedades que esse tipo de argamassa deve apresentar são, conforme Recena (2011): ter apropriada resistência de aderência ao substrato; colaborar para a impermeabilidade; e conferir bom aspecto, estético, ao revestimento das construções.

O sistema de revestimento está associado, principalmente, à proteção das vedações e da alvenaria contra agentes abrasivos que provocam a degradação da estrutura; e trabalha juntamente com o substrato na relação de aderência no sistema argamassa-substrato. Esse sistema considera variáveis de detalhamento, definições e especificações que devem ser observadas nas diferentes finalidades de uso (BAUER *et al.*, 2005).

Nesse sistema, independente da finalidade, há em comum a sua aplicação sobre uma base, o substrato, o qual deve ser adequado para receber o revestimento e ser bem aderido a este, pois disto resulta um bom desempenho geral (BAUER *et al.*, 2005).

O revestimento com argamassa é tradicionalmente realizado com aplicação em duas camadas: a primeira aplicação, chamada de emboço, é uma camada mais espessa sobreposta ao substrato, utiliza-se comumente uma granulometria um pouco mais grossa e o acabamento tem textura áspera (sarrafeado) para promover melhor aderência a camada seguinte ou para recebimento de cerâmica; a segunda camada, reboco, menos espessa, forma uma camada mais lisa sobre o emboço. A Tabela 5 demonstra as espessuras admissíveis para cada camada de revestimento conforme recomendações da NBR 13749/2013 (ABNT, 2013).

Tabela 5 – Espessuras admissíveis de revestimento para parede

Camada de revestimento	Espessura (mm)	
	Interna	Externa
Emboço	5 a 20	15 a 25
Emboço e Reboco	10 a 30	20 a 30
Camada única	5 a 30	15 a 30

Fonte: ABNT (2013).

Para um bom desempenho do sistema de revestimento, propriedades das argamassas de revestimento devem ser consideradas como: plasticidade; fluidez; retenção de água; trabalhabilidade, entre outros. O estudo dessas propriedades compõe a caracterização do comportamento reológico dessas argamassas; reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento da matéria, como explica Bauer *et al.* (2005). O mesmo autor e Pczieczek (2017) listaram as principais propriedades para o estado fresco e para o estado endurecido (Quadro 1).

Quadro 1 – Propriedade das argamassas para estado fresco e para estado endurecido

Estado Fresco	Estado Endurecido
Trabalhabilidade	Resistência mecânica
Plasticidade	Resistência a ataques químicos
Consistência	Capacidade de deformação
Coesão	Retração
Retenção de água	Aderência

Fonte: Elaborado a partir de Bauer *et al.* (2005) e Pczieczek (2017).

A Trabalhabilidade é compreendida “como a maior ou menor facilidade de dispor a argamassa em sua posição final, cumprindo adequadamente sua finalidade, sem comprometer o bom andamento da tarefa em termos de rendimento e custo”, conforme Recena (2011, p. 39). Silva (2006, p. 20) simplifica o entendimento de trabalhabilidade como sendo “a facilidade de manuseio” e, Baia e Sabbatini (2008) elencam que uma argamassa é trabalhável quando esta é facilmente manuseada pela colher de pedreiro, facilidade esta que engloba: o transporte da argamassa, sem esta ser fluida, mas mantendo-se coesa; o desprendimento à colher ao ser lançada; a distribuição e o preenchimento sobre a base, sem o endurecimento precoce no momento da aplicação.

Em argamassas para revestimento de paredes, essa característica está associada à plasticidade (capacidade da argamassa de deformar-se sem sofrer ruptura) que garante aderência ao substrato e tem relação direta com a quantidade de água usada na preparação das argamassas, mantendo o equilíbrio entre consistência e coesão (RECENA, 2011).

A consistência está relacionada à resistência à deformações que as argamassas poderão ser submetidas; é uma propriedade das argamassas em seu

estado fresco, estas podem apresentar consistência seca, plástica ou fluida (Quadro 2), as quais estão diretamente relacionadas com o quantitativo de água empregada na pasta e também pelas relações: água/aglomerante e aglomerante/areia (SILVA, 2006).

Quadro 2 – Estado de consistência das argamassas

Estado de consistência	Descrição
Seca	A pasta aglomerante preenche somente os vazios entre as partículas dos agregados, deixando-os em contato, resultando em atrito e uma argamassa áspera.
Plástica	Uma fina camada de pasta envolve a superfície dos agregados, conferindo uma boa adesão entre os grãos.
Fluida	As partículas de agregados estão imersas na pasta, sem coesão interna e com tendência a se depositar por gravidade (fenômeno da segregação).

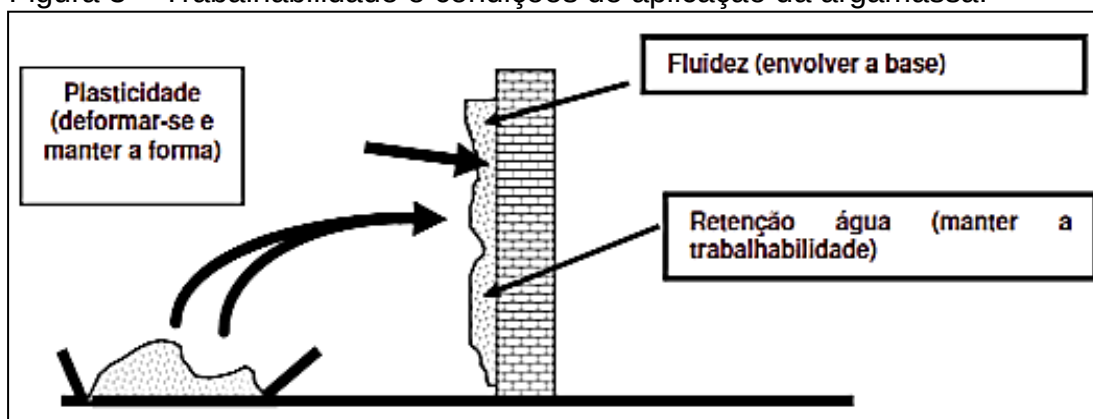
Fonte: Elaborado a partir de Silva (2006); Carasek (2007).

Retenção de água “é a capacidade de uma argamassa de liberar demoradamente a água empregada na sua preparação para o meio ambiente ou para substrato poroso”, explicação feita por Recenas (2011, p. 45). Essa característica está associada a evaporação da água em argamassas de revestimento e a retração. Recena (2011) ressalta que a capacidade de retenção de água pelas argamassas ajuda na aderência ao substrato, o que reprime o desprendimento de partes da argamassa aplicada, tornando o revestimento homogêneo.

Pode-se elevar a retenção de água ao aumentar o quantitativo de componentes com área específica maiores, o que é comumente efetuado com a aplicação de saibro e cal na argamassa. Ao aumentar-se a área específica, a água tende a ficar adsorvida em uma área molhada maior. Outra forma de proporcionar melhor retenção de água da argamassa, é fazer uso de aditivos que reduzem a perda de água, aditivos a base de celulose, por exemplo (BAUER *et al.*, 2005).

A Figura 3 exemplifica, por meio da aplicação, a trabalhabilidade, plasticidade, fluidez e retenção de água em argamassa de revestimento de parede.

Figura 3 – Trabalhabilidade e condições de aplicação da argamassa.



Fonte: Bauer *et al.* (2005).

Outra propriedade importante para as argamassas de revestimento é a resistência mecânica à tração ou ao cisalhamento. Com a finalidade de evitar fissuras no revestimento, as argamassas devem suportar esforços de tensão as quais serão submetidas (NAKAKURA; CINCOTTO, 2004). A Norma Brasileira 13281 de 2005 trata das exigências quanto à resistência mecânica e requisitos reológicos das argamassas (ABNT, 2005).

A aderência das argamassas ao substrato, no estado endurecido, é a capacidade do sistema argamassa-substrato de suportar tensões de cisalhamento e de tração sem se romper. A NBR 13528/2010 define a resistência de aderência à tração, também conhecida como resistência ao arrancamento, como sendo a tensão máxima que uma área limitada de revestimento pode suportar, para um esforço normal de tração (ABNT, 2010).

Semelhante a aderência, a elasticidade é a capacidade de deformação por esforços variados, mas sem haver ruptura, e ainda ser capaz de retornar às dimensões iniciais quando interrompidos os esforços (BAUER *et al.*, 2005; NAKAKURA; CINCOTTO, 2004; RECENA, 2011).

A elasticidade é influenciada pelos coeficientes de dilatação térmica dos materiais revestidos pela argamassa, a qual deve absorver com eficiência as deformações provocadas por essa dilatação (BAUER *et al.*, 2005; NAKAKURA; CINCOTTO, 2004; RECENA, 2011).

A durabilidade é o conceito associado à capacidade das argamassas em se manter estáveis em suas características químicas e físicas quando submetidas às intempéries do ambiente no qual está inserida, com atendimento às funções pela as quais foram projetadas, em um horizonte temporal (RECENA, 2011).

Além de se conhecer as propriedades das argamassas de revestimento, é necessário saber as patologias que podem ocorrer nesse sistema (MEDEIROS; SABBATINI, 1994). Ferreira e Garcia (2016) propõem uma classificação dos fenômenos patológicos dos revestimentos de argamassas a partir dos mecanismos e são:

- a) físico-Mecânico: Retração plástica; Movimentação térmica; Movimentação higroscópica; Falência da estrutura; Abrasão, erosão e cavitação; Movimentação estrutural e recalque;
- b) químicos: Lixiviação de sais solúveis; Reação de álcalis presentes no cimento; Reações dos ácidos; Reações das bases; Hidratação tardia; Reações de materiais ferruginosos; Reações de matéria orgânica; Reações de sulfato;
- c) biológicos: Pátina biológica; Colônia botânica; Agente botânico; Infestação de insetos;
- d) outros: Poluição/sujidade; Cura inadequada.

As fissuras são aberturas maiores que 0,05 mm e menores que 0,5 mm, conforme classificação da NBR 9575 da ABNT (2010), e podem ter sua origem “nos procedimentos de projeto e/ou de execução, na seleção dos materiais constituintes e até mesmo no proporcionamento dos materiais”, como explica Silva (2006, p. 35). O mesmo autor associa a origem das fissuras: à falta de aderência do revestimento, que pode ser prejudicado se não houver uma adequada transferência de água entre substrato e argamassa; ao fenômeno de retração, que ocorre, principalmente, quando há a perda de água (seja pra o substrato, por evaporação ou por reações químicas presentes na pasta) ocasionando a redução no volume da argamassa.

A incorporação de fibras possibilita reduzir o aparecimento de fissuras em compósitos de argamassas e concreto. Os trabalhos de Toledo Filho e Sanjuán, (1999); Resende (2003); Boghossian e Wegner (2008); Silva *et al.* (2015); Correia *et al.* (2018); e Borges, Motta e Pinto (2019) aplicaram fibras vegetais e/ou artificiais em matrizes cimentícias e tiveram como um dos item analisados em suas pesquisas a redução de fissuras causada pela a retração.

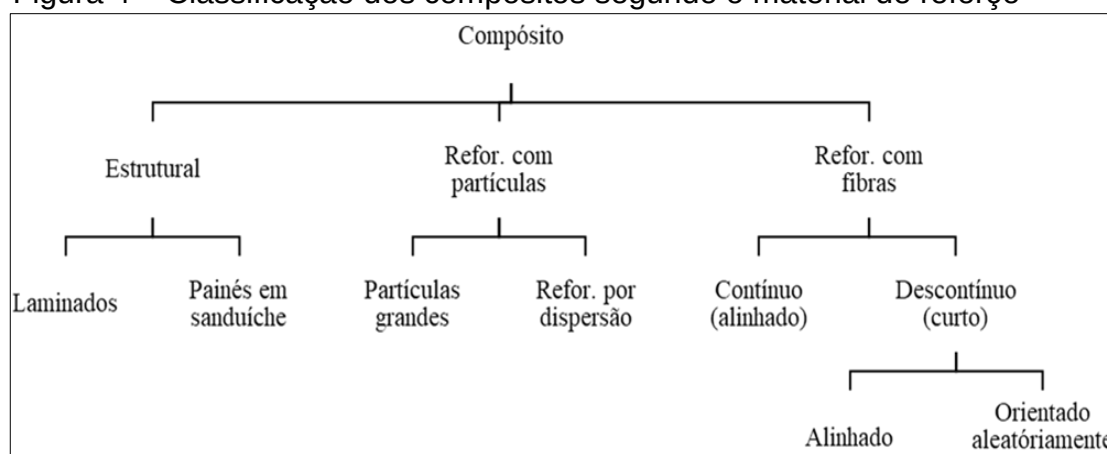
2.4 Compósitos com fibras vegetais

O conceito de compósito é qualquer material que apresente uma mistura de fases de elementos, geralmente, diferentes em suas formas e em suas composições químicas, com possibilidade de variações nas proporções de cada elemento que compõem os compósitos para obter melhores combinações de suas propriedades (CALLISTER, 2002; CUNHA, 2012).

Na constituição dos compósitos, há o material aglomerante, chamado de matriz, o qual atua como base e promove a coesão, flexibilidade e condições adequadas para a confecção dos compósitos. Os outros componentes adicionados à matriz atuarão como reforço e enchimento da mesma; o resultado dessas combinações é um material heterogêneo com propriedades próprias da mistura, ou seja, essas propriedades não são identificadas isoladamente em cada componente do compósito (RODRIGUES, 2008).

Cunha (2012) divide os compósitos em três grupos; para isso, utilizou como critério de classificação os materiais que podem ser empregados como reforço, e são, como apresentado na Figura 4: compósitos estruturais; compósitos reforçados com partículas; e compósitos reforçados com fibras.

Figura 4 – Classificação dos compósitos segundo o material de reforço



Fonte: Elaborado a partir de Cunha (2012) e Callister (2002).

Os discursos voltados para a sustentabilidade dos recursos naturais têm motivado a aplicação de fibras naturais como reforço em compósitos. Estas apresentam vantagens, em contrapondo-se as fibras sintéticas, por serem de baixa densidade, terem elevada resistência à tração, serem materiais de baixo custo e renováveis (CUNHA, 2012).

Para a utilização de fibras vegetais em compósitos, é necessário avaliar o comportamento das fibras dentro da matriz. Fibras mais longas assumem, geralmente, distribuição orientada com espaçamentos pré-determinados, as fibras curtas distribuem-se aleatoriamente. Com relação ao manuseio da mistura, sabe-se que as fibras longas tornam aquela pouco trabalhável, formando novelos no interior do compósito (SALES, 2006).

Outro fator está relacionado à aplicação em volume: em elevadas frações, as fibras mais longas propendem a se agrupar e se enrolar dentro da mistura, o que resulta em uma má homogeneização, um compósito com pouca aderência e com possível redução da resistência mecânica; nesse mesmo aspecto, as fibras curta tendem a serem mais homogêneas e isotrópicas¹ (SALES, 2006).

Deve-se considerar, também a temperatura de processamento dos materiais quando se faz uso de fibras vegetais. Santos (2006) recomenda temperaturas inferiores a 220° C para não ocasionar na degradação das fibras.

As fibras vegetais, devido às propriedades mecânicas e a grande disponibilidade, têm motivado a sua aplicação como reforço em compósitos de matriz de cimento. O propósito em incorporar as fibras às matrizes frágeis é fornecer resistência contra esforços que possam provocar cisalhamento ou ruptura da argamassa, por exemplo (BENTO, 2006).

Em um compósito fibroso, o papel da matriz é proteger fisicamente as fibras, ancorá-las e transferir as tensões para as mesmas. Esse processo de transferência de tensões é influenciado pelo o comprimento das fibras (SAVASTANO *et al.*, 2009).

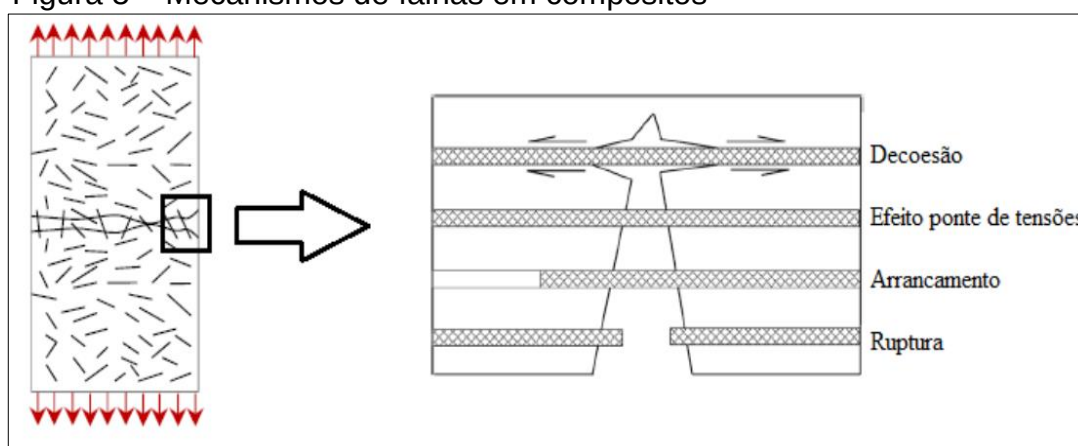
Fibras muito curtas não conseguem proporcionar ancoragem suficiente para contribuir em tensões de ruptura. Caso as fibras sejam muito longas, pode ocorrer um emaranhamento das mesmas, isso ocasiona em uma redução da resistência do compósito (HASSAN *et al.*, 2010).

Durante uma fratura de um compósito, mecanismos de falha podem ocorrer em compósitos reforçados com fibras como: arrancamento de fibras; ponte de fibras; descolamento fibra-matriz; ruptura das fibras e deformação e trincamento da matriz. Cada um desses mecanismos depende de fatores como a orientação das fibras, o tipo de compósito e a carga aplicada, tendo como um dos principais fatores, o comprimento da fibra, que influencia no processo de transferência de carga da matriz

¹ Um material é dito isotrópico se suas propriedades mecânicas são as mesmas em todas as direções (CHANG, 2010).

para a fibra. A Figura 5 apresenta esquematicamente como 4 tipos de mecanismos de falhas são identificados em compósitos fibrosos. A fratura raramente ocorre de maneira abrupta, mas de forma progressiva com falhas subcríticas dispersas através do material, o que pode ser considerado vantajoso (ABBAS *et al.*, 2016).

Figura 5 – Mecanismos de falhas em compósitos



Fonte: Dantas (2019).

Dentre as fibras vegetais, a fibra do coco destaca-se por ter elevada durabilidade, devido à lignina ter consideráveis percentuais em sua composição. A fibra de coco também possui boa adesão à matriz no processo de cura, como dito anteriormente; isso possibilita uma melhora na resistência do compósito (MONTEIRO *et al.*, 2006).

2.4.1 Fibra do coco em compósitos cimentícios

A aplicação de fibras vegetais em compósitos cimentícios, e em específico, a fibra da casca do coco, tem se desenvolvido, principalmente, na Ásia, parte da Oceania e parte da América do Sul. Os países com mais pesquisas direcionadas para essa temática são: Índia, China, Nova Zelândia, Nigéria e Brasil, com destaque para a Índia, a qual está entre os maiores produtores mundiais de coco.

Através de uma busca realizada no banco de dados da plataforma *Science Direct* para instituições de pesquisa que realizaram estudos com fibra de coco em matrizes poliméricas na Índia, podem ser citadas: *Kalasalingam University*; Instituto Indiano de Tecnologia; Faculdade de Tecnologia; Instituto Hindustan de Tecnologia e Ciência; *Cochin University of Science and Technology*; *University College of Engineering*; *Madras Institute of Technology*; *MANIT Bhopal*; Instituto de Engenharia

e Tecnologia KPR; *National Institute for Interdisciplinary Science and Technology*; e o laboratório *Pondicherry Engineering College*.

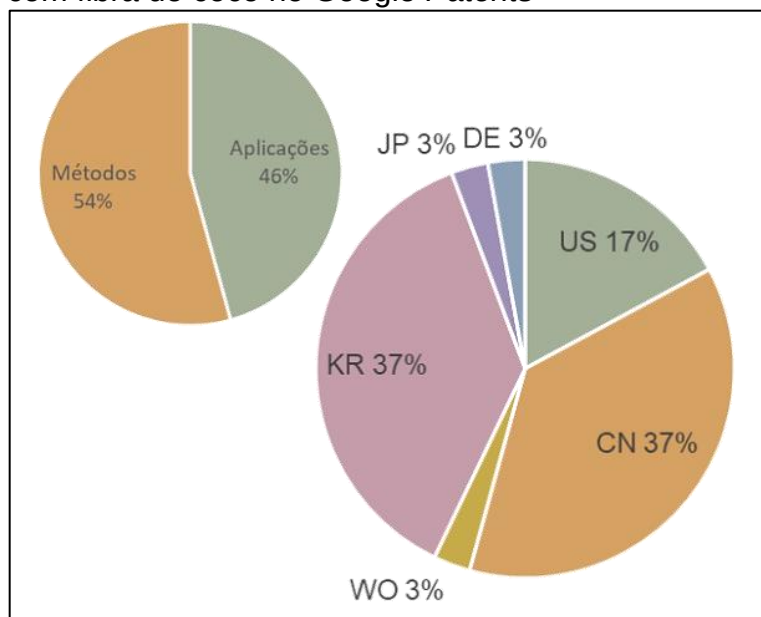
No Brasil, podem ser citados o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia e a Universidade de São Paulo (USP), com especialidade no assunto o Professor Dr. Holmer Savastano Junior, o qual já vem pesquisando o uso da fibra de coco para a construção civil desde de 1986.

Em termos de empresas com serviços especializados no assunto de compósitos com fibras vegetais, cita-se as coreanas *Kukje Química & Construção Co LTD*, que desenvolveu um método para argamassa com fibra de coco para reparação de estrutura de concreto, a *Kangsan Industrial Co., Ltda.*; e as chinesas *Anhui Weinan Luyuan Chemical Co., Ltda.* e *Liaoning Hao Novos Materiais de Construção Co., Ltda.*

Com relação a patentes, o banco de dados do *World Intellectual Property Organization* (WIPO) apresenta, entre os resultados para a busca de “composite coconut fiber”, o registro BRPI0602000 que aborda o processo de tratamento de fibras vegetais para reforço de compósitos e produto a base de fibras vegetais para reforço de compósitos, da Universidade de São Paulo.

Dos resultados de pesquisa de patentes no *Google Patents*, para o termo “((composite cement) OR (mortar)) (coconut fiber)”, obteve-se ao menos 35 respostas para Métodos e Aplicações para compósitos, argamassas com fibra de coco. A Figura 6 apresenta uma distribuição das patentes encontradas no *Google Patents*.

Figura 6 – Distribuição de patentes para compósitos com fibra de coco no *Google Patents*



Fonte: Elaborada pela autora.

Um dos primeiros estudos no Brasil, no ano de 1986, realizado por Savastano Júnior, buscou avaliar a durabilidade da fibra do coco tratada com solução de hidróxido de sódio e posteriormente aplicada em peça de concreto. Toledo Filho (1997) recomenda o uso de fibra da casca de coco de 0,1 a 0,5% do volume total da mistura. Escariz (2008) verificou uma redução na resistência à compressão em compósitos de matriz de traço 1:1 (cimento/fibra), e uma aumento para a mesma resistência para a formulação 1:2, entretanto, percebeu-se uma redução na rigidez do compósito.

Para a utilização da fibra do coco em matrizes, faz-se necessário conhecer o comprimento daquelas que resultará em um melhor desempenho ao compósito. A pesquisa de Asasutjarit *et al.* (2007) verificou a influência do comprimento da fibra de coco utilizando faixas de comprimentos de 1 a 4 mm, 1 a 6 cm e de 1 a 13 cm, em placas de cimento leve.

Ainda com esse propósito, o trabalho de Silva *et al.* (2014) adicionou em argamassas 6 diferentes comprimentos da fibra da casca do coco (12,5 mm, 25 mm, 37,5 mm, 50 mm, 62,5 mm e 75 mm), correspondendo a 0,3 % do volume total da mistura com Cimento Portland CP V ARI RS para traços de 1:2,3:0,55 (cimento: areia: água/aglomerante).

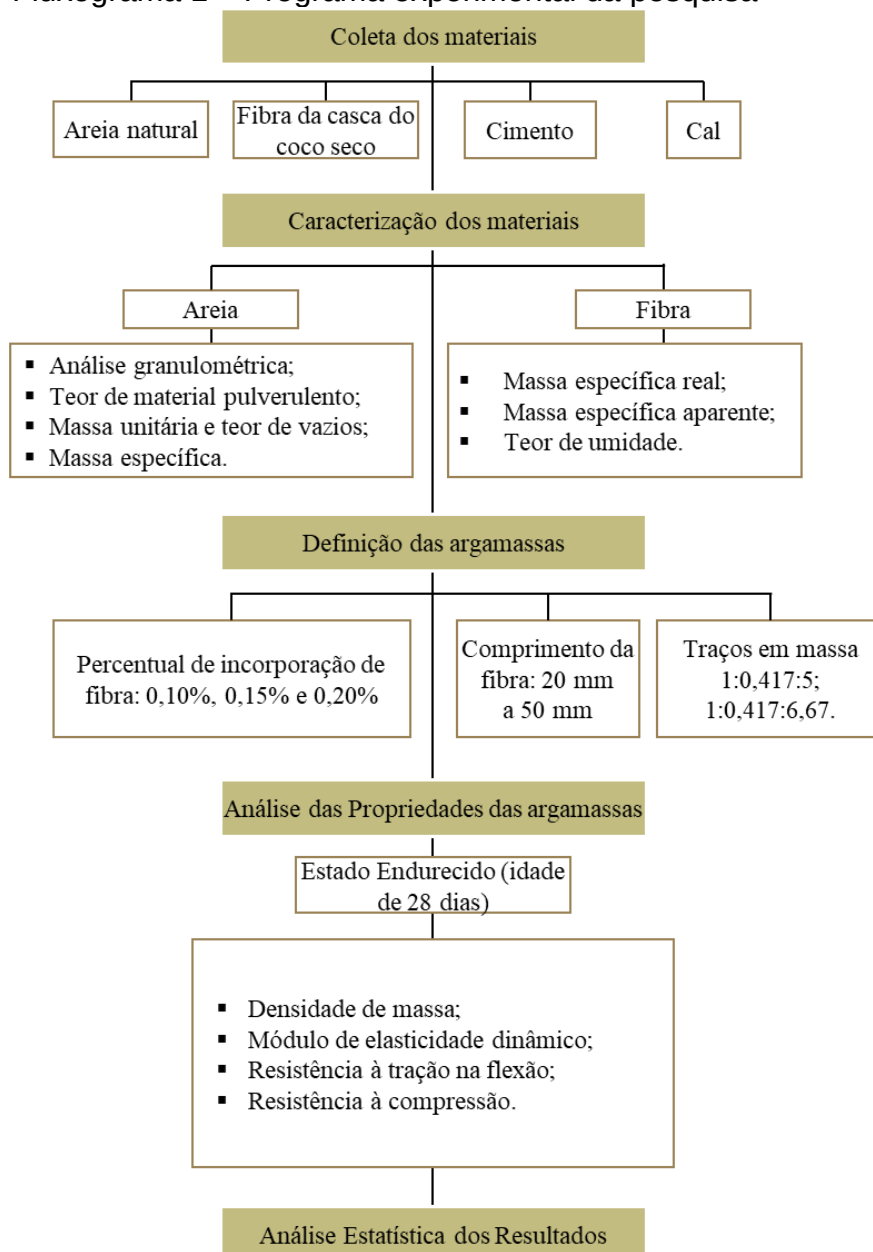
Quanto ao teor de incorporação da fibra de coco em compósito, Ali *et al.* (2012) realizou testes em concreto com adição de 1, 2, 3 e 5% de fibra (comprimentos de 25, 50 e 75 mm) em relação à massa do cimento e investigaram a relação água/aglomerante, consistência, módulo de ruptura, resistência à compressão, resistência à flexão e propriedades dinâmicas do concreto reforçado com a fibra para 28 dias de idade. Concluíram que a incorporação de fibras de coco em argamassas permite uma ruptura menos brusca ao submeter as mesmas à compressão.

No trabalho de Bonato *et al.* (2013), aplicou-se a fibra em concreto e obtiveram resultados superiores aos recomendados pelas normas brasileiras em 16% para desempenho à compressão axial.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O planejamento experimental deste trabalho foi composto pelas etapas de coleta e caracterização dos materiais (areia, cimento, cal e fibra de coco); dosagem e preparação das argamassas; ensaios para o estado endurecido e análise estatística dos resultados. A água utilizada na confecção das argamassas, foi proveniente do sistema de abastecimento de água de fortaleza da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece. O Fluxograma 1 apresenta um resumo do programa experimental deste trabalho.

Fluxograma 1 – Programa experimental da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

3.1 Caracterização dos materiais

3.1.1 Areia

A areia natural utilizada nos ensaios foi proveniente da Região Metropolitana de Fortaleza. Os ensaios de caracterização da areia estão resumidos no Quadro 3, bem como as normas aplicadas para cada um dos ensaios. O Apêndice A apresenta os resultados dos ensaios de granulometria e de caracterização física da areia.

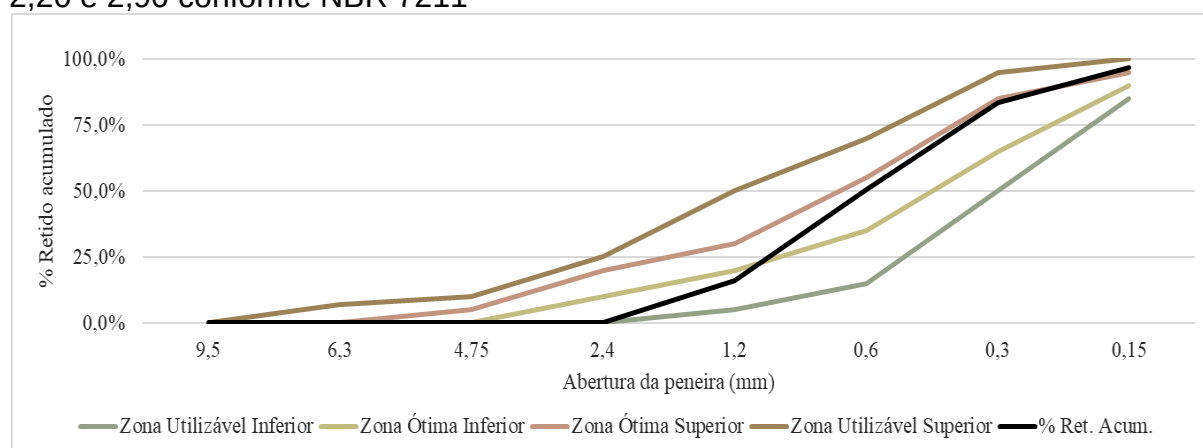
Quadro 3 – Normas para caracterização da areia natural

ENSAIO	NORMA	AMOSTRAGEM
Granulometria	ABNT NBR NM 248:2003	2
Teor de Material Pulverulento	ABNT NBR NM 46:2003	2
Massa Unitária e teor de vazios	ABNT NBR NM 45:2006	2
Massa Específica	ABNT NBR NM 52:2009	2

Fonte: Elaborado pela autora.

A distribuição granulométrica da areia se deu conforme demonstrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Distribuição granulométrica da areia natural para módulo de finura entre 2,20 e 2,90 conforme NBR 7211



Fonte: Elaborado pela autora.

Pela análise do Gráfico 1, verifica-se que a areia natural se encontra compreendida na Zona ótima, conforme NBR 7211 (ABNT, 2019).

3.1.2 Cimento e Cal

Nesta pesquisa foi utilizado cimento Portland CP II – Z – 32 da marca *Elizabeth*. A cal utilizada foi a CH-I, do tipo cálcica, classificada como cal hidratada para uso em argamassas, conforme a NBR 7175 (ABNT, 2003).

3.1.3 Fibra de coco

As fibras adicionadas às argamassas foram extraídas da casca do coco seco fornecidas pela empresa Iapacoco Nordeste (Figura 7), localizada na cidade de Paraipaba, no Ceará, distante 100 Km de Fortaleza.

Figura 7 – Local de produção da fibra da casca do coco



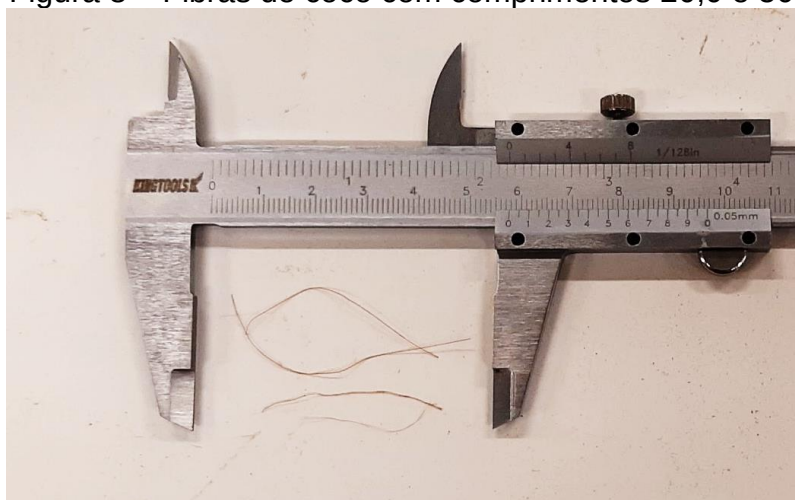
Fonte: Elaborada pela autora.

A realização dos ensaios para a fibra da casca do coco seco, sendo eles: comprimento médio, massa específica aparente e real, ocorreram no Laboratório de Química do Instituto Federal de Ceará – Campus Camocim.

As fibras utilizadas na pesquisa são classificadas, segundo a empresa fornecedora, como fibras de tamanho médio variados, as quais foram obtidas conforme a metodologia de processamento da fibra da casca do coco descrita no item 2.2.1. A pré-classificação anteriormente citadas, refere-se ao comprimento das fibras, por tanto, podia-se encontrar misturados às fibras, resíduos de pó e pequenos fragmentos da casca do coco, os quais foram removidos manualmente em laboratório, antes da aplicação aos compósitos.

O comprimento médio das fibras foi de aproximadamente 35 mm, obtido com o auxílio de um paquímetro, conforme demonstrado na Figura 8. Para a realização desse ensaio, separou-se, aleatoriamente, 20 fibras da casca do coco seco.

Figura 8 – Fibras de coco com comprimentos 20,0 e 50,0 mm



Fonte: Elaborado pela autora.

A determinação da massa específica real e aparente da fibra de coco deu-se conforme procedimento realizado por Soto Izquierdo (2011).

Foi colocada uma amostra de 50,46 g em um depósito com água durante 24 horas para a saturação dos poros. Após esse período, a amostra foi disposta sobre uma superfície plana exposta a uma suave corrente de ar (M_{sat}). Em seguida, a amostra foi posta em uma proveta graduada com um volume inicial de 1400 ml de água (V_i), e fez-se a leitura do volume final (V_f).

A amostra saturada, colocada em uma bandeja, foi seca em estufa por 24 horas a 105°C. Posteriormente, a amostra foi pesada na balança e se obteve a massa seca (M_s).

A massa específica real foi calculada pela Equação 1:

$$\rho_{espec\ real} = \frac{M_s}{(V_f - V_i) - [(M_{sat} - M_s)/\rho_{\text{água}}]} \quad (1)$$

Onde:

$\rho_{espec\ real}$: massa específica real da fibra do coco, em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);

M_s : massa seca da fibra do coco após 24 horas na estufa, em gramas (g);

M_{sat} : massa saturada seca ao ar, em gramas (g);

V_i : Volume inicial da proveta, em centímetros cúbicos (cm^3);

V_f : Volume final da proveta, em centímetros cúbicos (cm^3);

$\rho_{\text{água}}$: massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

A massa específica aparente da fibra foi calculada pela Equação 2:

$$\rho_{\text{espec aparente}} = \frac{M_s}{(V_f - V_i)} \quad (2)$$

Onde:

$\rho_{\text{espec aparente}}$: massa específica aparente da fibra do coco, em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

Ms: massa seca da fibra do coco após 24 horas na estufa, em gramas (g);

Vi: Volume inicial da proveta, em centímetros cúbicos (cm³);

Vf: Volume final da proveta, em centímetros cúbicos (cm³).

Foi determinado o teor de umidade da fibra da casca do coco, exposta ao ar, no ambiente do laboratório, seguindo metodologia de Soto Izquierdo (2011). As fibras foram dispostas em bancada por 24 horas para obter a massa seca ao ar (Pa). Após esse período, foram postas em estufa a 100 °C até obter-se a constância de massa após isso foi determinadas suas massas secas (Pe), em balança eletrônica, com precisão de 0,01 g. O teor de umidade das fibras secas ao ar foi calculado pela Equação 3:

$$Hu (\%) = \frac{Pa - Pe}{(Pe)} \times 100 \quad (3)$$

Na Tabela 6 são apresentados os valores dos ensaios da caracterização física das fibras empregadas nesta pesquisa como massa específica real e aparente e teor de umidade.

Tabela 6 – Massa específica real, aparente e teor de umidade das fibras da casca do coco

Valor	Massa específica real (kg/m ³)	Massa específica aparente (kg/m ³)	Teor de umidade (%)
Média	504	470	14,2

Fonte: Elaborada pela autora.

3.2 Definição da Amostra

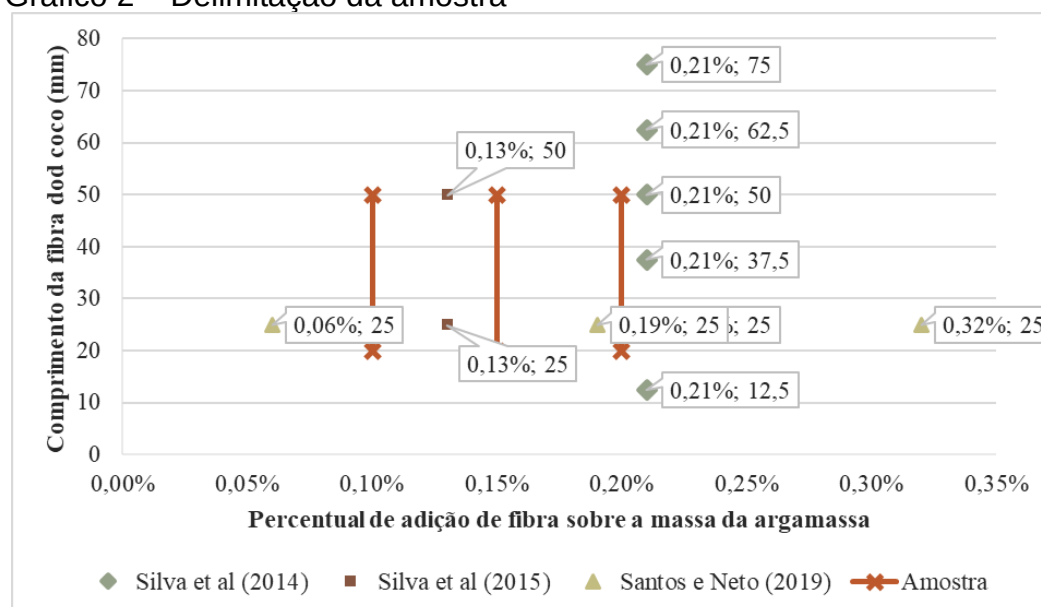
Para a definição da amostra e dos percentuais de incorporação de fibra e o comprimento da mesma, foi realizada análise nos trabalhos de: Silva *et al.* (2014) que

aplicou uma adição de 0,21% de fibra do coco com comprimentos de 12,5 mm, 25 mm, 37,5 mm, 50 mm, 62,5 mm e 75 mm, em relação a massa total da argamassa; Silva *et al.* (2015) que aplicou 0,13% de fibra do coco com comprimentos de 25 mm, 50 mm e sem tamanho definido sobre a massa total da argamassa; e o trabalho de Santos e Campos Neto (2019), para 0,06%, 0,19% e 0,32% de adição de fibra do coco com comprimentos de 25 mm, em relação a massa total da argamassa.

Para além da análise dos estudos anterior, foram previamente desenvolvidos testes de formulações de traços e percentuais de adição de fibra do coco. Nos primeiros testes, aplicou-se maiores teores de agregado (relação agregado/aglomerante de 12,5) os quais resultaram em uma argamassa frágil em seu estado endurecido.

Para esta pesquisa, foram estudados 8 tipos de misturas: os traços de referência (sem adição de fibra) e com adição de fibra, para os percentuais escolhidos de 0,10%, 0,15% e 0,20% de adição sobre a massa total da argamassa e comprimentos variados no intervalo de 20 a 50 mm, em concordância com a pesquisa de Silva *et al.* (2015) (Gráfico 2). Para os percentuais de aplicação de fibra, foram testados valores de percentuais acima dos valores escolhidos, os quais provocaram redução na trabalhabilidade para os traços de argamassas desta pesquisa.

Gráfico 2 – Delimitação da amostra



Fonte: Elaborado pela autora.

Utilizou-se nessa pesquisa argamassa mista para dois tipos de traços, de proporções em massa para as argamassas de referências em: 1: 0,417: 5 (TRA) e 1:

0,417: 6,67 (TRB). A relação água/cimento foi de 1,25 para o traço TRA e 1,42 para o traço TRB. As quantidades de material utilizado para cada argamassa estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Dosagem das argamassas

Argamassa	Traço	Consumo dos materiais (kg)					Total
		Cimento	Cal	Areia	Água	Fibra	
TRA	1:0,417:5	1,20	0,50	6,0	1,50	-	9,200
TAF10		1,20	0,50	6,0	1,50	0,0092	9,209
TAF15		1,20	0,50	6,0	1,50	0,0138	9,214
TAF20		1,20	0,50	6,0	1,50	0,0184	9,218
TRB		1,20	0,50	8,0	1,70	-	11,400
TBF10	1:0,417:6,67	1,20	0,50	8,0	1,70	0,0114	11,411
TBF15		1,20	0,50	8,0	1,70	0,0171	11,417
TBF20		1,20	0,50	8,0	1,70	0,0228	11,423

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: TRA – Argamassa de referência A de traço 1:0,417:5 (cimento:cal:areia); TAF10 – Argamassa de referência A com adição de 0,10% de fibra sobre a massa total; TAF15 – Argamassa de referência A com adição de 0,15% de fibra sobre a massa total; TAF20 – Argamassa de referência A com adição de 0,20% de fibra sobre a massa total; TRB – Argamassa de referência B de traço 1:0,417:6,67 (cimento:cal:areia); TBF10 – Argamassa de referência B com adição de 0,10% de fibra sobre a massa total; TBF15 – Argamassa de referência B com adição de 0,15% de fibra sobre a massa total; TBF20 – Argamassa de referência B com adição de 0,20% de fibra sobre a massa total.

Depois de determinados os traços, iniciaram-se a produção das argamassas utilizando procedimento convencional de mistura. Na sequência, houve a modelagem dos corpos-de-prova (Figuras 9 e 10) e o revestimento da alvenaria. Todo o procedimento descrito anteriormente, foi desenvolvido no Laboratório de Materiais da Construção Civil da Faculdade Ari de Sá, em Fortaleza - CE. Os ensaios para as argamassas em seu estado endurecido foram realizados 28 dias após a modelagem dos corpos-de-prova no Laboratório de Materiais da Construção da Universidade Federal do Ceará, *Campus Pici* e no Laboratório de Materiais da Construção Civil no Instituto Federal do Ceará – *Campus Fortaleza*.

Figura 9 – Preparação das argamassas



Fonte: Elaborada pela autora.

3.3 Ensaios no Estado Endurecido

A realização dos ensaios para o estado endurecido das argamassas, suas normas e quantitativo de amostras são apresentados, resumidamente, na tabela a seguir (Tabela 8).

Tabela 8 – Normas para caracterização da argamassa no estado endurecido

ENSAIO	NORMA	AMOSTRAGEM
Densidade de massa aparente	ABNT NBR 13280:2005	3
Módulo de elasticidade dinâmico	ABNT NBR 15630:2008	3
Resistência à tração na flexão (28 dias)	ABNT NBR 13279:2005	3
Resistência à compressão (28 dias)	ABNT NBR 13279:2005	6

Fonte: Elaborada pela autora.

Foram moldados, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), 3 corpos-de-prova de 40 mm x 40 mm x 160 mm para ensaios de densidade de massa aparente, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração na flexão e à compressão. Os corpos de prova foram desmoldados após 48 horas e mantidos no ambiente de laboratório até a idade de ensaio (Figura 10).

Figura 10 – Moldes e corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos



Fonte: Elaborada pela autora.

3.3.1 *Densidade de massa aparente*

O ensaio de densidade de massa no estado endurecido foi realizado conforme a NBR 13280:2005 na idade de 28 dias em 3 corpos de prova prismáticos (Figura 11) de 40 mm x 40 mm x 160 mm para cada argamassa, modelados de acordo com o procedimento descrito na NBR 13279:2005.

Foram registradas em centímetros, com o auxílio de um paquímetro, a altura, a largura e o comprimento de cada corpo-de-prova, em duas posições e em seguida foi determinada a massa dos mesmos em balança com resolução de 0,1g. Por fim, foram calculados os volumes e a densidade de massa utilizando o cálculo proposto pela NBR 13280:2005. Os resultados individuais, média, desvio-padrão e coeficiente de variância encontram-se no Apêndice B.

Figura 11 – Medição do corpo-de-prova prismático



Fonte: Elaborada pela autora.

3.3.2 Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica foi realizado utilizando três corpos-de-prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm para cada argamassa, aos 28 dias de idade, seguindo procedimento da NBR 15630:2008.

A aparelhagem utilizada foi: equipamento de ultrassom; gel condutor; barra de referência; utensílios de laboratório. Antes da realização do ensaio, foi feita a calibração do equipamento de ultrassom utilizando a barra de referência do equipamento, após a calibração, foi aplicada uma camada de gel condutor nas faces de medidas 40 mm x 40 mm do corpos-de-prova e, por fim, realizou-se a leitura do tempo e velocidade de propagação de ondas (Figura 12).

Figura 12 – Ensaio Módulo de elasticidade



Fonte: Elaborada pela autora.

Os valores dos módulos de elasticidade foram obtidos através da Equação 4.

$$E_d = v^2 \cdot \rho \frac{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)}{1-\mu} \quad (4)$$

Onde:

E_d : Módulo de elasticidade dinâmico, em megapascal (MPa);

v : velocidade de propagação de onda ultrassônica, em milímetros por microssegundos (mm/μs);

ρ : densidade de massa aparente do corpo-de-prova, em quilograma por metro cúbico (kg/m³);

μ : coeficiente de Poisson. Adota-se nesta equação o valor de 0,2.

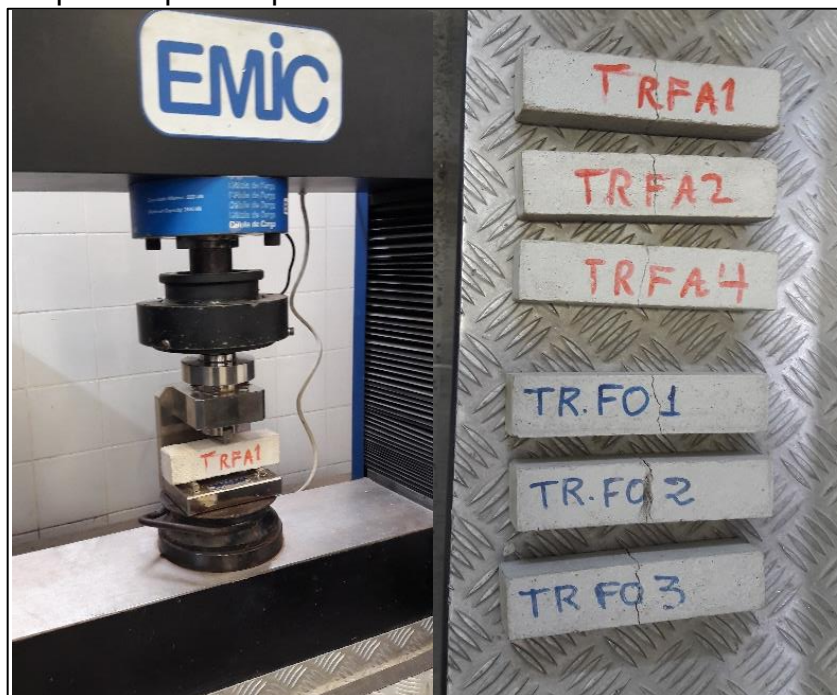
Os resultados individuais, média, desvio-padrão e coeficiente de variância encontram-se no Apêndice C.

3.3.3 Resistência à tração na flexão

Para os ensaios de Resistência à tração na flexão foram utilizados os mesmos 3 corpos de prova de 40 mm x 40 mm x 160 mm utilizados no ensaio de módulo de elasticidade, conforme a norma NBR 13279:2005. O procedimento de ruptura ocorreu

em uma prensa EMIC DL10000 com velocidade de carregamento de 13 N/s (Figura 13).

Figura 13 – Ensaio de resistência à tração na flexão e corpos-de-prova após ensaio



Fonte: Elaborada pela autora.

Aplicou-se uma carga no centro do corpo de prova biapoado e a Resistência à tração na flexão foi obtida através da Equação 5.

$$R_f = \frac{1,5.F.L}{40^3} \quad (5)$$

Onde:

R_f = Resistência à tração na flexão, em megapascal (MPa);

F = carga aplicada no meio do corpo de prova, em newtons (N);

L = distância entre os apoios.

Os resultados individuais, médias, desvio-padrão e coeficiente de variação estão apresentados na Apêndice D.

3.3.4 Resistência à compressão axial

A resistência à compressão foi determinada nas idades de 28 dias, utilizando as metades dos três corpos-de-prova do ensaio de flexão, posicionando-as no dispositivo de apoio da prensa conforme Figura 14.

Figura 14 – Ensaio de Resistência à compressão e corpo-de-prova após ensaio



Fonte: Elaborada pela autora.

A Resistência à compressão foi obtida através da Equação 6.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (6)$$

Onde:

R_c = Resistência à compressão, em megapascal (MPa);

F_c = carga máxima aplicada, em newtons (N).

Os resultados individuais, média, desvio-padrão e coeficiente de variação estão apresentados no Apêndice E.

3.4 Análise estatística

Para o tratamento estatístico dos dados obtidos, primeiramente foi avaliada a distribuição dos resíduos padronizados para a identificação de dados fora da faixa de aceite para a utilização nos testes. Os resíduos padronizados têm variâncias constantes o que torna possível a identificação de *outliers*, que são observações distantes das demais. Em geral, as observações com resíduo padronizado fora do intervalo de (-3,3) são considerados *outliers*.

Em conjunto a análise dos resíduos, foram realizados os testes de normalidade utilizando o método de Shapiro-Wilk e, para verificar a homogeneidade das variâncias, foi executado o teste de Brow-Forsythe. Em seguida, os dados obtidos para os ensaios citados foram tratados estatisticamente por meio de Análise de Variância (ANOVA) com o fim de identificar a existência de diferença significativa entre as médias dos fatores estudados (Traço e Fibra) e se os mesmos, isoladamente ou combinados, exercem influência sobre as variáveis-resposta.

Como complemento às análises de variância, foi realizado o teste de comparações múltiplas utilizando a metodologia de Holm-Sidak para isolar quais grupos diferem dos outros e estimar o grau de diferenças das médias.

Por fim, foi executado teste de correlação de Pearson para medir o grau da correlação linear entre duas variáveis dependentes quantitativas. Os pares de variáveis com coeficientes de correlação positivos e valores de P abaixo de 0,050 tendem a aumentar juntos. Para os pares com coeficientes de correlação negativos e valores de P abaixo de 0,050, uma variável tende a diminuir enquanto a outra aumenta. Para pares com valores de P maiores que 0,050, não há relação significativa entre as duas variáveis. 0.9 para mais ou para menos indica uma correlação muito forte.

A escala do grau de correlação varia de (-1,1), onde: de 0 a $\pm 0,3$ indica que não há correlação; de 0,3 a 0,5, positivo ou negativo, a mesma é dita como fraca; de 0,5 a 0,7, positivo ou negativo, considera-se moderada; de 0,7 a 0,9, positivo ou negativo, a correlação é forte; e, para $\pm 0,9$ a correlação entre os pares é muito forte.

Foi adotado um intervalo de confiança de 95%, ou seja, assumindo um erro de 5% ($\alpha = 0,05$) para a execução dos procedimentos descritos anteriormente. Para a realização desses testes, foi utilizado o *software Action Stat 3.7* no programa *Excel* 2016.

4 RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados dos dados obtidos para as argamassas de revestimento estudadas, em seu estado endurecido, para os ensaios de densidade de massa, módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão e compressão. Para cada um dos ensaios, além da apresentação dos resultados, serão expostos os resultados para o tratamento estatístico aplicado. A Tabela 9 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido.

Tabela 9 – Resultados médios de caracterização das argamassas

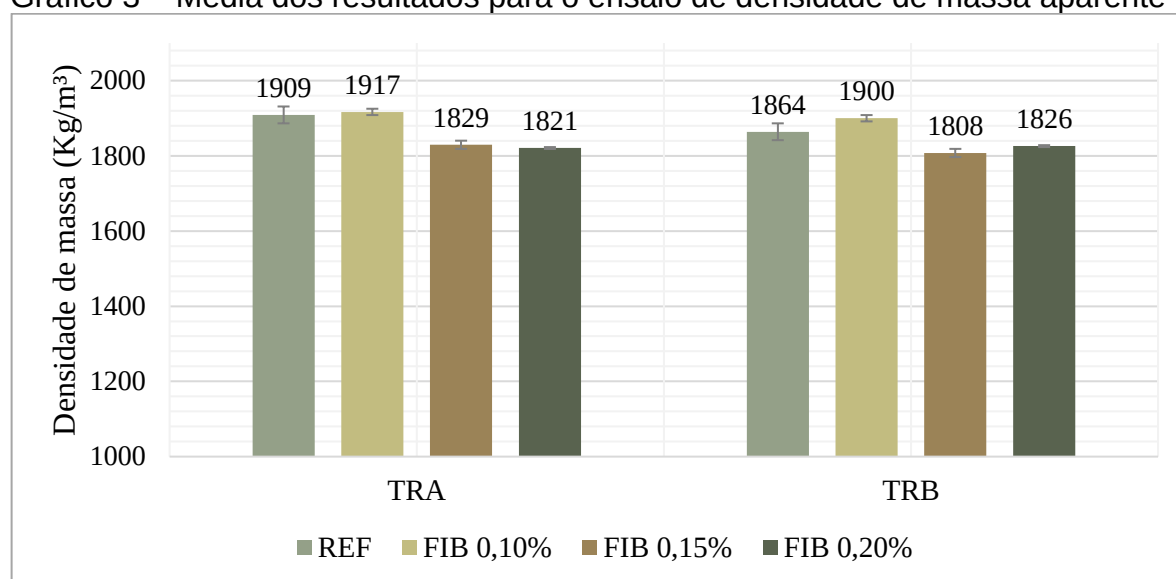
Argamassa	Densidade de massa (kg/m³)	Módulo de elasticidade (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
TRA	1909	11041	1,97	6,78
TRB	1864	11047	2,03	5,48
TAF10	1917	10205	2,00	4,88
TBF10	1900	11243	2,17	5,39
TAF15	1829	11765	2,30	6,78
TBF15	1808	10373	2,00	5,30
TAF20	1821	12409	2,77	7,73
TBF20	1826	11752	2,00	5,66

Fonte: Elaborada pela autora.

4.1 Densidade de massa aparente

O Gráfico 3 apresenta os resultados médios obtidos no ensaio de densidade de massa, realizados em corpos de prova de 40 mm x 40 mm x 160 mm, aos 28 dias de idade. Os resultados obtidos contendo os valores de entrada estão constados no Apêndice B.

Gráfico 3 – Média dos resultados para o ensaio de densidade de massa aparente



Fonte: Elaborado pela autora.

Através do Gráfico 3, observa-se uma pequena redução na densidade de massa em ambos os traços com adição de 0,15% e 0,20% de fibra, em relação aos traços de referência, correspondendo a uma redução de 4,2% e 3,02% nas argamassas TAF15 e TAF20, respectivamente. Para o traço TRB com 0,15% e 0,20%, a redução foi de 4,6% e 2,1%.

Com relação as argamassas com incorporação de percentual inicial de fibra, a saber, com 0,10%, os valores para a densidade de massa foram bem próximos, porém acima, aos encontrados para as argamassas de referência, em 0,4% e 2,0% para os traços TAF10 e TBF10, respectivamente.

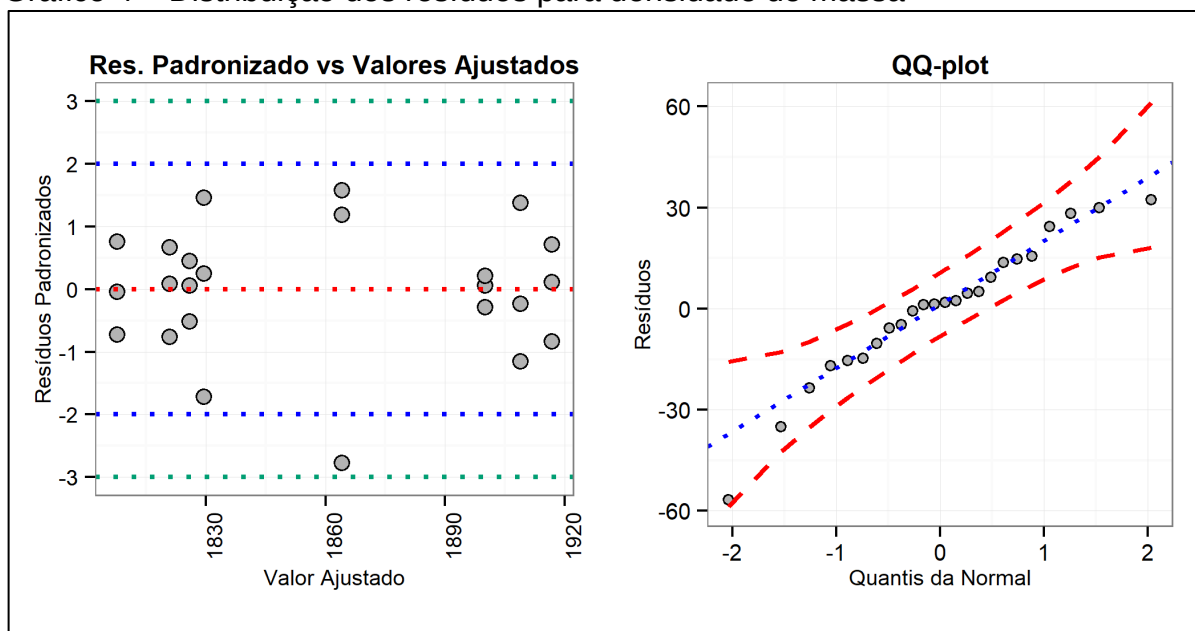
Uma argamassa leve representa que a mesma é menos densa, o que evidencia ser um compósito com mais vazios, proporcionando maior absorção e fragilizando o mesmo.

Quanto ao requisito densidade de massa no estado endurecido, segundo a NBR 13281/2005 (ANBT, 2005), as argamassas apresentadas são classificadas em M6, pois apresentam valor de densidade acima de 1800 kg/m³.

4.1.1 Tratamento estatístico para densidade de massa aparente

Conforme descrito no item 3.4, realizou-se o tratamento dos resíduos padronizados para verificar a ocorrência de dados *outliers*. O Gráfico 4 apresenta a distribuição dos resíduos padronizados para a densidade de massa das argamassas.

Gráfico 4 – Distribuição dos resíduos para densidade de massa



Fonte: Elaborado pela autora.

Verifica-se que os resíduos padronizados compreendem a faixa de aceite (-3,3) necessária para dar prosseguimento na análise estatística. Além disso, os dados para densidade apresentaram uma distribuição normal, $P = 0,349$ (teste de Shapiro-Wilk), e homogeneidade das variâncias com $P = 0,538$ (teste de Brow-Forsythe).

A análise de variância para a densidade de massa aparente das argamassas do projeto fatorial está apresentada na Tabela 10. Para a análise estatística foi adotado um nível de significância (α) de 5% para o teste de hipótese, considerando a hipótese nula que todas as médias da variável resposta são iguais e para a hipótese alternativa considerou-se que pelo menos uma média dos níveis de fatores são diferentes, ou seja tem efeito significativo sobre a densidade de massa das argamassas.

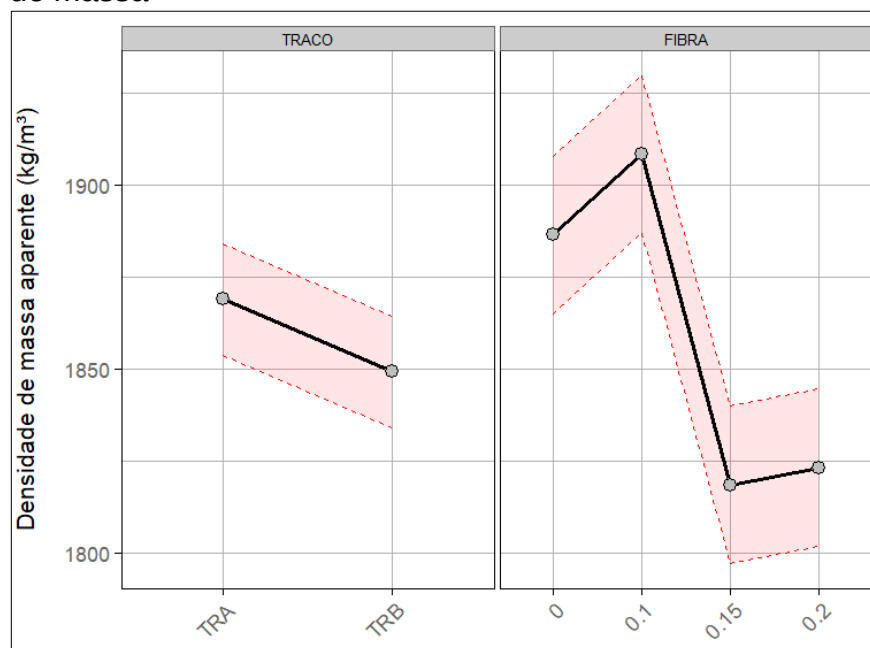
Tabela 10 – Tabela da ANOVA para Densidade de massa aparente das argamassas

Fator	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traço	1	2301,970	2301,970	3,676	0,073
Fibra	3	36654,501	12218,167	19,511	<0,001
Traço:Fibra	3	1885,024	628,341	1,003	0,417
Erro	16	10019,637	626,227		

Fonte: Elaborada pela autora.

Constatou-se que existe diferença estatisticamente significativa para o fator Fibra sobre a densidade de massa das argamassas ($P < 0,001$). Para o fator Traço, a diferença nos valores médios entre os diferentes níveis não é grande o suficiente para excluir a possibilidade de que a diferença se deva apenas à variabilidade da amostragem aleatória após permitir os efeitos das diferenças na fibra, ou seja, não há diferença estatisticamente significativa ($P = 0,073$) para o fator Traço. Verifica-se também que o efeito de diferentes tipos do fator Traço não depende de qual nível de Fibra está presente; estatisticamente, não há interação entre os dois fatores sobre os resultados da densidade de massa ($P = 0,417$). O Gráfico 5 apresenta o comportamento do efeito do traço (pouco significativo) e da fibra sobre a densidade de massa.

Gráfico 5 – Efeito dos fatores Traço e Fibra para a densidade de massa



Fonte: Elaborado pela autora.

Como complemento ao teste ANOVA, o teste de comparação múltipla pelo método de Holm-Sidak, a nível de confiança de 95%, realiza o isolamento dos grupos para o fator Fibra. A Tabela 11 apresenta todos os procedimentos de comparação múltipla emparelhados.

Tabela 11 – Comparações por fator: FIBRA

Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
0,10% vs. 0,15%	89,897	6,222	<0,001	Sim
0,10% vs. 0,20%	85,133	5,892	<0,001	Sim
0,00% vs. 0,15%	67,919	4,701	<0,001	Sim
0,00% vs. 0,20%	63,155	4,371	0,001	Sim
0,10% vs. 0,00%	21,977	1,521	0,274	Não
0,20% vs. 0,15%	4,764	0,33	0,746	Não

Fonte: Elaborada pela autora.

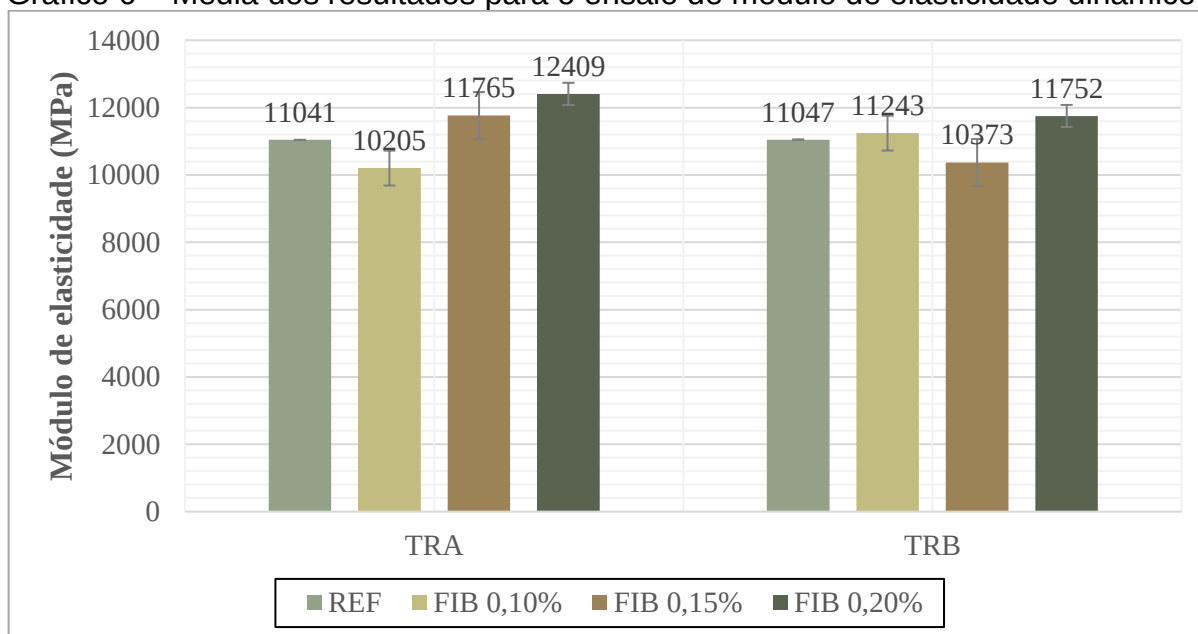
O teste de comparação de médias indicou que:

- a) com relação as argamassas sem aplicação de fibra, a adição de 0,10% não apresentou estatisticamente diferença significativa para a densidade de massas das argamassas, sendo, portanto, um percentual de adição considerado sem efeito para este ensaio em questão;
- b) indica, também, que, a adição de 0,15% e 0,20% de fibra da casca do coco sobre a massa dos compósitos produzem efeito significativo na redução da densidade de massa, entretanto os percentuais não diferem entre-se, na comparação 0,20% vs. 0,15% demonstrada pela Tabela 11.
- c) Confirma-se, pelo teste de comparação múltipla, que o percentual de 0,15% apresentou maior redução na densidade de massa aparente das argamassas, em detrimento dos demais.

4.2 Módulo de elasticidade dinâmico

No Gráfico 6 são apresentados os resultados médios obtidos no ensaio de módulos de elasticidade.

Gráfico 6 – Média dos resultados para o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados médios para o ensaio de módulo de elasticidade apresentaram, em relação ao traço de referência A (TRA) uma pequena redução para a argamassa com adição de 0,10% de 7,5%, e leve aumento de 6,6% para a argamassa TAF15, e aumento significativo para a argamassa TAF20, a saber, 12,40%.

Com relação as argamassas do grupo B, a incorporação de fibra não apresentou diferença relevante para os valores de módulo de elasticidade em relação a argamassa de referência. Os percentuais de incremento foram: de +1,8%, -6,1% e +6,4%, respectivamente para os traços TBF10, TBF15 E TBF20. O pouco efeito da fibra de coco para as argamassas do grupo B, pode estar relacionado a relação agregado/aglomerante ser maior para esse grupo de argamassa.

O Módulo de elasticidade pode ser compreendido como a relação entre a tensão e deformação reversível, ou seja, quanto menor o módulo de elasticidade, menor será a quantidade de tensão de tração elástica induzida para uma determinada magnitude de retração, explica Metha e Monteiro (2008). Deste modo, o módulo de elasticidade está relacionado com o comportamento elástico do revestimento e fornece informação acerca da deformidade e rigidez do compósito (SILVA *et al.*, 2015).

Para argamassas de revestimento, objetivo desta pesquisa, almeja-se a capacidade de absorver deformações e retornar ao seu estado inicial quando cessados os esforços, sem provocar patologias como fissuras. Logo, argamassas com

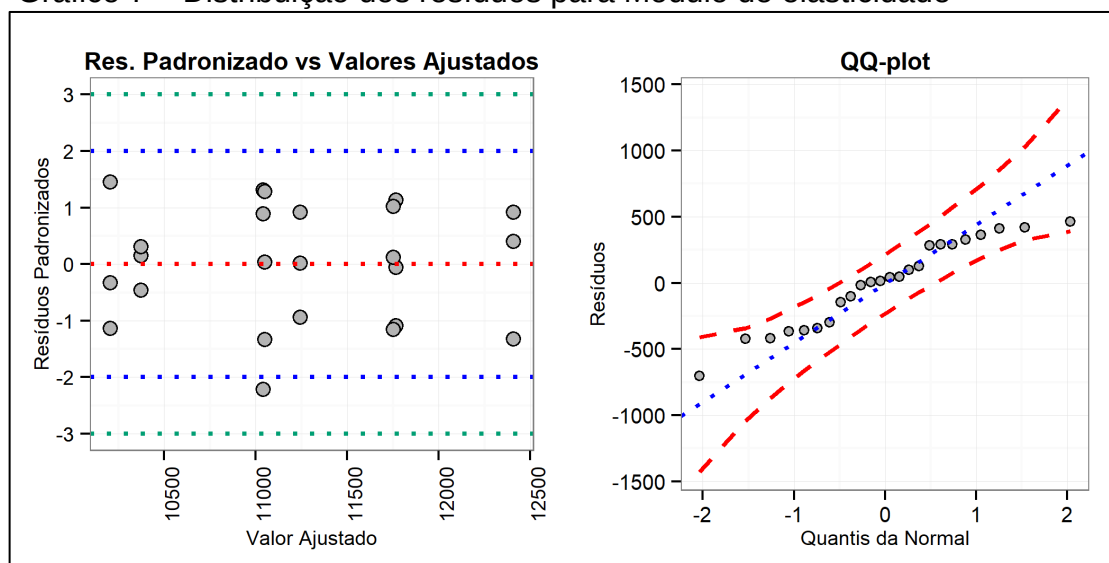
módulo de elasticidade menores tendem a apresentar características elásticas, entretanto, por serem menos rígidas, podem apresentar baixa resistência mecânica.

Diante do explanado anteriormente, tem-se que, dentre as argamassas estudadas, a que apresentou melhor característica elástica foi a argamassa com 0,10% de adição de fibra da casca do coco para o Grupo A e, para o Grupo B, o percentual de 0,15%.

4.2.1 Tratamento estatístico para módulo de elasticidade dinâmico

Para a análise estatística dos resultados do ensaio de módulo de elasticidade, verifica-se que os resíduos padronizados compreendem a faixa de aceite (-3,3) (Gráfico 7); os dados se apresentaram em uma distribuição normal com o valor de P igual a 0,204 para teste de Shapiro-Wilk, e homogeneidade das variâncias com P igual a 0,822, (teste de Brow-Forsythe).

Gráfico 7 – Distribuição dos resíduos para Módulo de elasticidade



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise de variância para o módulo de elasticidade das argamassas está apresentada na Tabela 12. Para a análise estatística foi adotado um nível de significância (α) de 5% para o teste de hipótese, considerando a hipótese nula que todas as médias da variável resposta são iguais e para a hipótese alternativa considerou-se que pelo menos uma média dos níveis de fatores são diferentes, ou seja tem efeito significativo sobre o módulo de elasticidade dinâmico.

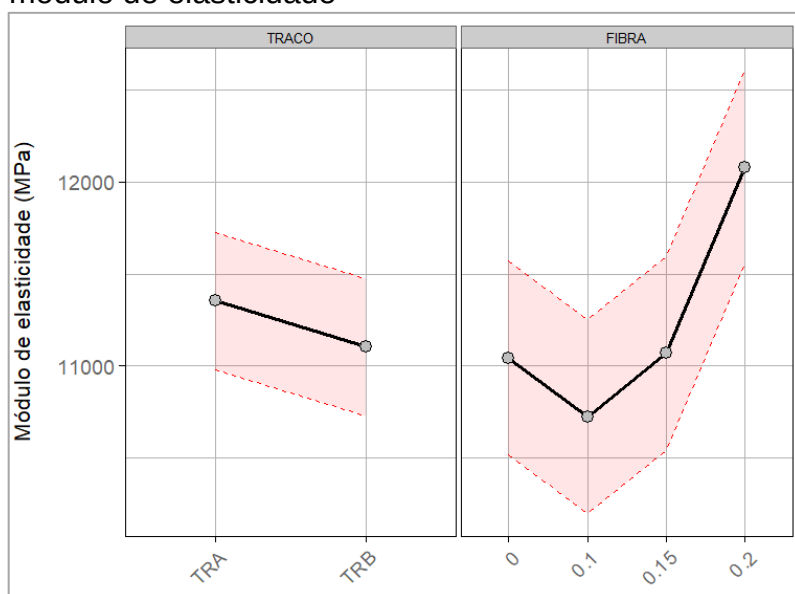
Tabela 12 – Tabela da ANOVA para Módulo de elasticidade das argamassas

Fator	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traço	1	378649,190	378649,190	2,497	0,134
Fibra	3	6238330,984	2079443,661	13,711	<0,001
Traço:Fibra	3	4794739,976	1598246,659	10,538	<0,001
Erro	16	2426546,282	151659,143		

Fonte: Elaborada pela autora.

Assim como para o ensaio de densidade, constatou-se que existe diferença estatisticamente significativa para o fator fibra de coco sobre o módulo de elasticidade das argamassas ($P < 0,001$), ao passo que o fator traço, não apresenta o mesmo (valor de $P = 0,256$). Percebe-se também que há uma interação estatisticamente significativa entre os fatores Traço:Fibra ($P < 0,0001$), o que indica que os efeitos principais não podem ser adequadamente interpretados se uma interação significativa for determinada. Isso ocorre porque o efeito de um fator depende do nível do outro. Por conseguinte, o efeito sobre o módulo de elasticidade das argamassas para os diferentes traços estudados depende de qual nível de fibra do coco está presente. Para melhor compreensão do apresentado anteriormente, o Gráficos 8 apresenta o comportamento do efeito do traço (pouco significativo) e da fibra. O Gráficos 9 e 10 demonstram a interação para os fatores Traço e Fibra e vice-versa, estudados nesta pesquisa, em relação ao módulo de elasticidade.

Gráfico 8 – Efeito dos fatores Traço e Fibra para o módulo de elasticidade



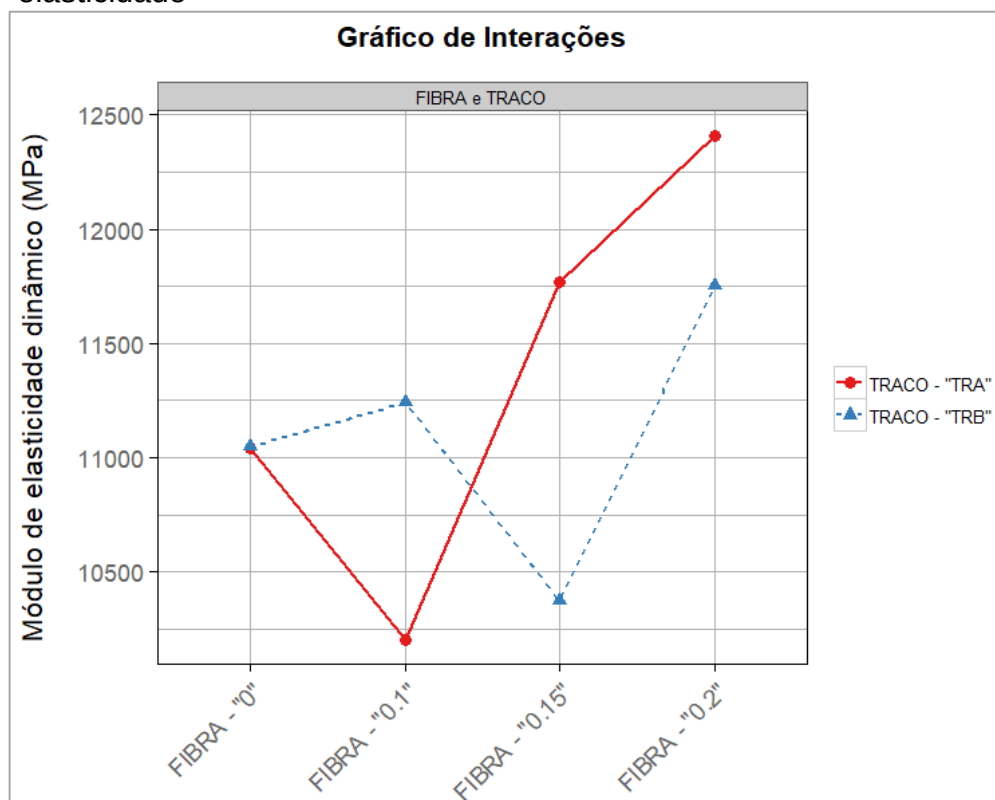
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 9 – Interações entre Traço e Fibra para Módulo de elasticidade



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 10 – Interações entre Fibra e Traço para Módulo de elasticidade



Fonte: Elaborado pela autora.

Como complemento ao teste ANOVA, o teste de comparação múltipla pelo método de Holm-Sidak, a nível de confiança de 95%, realiza o isolamento dos grupos para o fator Fibra e para a interação Traço:Fibra. A Tabela 13 apresenta todos os procedimentos de comparação múltipla emparelhados.

Tabela 13 – Comparações por fator para módulo de elasticidade

Comparações por fator: FIBRA				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
0,20% vs. 0,10%	1356,544	6,033	<0,001	Sim
0,20% vs. 0,00%	1036,124	4,608	0,001	Sim
0,20% vs. 0,15%	1011,235	4,498	0,001	Sim
0,15% vs. 0,10%	345,309	1,536	0,373	Não
0,00% vs. 0,10%	320,42	1,425	0,317	Não
0,15% vs. 0,00%	24,889	0,111	0,913	Não
Comparações por fator: FIBRA com TRA				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
0,20% vs. 0,10%	2203,932	6,931	<0,001	Sim
0,15% vs. 0,10%	1560,8	4,909	<0,001	Sim
0,20% vs. 0,00%	1367,657	4,301	0,002	Sim
0,00% vs. 0,10%	836,275	2,63	0,054	Não
0,15% vs. 0,00%	724,525	2,279	0,072	Não
0,20% vs. 0,15%	643,132	2,023	0,06	Não
Comparações por fator: FIBRA com TRB				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
0,20% vs. 0,15%	1379,337	4,338	0,003	Sim
0,10% vs. 0,15%	870,181	2,737	0,071	Não
0,20% vs. 0,00%	704,591	2,216	0,156	Não
0,00% vs. 0,15%	674,746	2,122	0,142	Não
0,20% vs. 0,10%	509,156	1,601	0,241	Não
0,10% vs. 0,00%	195,435	0,615	0,547	Não
Comparações por fator: TRAÇO com 0,10%				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRB vs. TRA	1038,153	3,265	0,005	Sim
Comparações por fator: TRAÇO com 0,15%				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRA vs. TRB	1392,828	4,38	<0,001	Sim
Comparações por fator: TRAÇO com 0,20%				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRA vs. TRB	656,623	2,065	0,056	Não

Fonte: Elaborada pela autora.

O teste de comparação de médias constatou que não existe diferença significativa no módulo de elasticidade entre os traços TRA e TRB, confirmando o apresentado pelo teste ANOVA. Observa-se também que:

- a) para o traço 1: 0,417: 5 (TRA) a incorporação de 0,10% e 0,15% de fibra da casca do coco não diferiram estatisticamente nos resultados de módulo de elasticidade dinâmico, em relação à argamassa de referência. Portanto, a adição desses percentuais é de pouco efeito aos compósitos;
- b) para o traço 1: 0,417: 6,67 (TRB) a incorporação de fibra da casca do coco, para os três percentuais de incorporação, não apresentou efeito significativo, estatisticamente, para os resultados de módulo de elasticidade dinâmico, em relação à argamassa de referência, requerendo, portanto, percentuais acima de 0,20% para uma atuação significativa da fibra do coco à matriz cimentícia;
- c) pondera-se que a menor relação agregado/aglomerante contribuiu com melhor atuação da fibra nos compósitos em estudo para a determinação do módulo de elasticidade.
- d) o percentual de 0,20% confere, estatisticamente, mais rigidez ao fator Traço.

Ao realizar análise de correlação entre a variável Módulo de elasticidade e as demais variáveis-respostas, utilizando a Correlação de Pearson, tem-se que o módulo de elasticidade das argamassas apresentou correlação positiva, com a resistência à tração na flexão, que para melhor, compreensão, será discutido no próximo item, após apresentados dos resultados para o ensaio de resistência na flexão.

4.3 Resistência à tração na flexão

Os resultados médios de Resistência à tração na flexão aos 28 dias são apresentados na Tabela 14, bem como os percentuais de incremento nas resistências das argamassas com fibra e suas respectivas argamassas de referência. Foram considerados resultados válidos os valores das amostras que apresentaram desvio¹ absoluto máximo não superior a 0,3 MPa. O relatório de ensaio encontra-se disponível no Apêndice D.

¹ Desvio absoluto máximo é a diferença entre a resistência média e a resistência individual que apresenta valor mais distancia da média para mais ou para menos (ABNT, 2005).

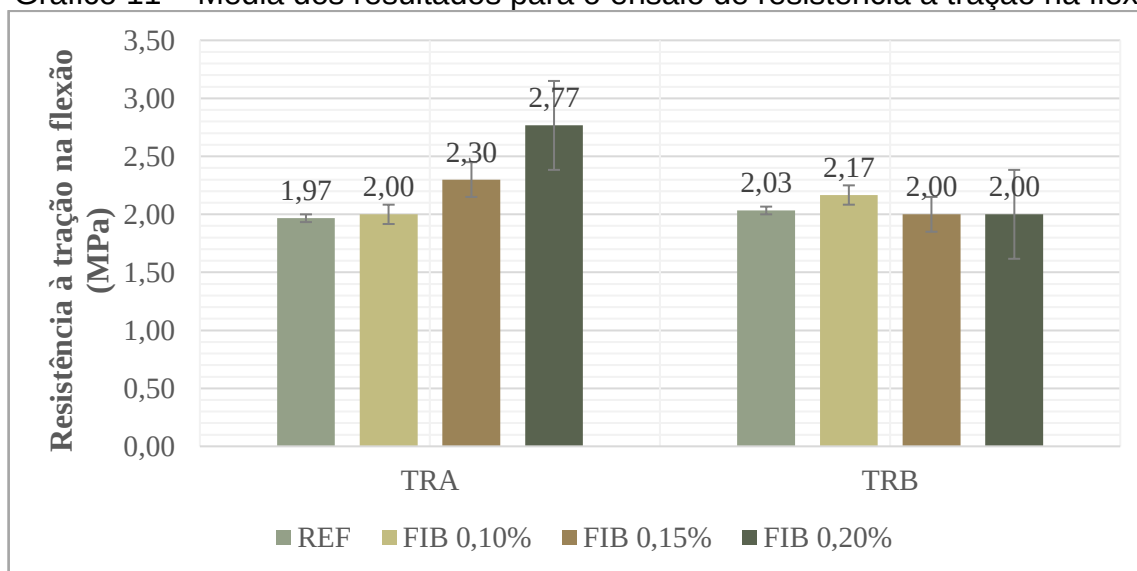
Tabela 14 – Resultados médios para o ensaio de resistência à tração na flexão

Argamassa	Média (MPa)	Desvio Absoluto máximo	Incremento (%)
TRA	1,97	0,1	-
TRB	2,03	0,2	-
TAF10	2,00	0,1	1,7
TBF10	2,17	0,2	6,6
TAF15	2,30	0,1	16,9
TBF15	2,00	0,1	-1,6
TAF20	2,77	0,3	40,7
TBF20	2,00	0,0	-1,6

Fonte: Elaborada pela autora.

O Gráfico 11 auxilia na apresentação dos resultados médios obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão. Pode-se observar que, em relação ao traço de referência TRA, a incorporação de fibra da casca do coco assumiu um comportamento crescente nos valores de resistência, com o maior valor para o traço TAF20, o qual registrou um aumento de 40,7% no valor de resistência.

Gráfico 11 – Média dos resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Elaborado pela autora.

Para o traço TRB, os valores de resistência à tração na flexão se mantiveram próximo aos do traço de referência para os três percentuais de fibra aplicados, com um sutil aumento de 6,6% para o traço TBF10.

As amostras contendo aditivos de fibra da casca do coco seco apresentaram aumento na resistência à tração na flexão (Gráfico 11). Além da melhoria, segundo o estudo de Agopyan & Savastano Junior (2007) apud Ribeiro (2016), afirma que as resistências à tração à flexão e ao impacto obtiveram-se o melhor desempenho na comparação ao convencional.

Hwang *et al.* (2016) obteve resultados semelhantes ao utilizar placas cimentícias de argamassa contendo de 1% a 4% de fibras de coco, as quais apresentaram valores elevados de resistência à tração e ao impacto.

Assim, como citado por Nakata (2017), em relação ao comportamento obtido na ruptura do corpo-de-prova, verifica-se que as fibras mantiveram as faces das fissuras unidas (Figuras 15 e 16), evitando sua ruptura brusca, evidenciando a melhora na capacidade de deformação promovida pela fibra à argamassa.

Figura 15 – Ruptura do corpo-de-prova em ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 16 – Fibras do coco unindo as faces de corpo-de-prova rompido



Fonte: Elaborada pela autora.

Caso haja uma boa interação fibra-matriz, o processo de arrancamento segue as etapas (LIMA, 2004; FERREIRA, 2012):

- a) Durante o início do carregamento ocorre uma interação fibra-matriz de natureza elástica, na qual é admitida uma aderência perfeita;
- b) Antes da fissuração da matriz, a transferência de tensões elásticas é o mecanismo predominante, onde os deslocamentos vistos na matriz e na fibra são geometricamente correlatos;
- c) Em estágios mais evoluídos do carregamento, ocorre à perda de aderência (decoesão) na interface por cisalhamento elástico, promovendo deslocamento relativo entre a matriz e a fibra e, ao fim da tensão por cisalhamento friccional, acontece o que corresponde à ruptura ou arrancamento total da fibra.

O comportamento de compósito com adição de fibra da casca do coco nos ensaios de tração foi verificado por Silva *et al.* (2014), onde parte da energia que chega no contorno das fibras, através das microfissuras, é absorvida pela mesma, retardando seu retorno para a matriz de cimento, impedindo que sua ruptura seja breve, assim, a adição de fibra na mistura eleva a energia necessária para a fratura total.

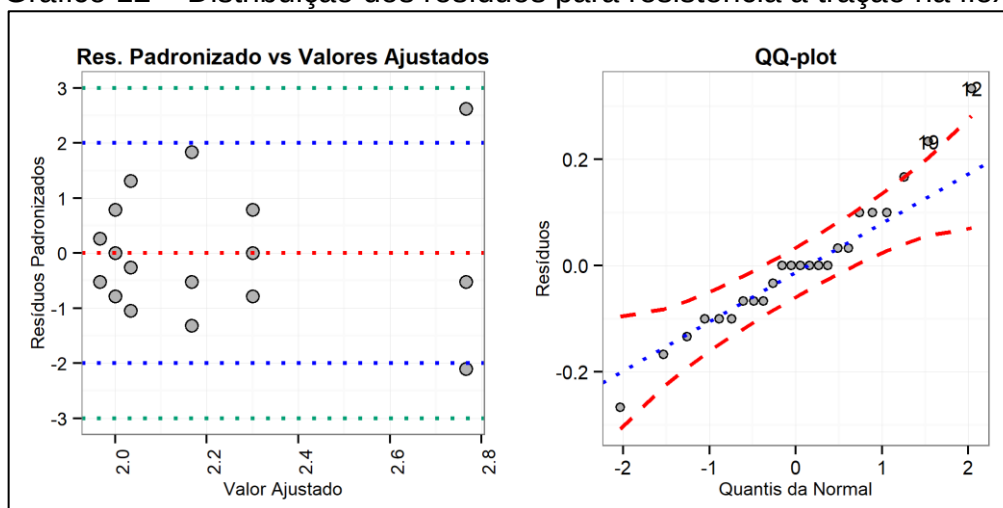
Quanto à classificação das argamassas para o requisito resistência à tração na flexão, segundo a NBR 13281/2005 (ANBT, 2005), o traço TRA é classificado em R2,

são classificadas em R3 as argamassas TRB, TAF10, TBF10, TAF15, TBF15 e TBF20. a argamassa TAF20 enquadrou-se na classificação R4.

4.3.1 Tratamento estatístico para resistência à tração na flexão

Para a análise estatística para os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, verifica-se que os resíduos padronizados compreendem a faixa de aceite $(-3,3)$ (Gráfico 12); os para esse ensaio também se apresentaram em uma distribuição normal com o valor de P igual a 0,406 para teste de Shapiro-Wilk, e homogeneidade das variâncias com P igual a 0,248 pelo teste de Brow-Forsythe.

Gráfico 12 – Distribuição dos resíduos para resistência à tração na flexão



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise de variância para a resistência à tração na flexão das argamassas é apresentada na Tabela 15. Para a análise estatística foi adotado um nível de significância (α) de 5% para o teste de hipótese, considerando a hipótese nula que todas as médias da variável resposta são iguais e para a hipótese alternativa considerou-se que pelo menos uma média dos níveis de fatores são diferentes, ou seja tem efeito significativo sobre o ensaio de resistência.

Tabela 15 – Tabela da ANOVA para resistência à tração na flexão das argamassas

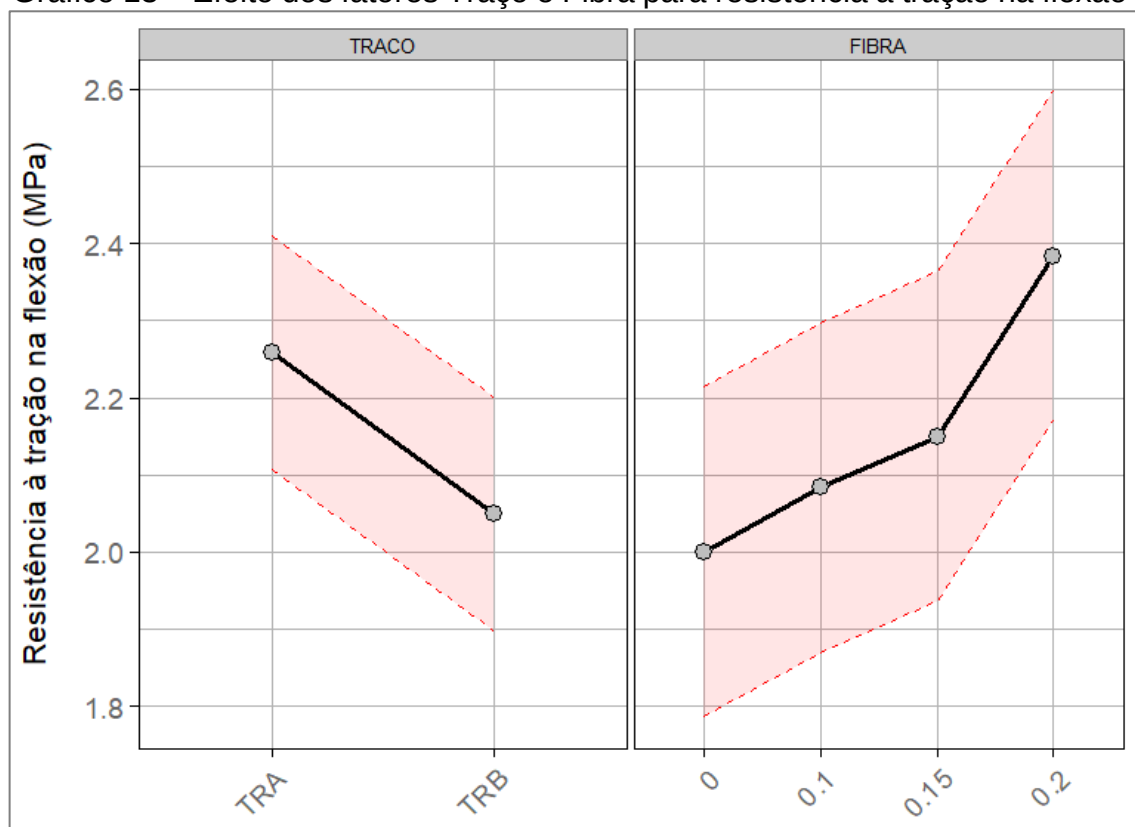
Fator	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traço	1	0,260	0,260	10,776	0,005
Fibra	3	0,488	0,163	6,730	0,004
Traço:Fibra	3	0,805	0,268	11,098	<0,001
Erro	16	0,387	0,024		

Fonte: Elaborada pela autora.

Assim como as análises ANOVA para os ensaios anteriores, constatou-se que a aplicação de fibra da casca do coco também tem efeito estatisticamente significativo nas resistências na flexão das argamassas ($P < 0,004$). Nesta análise, o fator traço também apresenta efeito significativo, pois demonstra valor de P inferior ao valor adotado de significância de 5 % ($P = 0,005$).

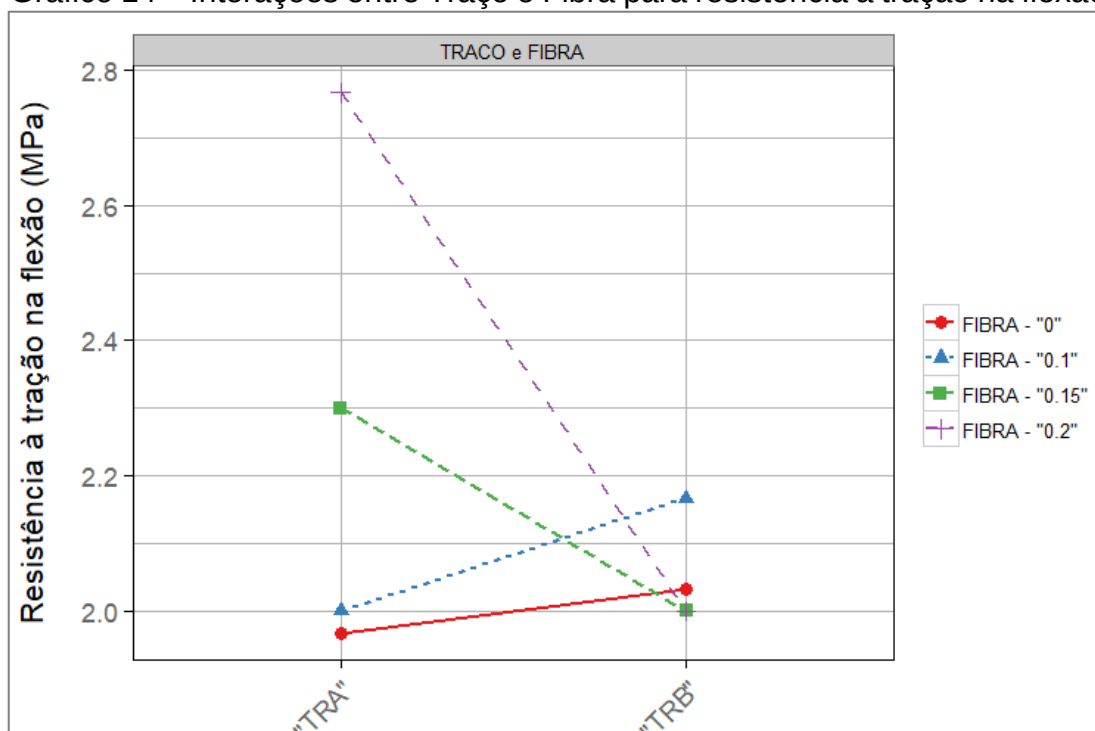
Entretanto, observa-se que a interação entre os dois fatores (traço e fibra do coco) se demonstra estatisticamente com maior efeito significativo que os demais, por apresentar valor de P inferior a 0,001. O Gráficos 13 apresenta o comportamento do efeito do traço e da fibra. O Gráficos 14 e 15 demonstram a interação para os fatores Traço e Fibra e vice-versa, estudados nesta pesquisa, para a variável-resposta resistência à tração na flexão.

Gráfico 13 – Efeito dos fatores Traço e Fibra para resistência à tração na flexão



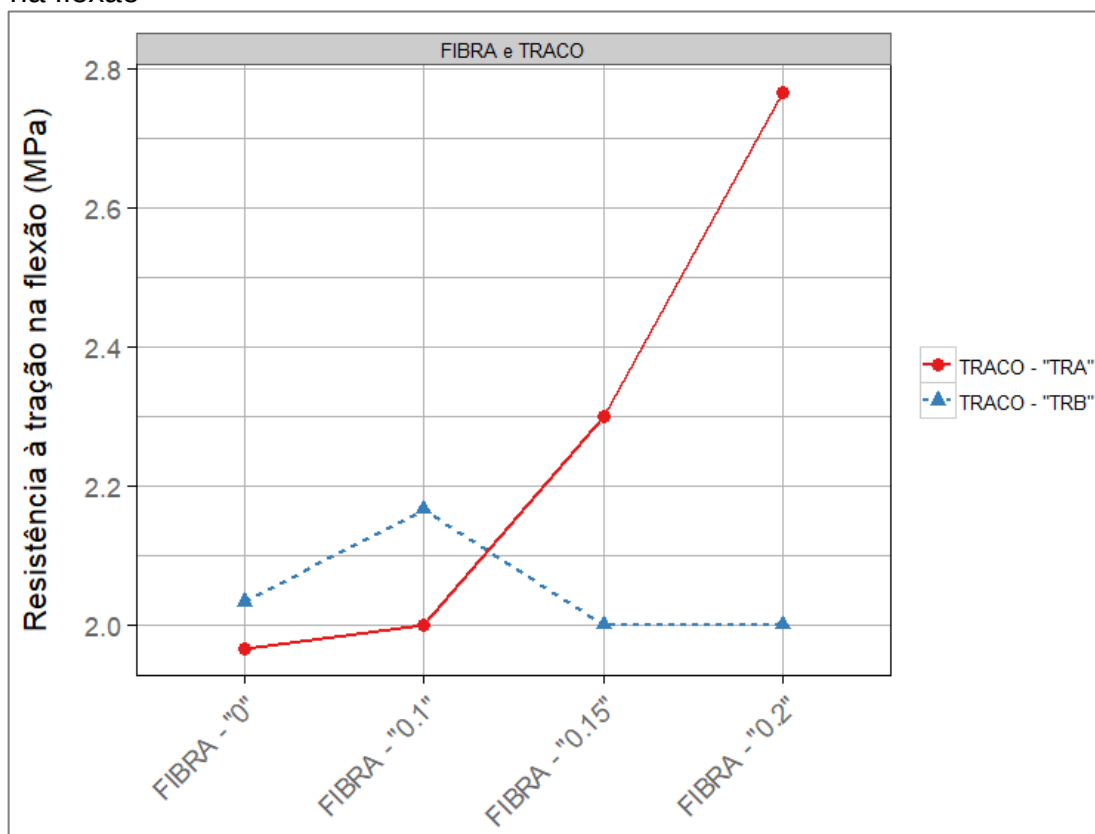
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 14 – Interações entre Traço e Fibra para resistência à tração na flexão



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 15 – Interações entre Fibra e Traço para resistência à tração na flexão



Fonte: Elaborado pela autora.

Como complemento ao teste ANOVA, o teste de comparação múltipla pelo método de Holm-Sidak, a nível de confiança de 95%, realiza o isolamento dos grupos para o fator Fibra. A Tabela 16 apresenta todos os procedimentos de comparação múltipla emparelhados.

Tabela 16 – Comparações por fator para resistência à tração na flexão das argamassas

Comparações por fator: TRAÇO				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRA vs. TRB	0,208	3,283	0,005	Sim
Comparações por fator: FIBRA				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
0,20% vs. 0,00%	0,383	4,271	0,004	Sim
0,20% vs. 0,10%	0,3	3,343	0,02	Sim
0,20% vs. 0,15%	0,233	2,6	0,075	Não
0,15% vs. 0,00%	0,15	1,671	0,305	Não
0,10% vs. 0,00%	0,0833	0,928	0,599	Não
0,15% vs. 0,10%	0,0667	0,743	0,468	Não
Comparações por fator: FIBRA com TRA				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
0,20% vs. 0,00%	0,8	6,303	<0,001	Sim
0,20% vs. 0,10%	0,767	6,04	<0,001	Sim
0,20% vs. 0,15%	0,467	3,677	0,008	Sim
0,15% vs. 0,00%	0,333	2,626	0,054	Não
0,15% vs. 0,10%	0,3	2,364	0,061	Não
0,10% vs. 0,00%	0,0333	0,263	0,796	Não
Comparações por fator: FIBRA com TRB				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
0,10% vs. 0,20%	0,167	1,313	0,753	Não
0,10% vs. 0,15%	0,167	1,313	0,688	Não
0,10% vs. 0,00%	0,133	1,05	0,772	Não
0,00% vs. 0,20%	0,0333	0,263	0,992	Não
0,00% vs. 0,15%	0,0333	0,263	0,958	Não
0,15% vs. 0,20%	0	0	1	Não

Tabela 16 – Comparações por fator para resistência à tração na flexão das argamassas (continuação e conclusão)

Comparações por fator: TRAÇO sem adição de fibra				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRB vs. TRA	0,0667	0,525	0,607	Não
Comparações por fator: TRAÇO com 0,10%				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRB vs. TRA	0,167	1,313	0,208	Não
Comparações por fator: TRAÇO com 0,15%				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRA vs. TRB	0,3	2,364	0,031	Sim
Comparações por fator: TRAÇO com 0,20%				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRA vs. TRB	0,767	6,04	<0,001	Sim

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao realizar o teste de comparação entre os fatores em estudo e a interação dos mesmos, constatou-se que:

- analisando o fator Traço, tem-se que a relação agregado/aglomerante influencia o resultado da resistência na flexão dos compósitos, conforme o valor de P ($P < 0,005$), resultando com diferença maior para o traço com maior teor de aglomerante, TRA;
- para o traço TRB, a incorporação de fibra da casca do coco, para os percentuais analisados, não diferiu estatisticamente nos resultados da resistência na flexão. Pondera-se que a menor relação agregado/aglomerante contribuiu com melhor atuação da fibra nos compósitos em estudo para o ensaio em questão. Neste caso, elevar o percentual de adição de fibra para valores acima de 0,20% comprometeria a trabalhabilidade da mistura com resultado pouco satisfatório para a resistência do compósito para o traço B. A redução de resistência das argamassa com adição de fibra de coco pode ser atribuída, ao fato das fibras vegetais apresentarem taxa de absorção de água superior a 80%, o que inibe o efeito de parede e produz forte fluxo de água na direção da fibra provocando um aumento local da relação água/aglomerante elevando a porosidade na zona de transição entre a fibra e a matriz (SILVA *et al.*, 2014).

- c) na interação Traço:Fibra, os percentuais de 0,10% e 0,15% não apresentaram diferença significativa, estatisticamente, para a resistência dos compósitos. Cogita-se, então, que os mesmos percentuais não puderam promover ancoragem satisfatória para o recebimento de tensões da matriz para as fibras.
- d) para o percentual de 0,20%, este obteve valores que elevaram significativamente a resistência dos compósitos do traço TRA. O mesmo efeito não foi verificado para o traço TRB, o qual obteve melhores resultados para a resistência com a menor aplicação, 0,10%, de fibra. Considera-se que o aumento da relação a/a, provavelmente, não possibilitou uma boa distribuição da fibra na matriz para 0,15% e 0,20% de incorporação daquela sobre a massa desta. Resende (2003) identificou, em sua pesquisa com fibra de sisal em concreto, que a adição de 1% da fibra com comprimento de 30 mm, provocou redução na resistência à tração na flexão justificando a redução à menor trabalhabilidade do compósito para o aumento de percentual de adição da fibra.

Através dos coeficientes de Pearson, por meio do teste de correlação para um nível de significância de 5%, tem-se que os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão apresentaram correlação para com os ensaios de módulo de elasticidade e resistência à compressão.

A correlação para com o módulo de elasticidade apresentou valor de P de 0,00252 ($P < 0,050$), com o qual foi possível afirmar que os valores de resistência e módulo tendem a crescerem juntos. Entretanto ao verificar o coeficiente de Pearson percebe-se que essa correlação não é considerada forte, recebendo um valor de 0,6 para o coeficiente do teste, indicativo de uma correlação moderada, em uma escala positiva que varia de 0 (correlação fraca) a 1 (correlação forte).

A correlação entre as variáveis Resistência à tração na flexão e Resistência à compressão será discutida ao final da seção 4.4.1, após a apresentação dos resultados para o ensaio de resistência à compressão.

4.4 Resistência à compressão

Os resultados médios de Resistência à compressão aos 28 dias são apresentados na Tabela 17, bem como os percentuais de incremento nas resistências das argamassas com fibra e suas respectivas argamassas de referência. Foram considerados resultados válidos os valores das amostras que apresentaram desvio absoluto máximo não superior a 0,5 MPa. O relatório de ensaio encontra-se disponível no Apêndice E.

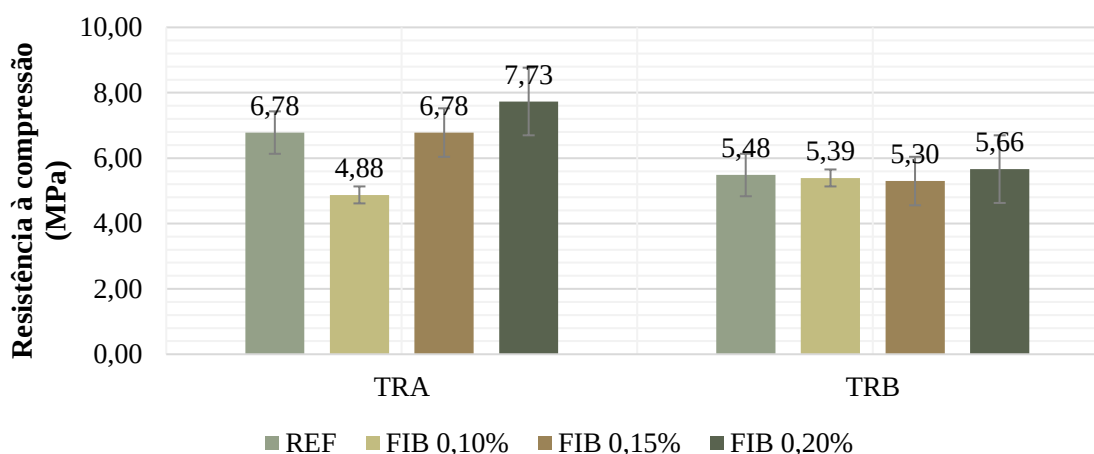
Tabela 17 – Resultados médios para o ensaio de resistência à compressão

Argamassa	Média (MPa)	Desvio absoluto máximo	Incremento (%)
TRA	6,78	0,4	-
TRB	5,48	0,4	-
TAF10	4,88	0,4	-28,1
TBF10	5,39	0,4	-1,6
TAF15	6,78	0,3	0,0
TBF15	5,30	0,2	-3,4
TAF20	7,73	0,5	14,0
TBF20	5,66	0,4	3,3

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao contrário do ensaio de resistência à tração na flexão, das 6 amostras contendo aditivos de fibra da casca do coco, apenas duas apresentaram aumento na resistência à compressão, a saber, as argamassas contendo 0,20% de fibra, em ambos os traços, que corresponde a um incremento positivo de 14,0% para o traço A e 3,3% para o B, o qual possui maior relação agregado/aglomerante (a/a) (Gráfico 16).

Gráfico 16 – Média dos resultados para o ensaio de resistência à compressão



Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda que pouco acentuada, a redução na resistência das argamassas com adição de fibra de coco, em uma análise geral, pode ser atribuída, de acordo com Savastano Júnior & Agopyan (1999), ao fato das fibras vegetais apresentarem uma taxa de absorção de água superior a 80%, o que inibe o efeito de parede e produz forte fluxo de água na direção da fibra provocando um aumento local da relação água/aglomerante elevando a porosidade na zona de transição entre a fibra e a matriz.

Toledo Filho (1997) registrou uma redução da resistência à compressão da argamassa com fibra de coco em relação à de referência, de 18,4%, para adição de 2%, e de 29% para o teor adicionado de fibra de 3%. Os mesmos afirmam que, valores altos e frações volumétricas de fibra adicionadas à matriz cimentícia, possibilita um número maior de defeitos em razão de uma compactação ineficiente da mistura fresca. Esses defeitos tendem a aumentar com dosagens maiores da quantidade de fibras, uma vez que a mistura se torna mais rígida e menos trabalhável. O mesmo argumento é confirmado por Agopyan e Savastano Júnior (2003), que a porosidade da zona interfacial da argamassa fibrosa resulta de uma ineficiente compactação da mistura fresca e, conseqüentemente, provoca a redução da resistência à compressão. As fibras de maior comprimento promovem efeito similar na mistura de argamassa, diminuindo seu desempenho.

Por outro lado, a rugosidade superficial das fibras de coco, particularmente as saliências, formando pequenos nódulos, pode ajudar na adesão mecânica da matriz durante o processo de cura e assim melhora a tensão interfacial (Monteiro *et al.*, 2006).

Em relação ao comportamento observado após à compressão dos corpos-de-prova, verifica-se, na Figura 17, a capacidade das fibras em manter unida a matriz cimentícia, permitindo uma maior capacidade de deformação, assim como evidenciado também por Silva *et al.* (2014).

Figura 17 – Corpo-de-prova com fibras do coco após ensaio de resistência à compressão



Fonte: Elaborada pela autora.

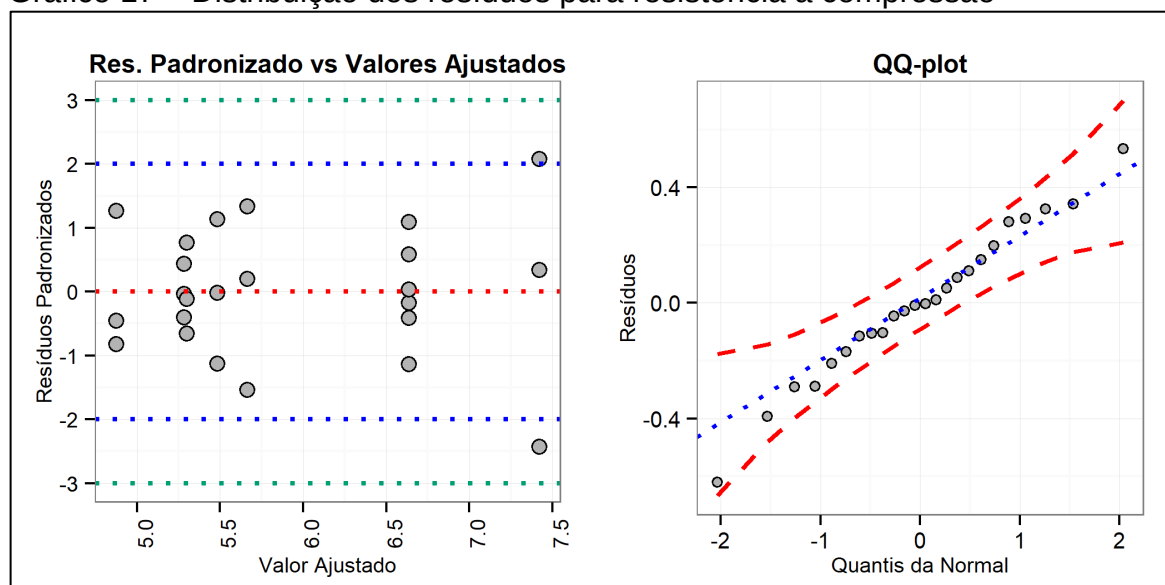
É importante ressaltar que a diminuição da resistência à compressão não representa, necessariamente, um impeditivo para sua utilização. Considerando o valor mínimo de 2,0 MPa para argamassas de revestimento e assentamento da NBR 13281 (ABNT, 2005) observa-se que todas as argamassas com fibra de coco ultrapassam o limite mínimo de resistência; esses resultados apontam para a possibilidade técnica do uso de fibras de coco em argamassa na construção civil.

Quanto à classificação das argamassas para o requisito resistência à compressão, segundo a NBR 13281/2005 (ANBT, 2005), os traços TRB, TBF10, TAF10, TBF15 e TBF20 são classificados em argamassa P4. As argamassas TRA, TAF15 e TAF20 enquadraram-se na classificação P5.

4.4.1 Tratamento estatístico para resistência à compressão axial

Na análise estatística, os dados obtidos no ensaio de resistência à compressão apresentaram homogeneidade das variâncias ($P = 0,072$ no teste de Brow-Forsythe) e resíduos padronizado dentro da faixa de aceita $(-3,3)$ (Gráfico 17). Também, apresentaram-se em uma distribuição normal com o valor de P igual a 0,994 para teste de Shapiro-Wilk.

Gráfico 17 – Distribuição dos resíduos para resistência à compressão



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise de variância para a resistência à compressão das argamassas é apresentada na Tabela 18. Para a análise estatística foi adotado um nível de significância (α) de 5% para o teste de hipótese, considerando a hipótese nula que todas as médias da variável resposta são iguais e para a hipótese alternativa considerou-se que pelo menos uma média dos níveis de fatores são diferentes, ou seja tem efeito significativo sobre o ensaio de resistência.

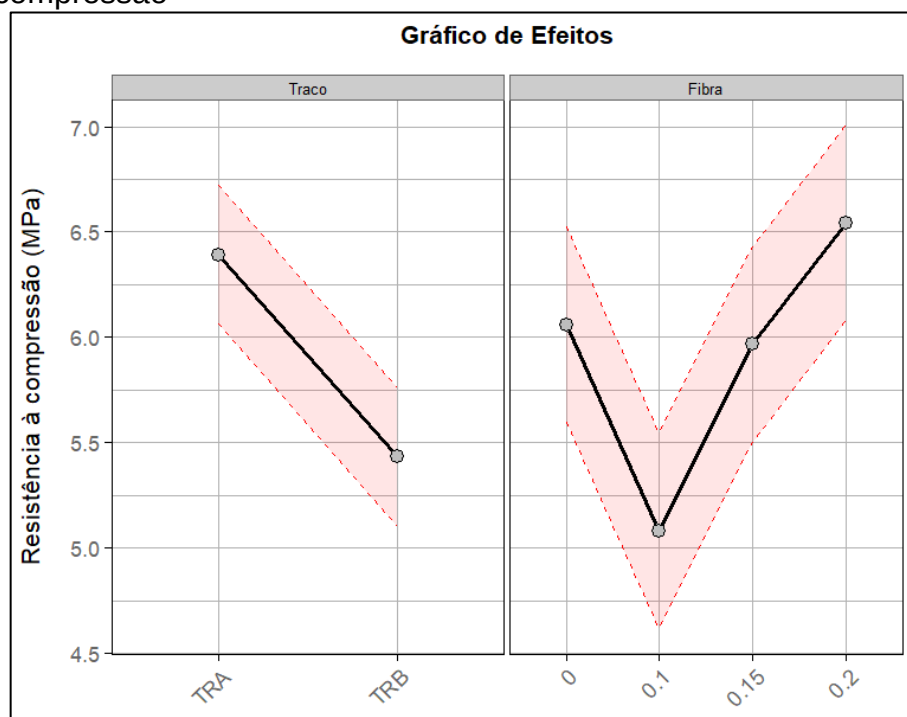
Tabela 18 – Tabela da ANOVA para resistência à compressão das argamassas

Fator	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traço	1	5,525	5,525	56,190	<0,001
Fibra	3	6,695	2,232	22,696	<0,001
Traço:Fibra	3	4,032	1,344	13,671	<0,001
Erro	16	1,573	0,098		

Fonte: Elaborada pela autora.

Para ambos os fatores e a interação dos mesmos, o teste de variância apresentou efeito estatisticamente significativo sobre a variável-resposta, com os valores de P inferiores ao nível de confiança adotado (0,05). O Gráfico 18 representa o efeito do traço e da fibra na resistência à compressão das argamassas.

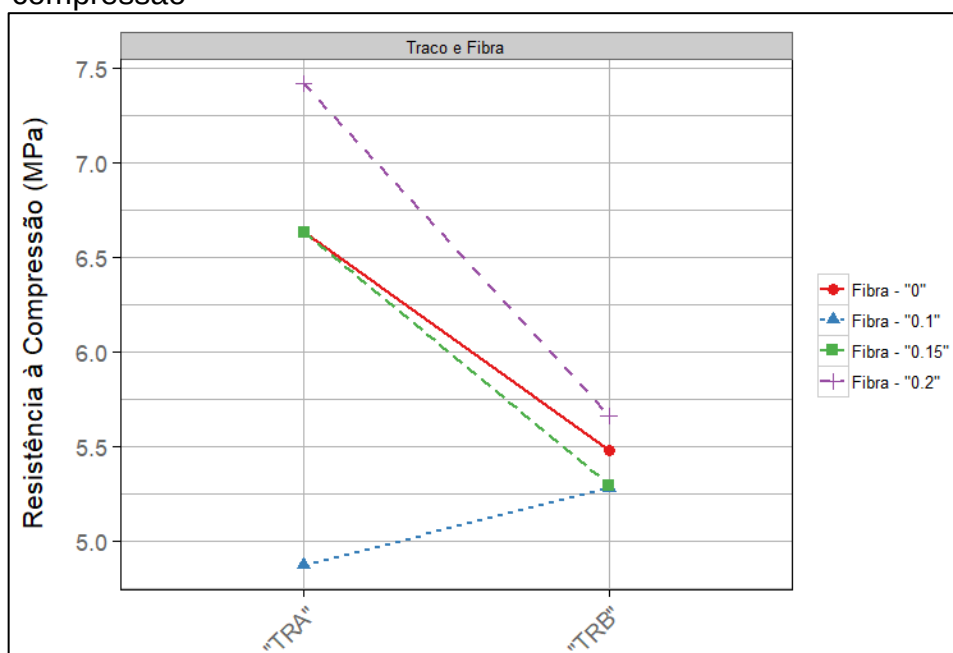
Gráfico 18 – Efeito dos fatores Traço e Fibra para resistência à compressão



Fonte: Elaborada pela autora.

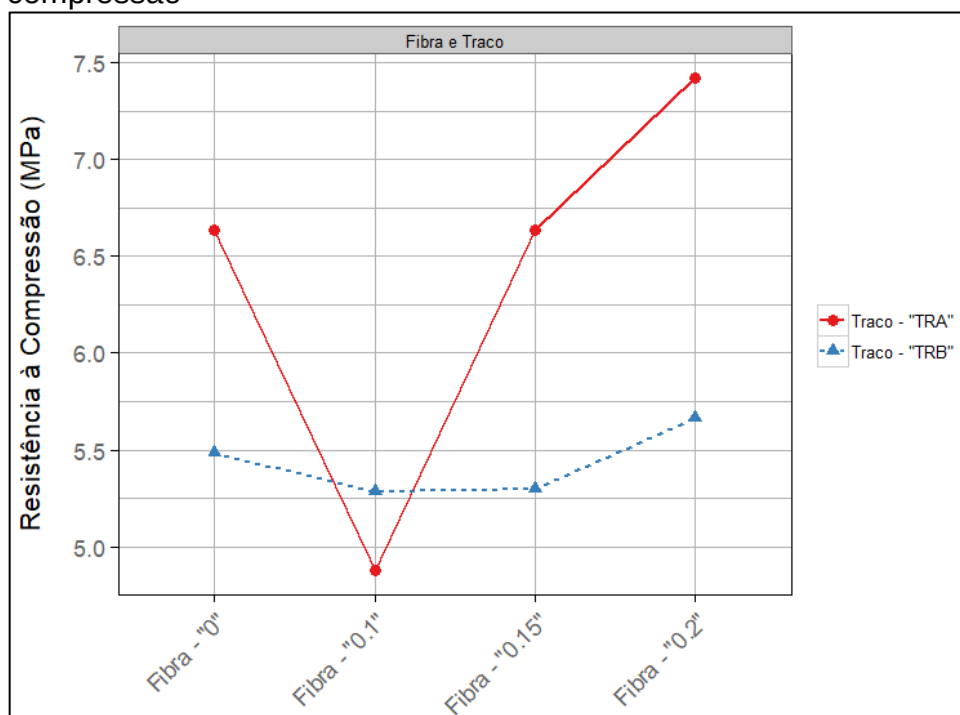
Para identificar a interação entre os fatores, foram elaborados dois gráficos de interação: o primeiro representando a interação Traço:Fibra, e em seguida, a interação em seu oposto (Gráficos 19 e 20).

Gráfico 19 – Interações entre Traço e Fibra para resistência à compressão



Fonte: Elaborada pela autora.

Gráfico 20 – Interações entre Fibra e Traço para resistência à compressão



Fonte: Elaborada pela autora.

Como complemento ao teste de variâncias, o teste de comparação múltipla pelo método de Holm-Sidak, a nível de confiança de 95%, realiza o isolamento dos grupos para os fatores estudados. A Tabela 19 apresenta todos os procedimentos de comparação múltipla emparelhados.

Tabela 19 – Comparações por fator para resistência à compressão

Comparações por fator: TRAÇO				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRA vs. TRB	0,96	7,496	<0,001	Sim
Comparações por fator: FIBRA com TRA				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
0,20% vs. 0,10%	2,547	9,947	<0,001	Sim
0,00% vs. 0,10%	1,76	6,874	<0,001	Sim
0,15% vs. 0,10%	1,76	6,874	<0,001	Sim
0,20% vs. 0,15%	0,787	3,073	0,022	Sim
0,20% vs. 0,00%	0,787	3,073	0,015	Sim
0,00% vs. 0,15%	0	0	1	Não

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 19 – Comparações por fator para resistência à compressão

Comparações por fator: FIBRA com TRB				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
0,20% vs. 0,10%	0,38	1,484	0,642	Não
0,20% vs. 0,15%	0,365	1,426	0,614	Não
0,00% vs. 0,10%	0,2	0,781	0,906	Não
0,00% vs. 0,15%	0,185	0,723	0,86	Não
0,20% vs. 0,00%	0,18	0,703	0,742	Não
0,15% vs. 0,10%	0,015	0,0586	0,954	Não
Comparações por fator: TRAÇO sem adição de fibra				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRA vs. TRB	1,152	4,498	<0,001	Sim
Comparações por fator: TRAÇO com 0,10%				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRB vs. TRA	0,408	1,595	0,13	Não
Comparações por fator: TRAÇO com 0,15%				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRA vs. TRB	1,337	5,221	<0,001	Sim
Comparações por fator: TRAÇO com 0,20%				
Comparação	Diferença das médias	t	P	P<0,050
TRA vs. TRB	1,758	6,868	<0,001	Sim

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao realizar o teste de comparação entre os fatores em estudo e a interação dos mesmos, constatou-se que:

- assim como ocorrido para o ensaio de resistência à tração na flexão, analisando o fator Traço, tem-se também que a relação agregado/aglomerante influencia o resultado da resistência à compressão dos compósitos, conforme o valor de P ($P < 0,001$), resultando com diferença maior para o traço com maior teor de aglomerante, TRA;
- para o traço TRB, a incorporação de fibra da casca do coco, para os percentuais analisados, não diferiu estatisticamente nos resultados da resistência à compressão. Isso confirma comentários anteriores, que a menor relação agregado/aglomerante contribuiu com melhor atuação da fibra nos compósitos em estudo para os ensaios de resistência.

- c) na interação Traço:Fibra, o percentual de 0,15% não apresentou diferença significativa, estatisticamente, para a resistência dos compósitos, em relação as argamassas de referência, comportando-se como uma “ponte” entre os outros percentuais de adição.
- d) para o percentual de 0,20%, este obteve valores que elevaram significativamente a resistência dos compósitos do traço TRA. O mesmo efeito foi verificado para o traço TRB, porém sem significância. Considera-se que o aumento da relação a/a, provavelmente, não possibilitou uma boa distribuição da fibra na matriz para 0,20% de incorporação daquela sobre a massa desta.

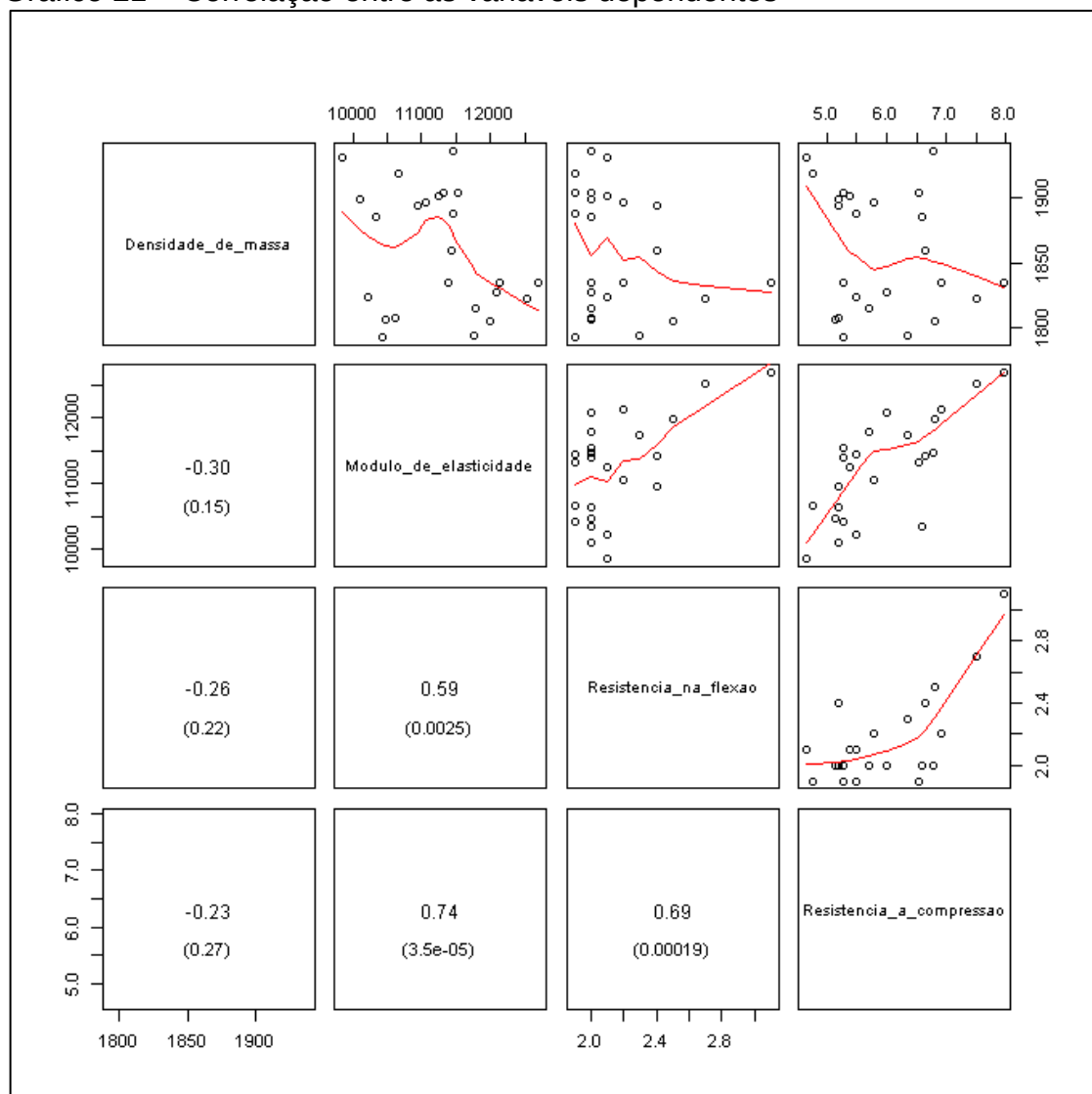
Por fim, é apresentada a matriz de correlação entre as variáveis dependentes (Tabela 20) e os gráficos das mesmas (Gráfico 21). Admite-se a correlação para os valores de P abaixo de 0,05 para os pares de variáveis. O grau de correlação é identificado pelo coeficiente de Pearson que assume uma escala, em módulo, de 0 (correlação fraca) a 1 (correlação forte).

Tabela 20 – Matriz de correlação entre as variáveis dependentes

P-Valores/Coefficiente de Pearson				
Variável dependente	Densidade de massa	Módulo de elasticidade	Resistência na flexão	Resistência à compressão
Densidade de massa	1	0,154/-0,300	0,221/-0,260	0,274/-0,233
Módulo de elasticidade	0,154/-0,300	1	0,003/0,588	<0,001/0,740
Resistência na flexão	0,221/-0,260	0,003/0,588	1	<0,001/0,690
Resistência à compressão	0,274/-0,233	<0,001/0,740	<0,001/0,690	1

Fonte: Elaborada pela autora.

Gráfico 21 – Correlação entre as variáveis dependentes



Fonte: Elaborada pela autora.

4.5 Estimativa de percentual ótimo de fibra

Conforme o objetivo proposto nesta pesquisa e, considerando os resultados obtidos para cada ensaio, pode-se estimar o teor de fibra da casca do coco que otimiza as propriedades avaliadas nesta pesquisa para cada grupo de traço aplicado (Tabela 21).

Tabela 21 – Teor de Fibra que otimiza as propriedades das argamassas

Propriedades	Teor de fibra (%)	
	Traço TRA	Traço TRB
Máxima densidade de massa aparente	0,10	0,10
Mínimo módulo de elasticidade	0,10	0,15
Máxima resistência à tração na flexão	0,20	0,10
Máxima resistência à compressão	0,20	0,20

Fonte: Elaborada pela autora.

Analisando os dados apresentados na Tabela 21 em combinação com a comparação múltipla realizada para cada parâmetro, temos que:

- a) A máxima densidade obtida com a aplicação de 0,10% de fibra apresenta diferença significativa em comparação aos outros percentuais aplicados. Entretanto, esse mesmo percentual que resultou em uma máxima densidade para as argamassas, não difere estatisticamente das argamassas de referência, para ambos os traços, conforme consultado na tabela 11, o que torna sem efeito a aplicação deste percentual;
- b) A capacidade máxima de deformação, ocorre quando se tem os valores mínimos de módulo de elasticidade. Esses valores foram pontuados para a aplicação de 0,10% no grupo A e 0,15% no grupo B. Entretanto, esses percentuais não apresentam diferença significativa com suas respectivas argamassas de referências, conforme os testes de comparação apresentado na tabela 13;
- c) A máxima resistência à tração na flexão e a máxima resistência à compressão ocorrem com a aplicação de 0,20% de fibra para o traço TRA, em ambas as resistências, e respectivamente para o traço TRB, de 0,10% e 0,20%;
- d) Embora as aplicações de 0,10% e 0,20% tenham resultados em máxima resistência para o traço do grupo B, esses valores não são considerados significativos, estatisticamente, como apresentado nas tabelas de comparação múltipla números 16 e 19. Ainda, ao considerar as mesmas tabelas citadas a pouco, pode-se observar que a aplicação da fibra do coco em seus três percentuais testados para as argamassas do grupo B é

considerada sem efeito, sob a análise estatística, para as resistências à tração na flexão e à compressão.

Com base no apresentado anteriormente, e considerando o efeito significativo da fibra, pode-se tomar como indicativo de teor ótimo de fibra de coco para o traço do grupo A (TRA), o percentual de 0,20% de aplicação, considerando que o mesmo apresentou efeito significativo para maximizar os parâmetros de Resistência à tração na flexão e compressão.

Para as argamassas do grupo B, o pouco efeito significativo da aplicação de fibra da casca do coco em relação à argamassa de referências, para os parâmetros avaliados, não torna possível a identificação do teor ótimo de aplicação, considerando o tratamento estatístico empregado.

5 CONCLUSÃO

Países como o Brasil e a Índia, têm desenvolvido trabalhos relacionados à construção civil empregando fibras vegetais. Estes países, assim como outros, possuem largo potencial para a produção de fibra da casca do coco que se apresenta como um material renovável e de baixo custo de aquisição.

A importância da utilização de fibras vegetais, como a fibra da casca do coco, para a construção civil tem sido alvo de trabalhos e pesquisas que contribuem para a identificação de propriedades mecânicas e potencialidades que permitam a sua aplicação em compósitos e que contribuam para uma destinação ambientalmente adequada desses resíduos, agregando-lhe valor ao ser inserido em ciclos produtivos.

Este estudo da aplicação de fibra de coco em argamassa de revestimento, propôs investigar os efeitos dessa aplicação às propriedades físicas e mecânicas dos compósitos para o estado endurecido, quando comparados com compósitos convencionais de argamassas.

Por meio de testes estatísticos, verificou-se que os valores encontrados para as densidades de massa aparente das argamassas, sofreram efeito principal oriundo da adição de fibra do coco, com pouca expressão para o efeito da diferença entre os tipos de traços ou mesmo a interação dos fatores, a qual não ocorreu para esse parâmetro.

A aplicação de fibra também se mostrou com efeito significativo para o módulo de elasticidade, conferindo capacidade de absorver deformações e retornar ao estado inicial. Tem-se que, dentre as argamassas estudadas, a que apresentou melhor característica elástica foi a argamassa TBF10, para 0,10% de adição de fibra da casca do coco. De forma geral, as argamassas de referência tendem a ser mais rígidas que as com adição de fibra da casca do coco.

A resistência à tração na flexão das argamassas variou com o efeito significativo da interação em os fatores estudados (Fibra de coco e Traço). As amostras contendo aditivos de fibra da casca do coco seco apresentaram melhor desempenho na resistência à tração na flexão na comparação com as argamassas de referências, com acréscimo de 40,7% a resistência da argamassa com 0,20% de adição de fibra, traço TAF20.

Outro benefício observado, em relação ao comportamento obtido na ruptura do corpo-de-prova, verifica-se que as fibras mantiveram as faces das fissuras unidas,

evitando sua ruptura brusca, evidenciando a melhora na capacidade de deformação promovida pela fibra à argamassa.

A diminuição nas resistências à compressão e à tração na flexão é mais acentuada quando há um aumento na relação agregado/aglomerante, por este exigir maior relação água/aglomerante. Para além disso, o aumento da quantidade de fibras vegetais pode acarretar na redução da trabalhabilidade da mistura, principalmente com dosagens mais elevadas de fibra, devido à absorção de água pela mesma.

Com base no tratamento estatístico, a aplicação de 0,20% de fibra se apresentou como percentual ótimo para melhores resultados em ambas as resistências testadas para as argamassas do grupo A. Para o grupo B, não se identificou, estatisticamente, percentual ótimo de adição de fibra em relação à argamassa de referência, para os parâmetros testados nesta pesquisa.

O presente trabalho demonstrou, que a incorporação de fibra de coco em matrizes cimentícias é uma alternativa para dar destinação adequada a este resíduo e torná-lo em um subproduto com valor agregado. As pesquisas têm sinalizado que sua utilização melhora algumas propriedades de argamassas e concretos a serem utilizados na construção civil.

Portanto, avaliando os resultados apresentados, pode-se validar a hipótese de que argamassas de cimento, cal, areia e fibra da casca do coco, têm desempenho igual ou superior ao das argamassas mistas convencionais. A Análise de variância ao nível de confiança de 95% confirma a influência da fibra da casca do coco nos parâmetros estudados para as argamassas.

Por fim, segue como sugestões para trabalhos futuros com a aplicação de fibra da casca do coco em argamassa mista:

- a) avaliar a adição da fibra condicionada à pré-hidratada, com o fim de reduzir o teor de água ao compósito requerido pelas fibras adicionadas a ele;
- b) estudar a capacidade de aderência das argamassas mistas com fibra de coco;
- c) estudar a durabilidade das argamassas;
- d) avaliar a influência da temperatura relativa do ar na absorção de água e na permeabilidade do revestimento;
- e) avaliar os efeitos da retração plástica da argamassa no estado fresco, e a retração por secagem da argamassa no estado endurecido, na incidência de fissura nos revestimentos, e;

- f) quantificar os custos para a produção de argamassas com fibra de coco em relação à utilização de fibras sintéticas.

REFERÊNCIAS

ABBAS, Y.M.; KHAN, M.I. Fiber-matrix interactions in fiber-reinforced concrete: A review. **Arab J Sci Eng**, v.41, pg. 1183-1198, 2016.

ALI, M.; LIU, A.; SOU, H.; CHOUW, N. Mechanical and dynamic properties of coconut fiber reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, v. 30, p. 814-825, 2012.

ALI, M. Seismic performance of coconut-fiber-reinforced-concrete columns with different reinforcement configurations of coconut-fibre ropes. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 70, p.226-230. Elsevier BV, 2014

ANTUNES, M. C. *et al.* Fatigue Life of Coir Fiber Reinforced PP Composites: Effect of Compatibilizer and Coir Fiber Contents. **Polym Eng Sci**, 53, p. 2159-65, 2013.

ASASUTJARIT, C.; HIRUNLABH, J.; KHEDARI, J.; CHAROENVAI, S.; ZEGHMATI, B.; CHEUL SHIN, U. Development of coconut coir – based lightweight cement board. **Construction and Building Materials**, v. 21, p. 277 – 288, 2007.

ASSAD, L. Aproveitamento de resíduos do setor sucroalcooleiro desafia empresas e pesquisadores. **Ciência e Cultura**, [s.l.], v. 69, n. 4, p.13-16, out. 2017. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602017000400005>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **NBR 9575**: Impermeabilização – Seleção e Projeto. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos –Determinação da resistência à tração na flexão e compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos –Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____**NBR 13528:** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____**NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas –Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____**NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos -Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2008.

ARAGÃO, W. M.; CRUZ, E. M. O.; HELVÉCIO, J. S. Caracterização morfológica do fruto e química da água de coco em cultivares de coqueiro-anão. **Agrotrópica**, Ilhéus, v. 13, n. 2, 2001. p. 49-58.

BAIA, L.; SABBATINI, F. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 4ª ed. O nome da rosa editora Ltda. São Paulo/SP, 2008.

BAUER, E.; SOUSA, J.; LARA, P.; ALVES, N.; DO Ó, S.; PAES, I.; GONÇALVES, S.; SANTOS, C.; RAMOS, D. **Revestimentos de argamassa:** características e peculiaridades. 1ª ed. BRASÍLIA, 2005.

BENTO, P. **Uso de cal e fibras na melhoria de materiais para utilização em estruturas de pavimentos**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2006.

BOGHOSSIAN, E.; WEGNER, L. D. Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete. **Cement and Concrete Composites**. v.30, p 929-937, 2008.

BONATO, M. M. *et al.* **Argamassas fotocatalíticas e concretos com adição de fibras de coco e sisal para a redução de impactos ambientais de gases poluentes**. Rel. Técnico de Pesquisa LACTEC/COELBA/ANEEL, Curitiba, 2013.

BORGES, A. P. S. N.; MOTTA, L. A. C.; PINTO, E. B. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, e12364, 2019. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762019000200324&lng=en&nrm=iso>. access on 12 Apr. 2020. Epub June 10, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0679>.

CADERNO SETORIAL ETENE. **A adaptação do Nordeste ao cenário de modernização da cocoicultura brasileira**. [s. L.]: Banco do Nordeste, v. 18, 2017. Mensal. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/2666752/18_coco_V4.pdf/93f42437-8108-ebc6-0f78-0cd8f41957b0>. Acesso em: 19 fev. 2019.

CARDOSO, C. **Estudo da utilização de tratamento polimérico com sílica de casca de arroz no comportamento à tração direta e aderência da fibra de sisal em compósitos cimentícios**. 71p. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Alegrete, 2017.

CALLISTER, W. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 2ª ed. LTC Editora, Rio de Janeiro, 2002.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1 ed. v. 2. Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON. São Paulo, 2007.

CHANG, R. **Físico-Química: Para as Ciências Químicas e Biológicas**. 3ª ed. AMGH Editora, 2010.

CORREIA, M. U. **Outras Utilidades da Casca de Coco**. EMBRAPA. AGEITEC Agência Embrapa de Informação Tecnológica. -S/d. jun. 2015.

CORREIA, V. da C. SANTOS, S. F. SAVASTANO Jr., H. JOHN, V. M. Utilization of vegetal fibers for production of reinforced cementitious materials. **Rilem Technical Letters** 2: 145-154, 2018.

COSTA, A. T. S. da. **Propriedades mecânicas de argamassas para revestimento com incorporação de fibra de carnaúba**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Centro Multidisciplinar de Angicos, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2019.

CUNHA, P. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para a aplicação na construção civil**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Ciências Exatas E Da Terra, 2012.

DANTAS, C. **Tratamento hidrotérmico em fibras de sisal e sua influência no comportamento de compósitos cimentícios**. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana) 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Beneficiamento da casca de coco verde para a produção de fibra e pó**. [ca 2012]. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/33/beneficiamento-da-casca-de-coco-verde-para-a-producao-de-fibra-e-po>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

ESCARIZ, R. C. **Desempenho à compressão de compósito reforçado por fibra de coco**. Trabalho de conclusão de curso. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2008.

FERREIRA, D.; GARCIA, G. **Patologia de revestimentos históricos de argamassa: O caso da ação da água na Igreja de São Francisco da Prainha**, Rio de Janeiro. Universidade Federal de Goiás, 2016.

FERREIRA, S. R. **Influência da hornificação na aderência fibra-matriz e no comportamento de compósitos cimentícios reforçados com fibras curtas de**

sisal. 2012. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

FONTENELE, R. E. S. Cultura do Coco no Brasil: Caracterização do Mercado Atual e Perspectivas Futuras. In: CONGRESSO DA SOBER, 43., 2005, Ribeirão Preto. **Instituições, eficiência, gestão e contratos no sistema agroindustrial**: anais. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2005. p. 1-20.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Production quantities of Coconuts by country. 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

GUIMARÃES, M. H. T. **Aproveitamento do resíduo na indústria de água de coco para a produção do pó e da fibra do coco verde**. 2017. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Unive R- Sidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

GUNASEKARAN, K.; ANNADURAI, R.; KUMAR, P. Study on reinforced lightweight coconut shell concrete beam behavior under shear. **Materials & Design**. 50. 293–301. 10.1016/j.matdes. 2013.03.022.

HASSAN, A.; SALEMA, A. A.; ANI, F. A.; BAKAR, A. A. **A review on oil palm empty fruit bunch fibre-reinforced polymer composite material**. Poly Composites, v. 31, p. 2079-2101, 2010.

HWANG, C. L.; TRAN, V. A.; HONG, J. W.; HSIEH, Y. C. Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites. **Construction and Building Materials**, v. 127, p. 984-992, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

JAYAPRITHIKA, A.; S. K. SEKAR. Stress-strain characteristics and flexural behaviour of reinforced Eco-friendly coconut shell concrete. **Construction and Building Materials**. 117. 244-250. 10.1016/j.conbuildmat. 2016.05.016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816307358>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

JERÔNIMO, C. E.; SILVA, G. O. Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da industrialização do coco. **Revista Monografias Ambientais**, [s.l.], v. 10, n. 10, p.2193-2208, 14 jan. 2012. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/223613086935>. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/viewFile/6935/pdf>>. Acesso em: 01 out. 2018.

KANOJIA, A.; K. JAIN, S. Performance of coconut shell as coarse aggregate in concrete. **Construction and Building Materials**. 140. 150-156. 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.066.

KHAN, M.; ALI, M. Improvement in concrete behavior with fly ash, silica-fume and coconut fibres. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 203, p.174-187, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.103>.

LADCHUMANANANDASIVAM, R.; TAVARES, M.; FELIPE, M.; ALEXANDRE, M. **Potential of the brazilian natural lignocellulosic fibres for composite manufacturing**. África do Sul, 2009. Disponível em: <https://www.academia.edu/6897825/Potential_of_the_Brazilian_Natural_Lignocellulosic_fibres_for_Composite_Manufacturing>. Acesso em: 19 fev. 2020.

LIMA, P. R. L. **Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal**. 2004. 263 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MARTINS, C. R.; JESUS, L. A. de. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, (Documentos, 164). BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio; Secretaria de Comércio Exterior, 2011. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_164.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2019.

MATTOS, A. Processamento da casca de coco verde para a produção de pó e fibra. **Journal of the ISTH**, 2011. 53. 85-88.

MEDEIROS, J.; SABBATINI, F. **Estudos sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria**. In: international seminar on structural masonry for developing countries. 1994, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: ANTAC, 1994. p. 594-607. Disponível em: <<https://www.tib.eu/de/suchen/id/BLCP%3ACN023100376/Estudos-Sobre-a-Tecnica-Executiva-de-Revestimentos/>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3ª ed. São Paulo, IBRACON, 2008.

MONTEIRO, S. N.; TERRONES, L. A. H.; CARVALHO, E. A.; ALMEIDA, J. R. M. Efeito da interface fibra/matriz sobre a resistência de compósitos poliméricos reforçados com fibra de coco. **Revista Matéria**, v. 11, p. 395-402, 2006.

MOTTA, L. A. C.; AGOPYAN, V. **Caracterização de fibras curtas empregadas na construção civil**. Boletim técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MWAIKAMBO, L. Y.; ANSELL, M. P. Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. **Journal Of Applied Polymer Science**, [s.l.], v. 84, n. 12, p.2222-2234, 2 abr. 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.10460>. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.10460>>. Acesso em: 19 fev.

2019.

NAKATA, R. H.; LIMA, J. M. Potencial da aplicação de fibras de coco em matriz à base de cimento portland. In: Anais da Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia 2017. **Anais**. Fortaleza (CE) DeVry Brasil - Damásio - Ibmec, 2019. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/mpct2017/47970-POTENCIAL-DA-APLICACAO-DE-FIBRAS-DE-COCO-EM-MATRIZ-A-BASE-DE-CIMENTO-PORTLAND>>. Acesso em: 12/04/2020.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo: EPUSP, 2004.

PCZIECZEK, A. **Aanálise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2017.

OLIVEIRA, S. L. do R. de. **Aproveitamento da casca do coco verde (Cocos nucifera.) para produção de celulases**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Depto. de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2010.

OLUKUNLE, B. G. *et al.* Data on acoustic behaviour of coconut fibre-reinforced concrete. **Data In Brief**, [s.l.], v. 21, p.1004-1007, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dib.2018.10.133>.

RECENA, F. **Conhecendo argamassa**. 2ª ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011.

RESENDE, F. M. **Influência das fibras de aço, polipropileno e sisal no amortecimento de concretos de alta resistência normal e de alto desempenho**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

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

RIBEIRO, F.H. et al., Avaliação das Propriedades Mecânicas de Concretos Reforçados com Fibras do Coco Babaçu, **ANAIS DO 58º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO -CBC2016 –58CBC2016**.

RODRIGUES, J. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Belém, 2008.

RODRÍGUEZ, N. J., LIMÓN, M. Y.; MICELI, F. A.; GUSMAN. O. G.; ORTIZ, T. P. M.; RIVERA, L. L.; FEIJOO, J. A. V. Assessment of coconut fibre insulation characteristics and its use to modulate temperatures in concrete slabs with the aid of a finite element methodology. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 1264-1272, 2011.

ROSA, M. F.; [et al.]. **Utilização da casca de coco como substrato agrícola.**

Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. p. 24. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agroindustria-tropical/busca-de-publicacoes/-/publicacao/425175/utilizacao-da-casca-de-coco-como-substrato-agricola>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

ROSA, M.; MATTOS, A.; CRISOSTOMO, L.; FIGUEIREDO, M.; BEZERRA, F.; VERAS, L.; CORREIA, D. **Aproveitamento da casca de coco verde.** Revista monografias ambientais, v. 13, n. 5, p. 24, 18 dez. 2009. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/574399/aproveitamento-da-casca-de-coco-verde>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

ROTH; C. G; GARCIAS, C. M. **A influência dos padrões e consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano.** REDES, Santa Cruz do Sul, v. 13, n.3, p. 5 - 13, set/dez., 2008.

SALES, A. **Retração, fluência e fratura em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu.** Tese de Doutorado. PUC. Rio de Janeiro, 2006.

SANTOS, A. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia.** Dissertação de Mestrado. Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, 2006.

SANTOS, J.; CAMPOS NETO, T. **Influência da Adição de Diferentes Teores de Fibra de Coco no Comportamento de Argamassas de Revestimento.** 2019.

Disponível em: <

[http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/Influ%C3%Aancia%20da%20Adi%C3%A7%C3%A3o%20de%20Diferentes%20Teores%20de%20Fibra%20de%20Coco%20no%20Comportamento%20de%20Argamassas%20de%20Revestimento\(1\).pdf](http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/Influ%C3%Aancia%20da%20Adi%C3%A7%C3%A3o%20de%20Diferentes%20Teores%20de%20Fibra%20de%20Coco%20no%20Comportamento%20de%20Argamassas%20de%20Revestimento(1).pdf)>.

Acesso em: 19 fev. 2019.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Fibras vegetais para construção civil:** fibra de coco. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, BT 04/86, 16, 1986.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V. Microestrutura x desempenho dos compositos reforçados com fibras vegetais. **Anais.** São Paulo: [s.n.], 1997.

SAVASTANO JÚNIOR., H.; SANTOS, S.; RADONJIC, M.; SOBOYEJO, W. Fracture and fatigue of natural fiber-reinforced cementitious composites. **Cement & Concret Composites** 31, 2009.

SCHEFFER, J. C.; ANDRADE, R. G. M. de; REIS, A. S. dos. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO VERDE. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão** (issn: 2525-4782), Paranaguá, v. 3, n. 2, p.80-98, 23 maio 2018. <http://dx.doi.org/10.21575/25254782rmetg2018vol3n2550>.

SENHORAS, E. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco:** transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes.

Monografia. Instituto de Economia – Universidade Federal de Campinas. Campinas, 2003.

SHIMIZU, G., JORILLO JR., P., 1992. Fresh and mechanical properties of short discrete coir fiber in cement based matrix. In: **International Conference on Concrete Technology**. Malaysia, p. 3–13.

SILVA, A. C. da. Reaproveitamento da casca de coco verde. **Revista Monografias Ambientais**, [s.l.], v. 13, n. 5, p.4077-4086, 18 dez. 2014. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2236130815186>. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/viewFile/15186/pdf>>. Acesso em: 01 out. 2018.

SILVA, E. J.; MARQUES, M. L.; FORNARI Júnior, C. Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.8, p.1555-1561, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/6096/pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

SILVA, E.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR, C.; VELASCO, F. Technical analysis for the reuse of coconut fiber in construction industry. **Ambiência**, Guarapuava, v. 11, n. 3, p.669-683, 2015. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/ambiencia.2015.03.11>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Everton_Silva12/publication/285546869_Technical_analysis_for_the_reuse_of_coconut_fiber_in_construction_industry/links/5665bc9708ae192bbf925fec.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2019.

SILVA, E. J. da *et al.* Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 12, p.1268-1273, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1268-1273>. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n12/a10v18n12.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

SILVA, E. J. da *et al.* . Compósito cimentício com elevado teor de fibra de coco tratada: propriedades físicas e durabilidade. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro , v. 23, n. 3, e12165, 2018 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762018000300418&lng=en&nrm=iso>. access on 20 Feb. 2019. Epub Oct 18, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0499>.

SILVA, N. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Universidade Federal do Paraná, 2006.

SILVEIRA, M. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador - BA**. Dissertação de mestrado-UFBA, Salvador-BA, p. 164, 2008.

SOTO IZQUIERDO, I. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2011. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. doi:10.11606/D.18.2011.tde-05042011-164738. Acesso em: 2020-04-12.

TOLEDO FILHO, R. D. **Materiais compósitos reforçados com fibras naturais:** caracterização experimental. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

TOLEDO FILHO, R. D.; SANJUAN, M. A. Effect of low modulus sisal and polypropylene fibre on the free and restrained shrinkage of mortars at early age. **Cement and Concrete Research**, v. 29, p. 1597-1604, 1999. The sisal rug store. All about sisal. [s.d.]. Disponível em <<http://www.sisalrugs.co.uk/page/sisal.cfm>>. Acesso em: 17 de agosto 2018.

TOMCZAK, F. **Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil**. 2010. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2010.

VAN DAM, J. **Coir Processing Technologies**. Technical paper - FAO, n. 6, p. 51, 2002. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-y3612t.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

WANG, W.; CHOUW, N. The behaviour of coconut fibre reinforced concrete (CFRC) under impact loading. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 134, p.452-461, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.092>.

APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Tabela A 1– Análise granulométrica da areia – NBR 248/2003

Abertura da malha	Massa Retida 1	% Retida 1	Massa Retida 2	% Retida 2	% Retida Média	% Retida Acumulada
4,75 mm	0,0	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%
2,36 mm	0,0	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%
1,18 mm	146,0	14,6%	171	17,9%	16,2%	16,2%
600 µm	340,0	33,9%	334	35,0%	34,4%	50,7%
300 µm	333,0	33,2%	306	32,0%	32,6%	83,3%
150 µm	148,0	14,8%	119	12,5%	13,6%	96,9%
Fundo	36,0	3,6%	25	2,6%	3,1%	100,0%
Total	1003,0		955			

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela A 2– Caracterização física da areia natural

Propriedade	Resultado médio
Módulo de finura	2,47
Dimensão máxima característica	2,36 ver peneira
Massa específica	2,61 g/cm ³
Teor de material Pulverulento	18%
Massa Unitária	2114 kg/m ³
Teor de vazios	19%

Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE B – RESULTADOS DO ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Tabela B 1– Resultados do ensaio de densidade de massa aparente

Arg.	CP	Medidas (cm)			Vol. (cm ³)	Massa (g)	Densidade de Massa (Kg/m ³)	Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)
		H	L	C						
TRA	1	4,00	3,99	16,10	256,23	487,91	1904			
	2	3,99	4,00	16,11	256,71	497,27	1937	1909	26	1,4
	3	3,99	4,00	16,11	256,71	484,00	1885			
TRB	1	4,05	4,00	16,19	261,63	494,06	1888			
	2	4,00	4,01	16,06	256,88	464,28	1807	1864	49	2,6
	3	4,07	3,93	16,29	260,16	493,34	1896			
TAF10	1	4,10	3,93	16,11	259,25	500,74	1931			
	2	3,91	4,06	16,13	255,34	490,03	1919	1917	16	0,8
	3	3,99	4,04	16,13	259,61	493,21	1900			
TBF10	1	4,01	3,91	16,18	253,05	479,34	1894			
	2	4,03	4,05	16,21	264,16	502,25	1901	1900	5	0,3
	3	3,94	4,03	16,21	256,99	489,43	1904			
TAF15	1	4,12	4,03	16,23	269,48	483,53	1794			
	2	4,02	4,10	16,15	266,18	488,31	1834	1829	33	1,8
	3	4,02	4,06	16,22	264,73	492,24	1859			
TBF15	1	4,14	4,13	16,18	276,65	495,99	1793			
	2	4,15	4,06	16,13	271,77	491,07	1807	1808	15	0,8
	3	4,13	4,15	16,10	275,95	503,10	1823			
TAF20	1	4,06	3,96	16,25	261,26	476,17	1823			
	2	4,07	4,06	16,29	269,18	485,94	1805	1821	15	0,8
	3	3,99	4,05	16,22	262,11	480,82	1834			
TBF20	1	4,06	3,99	16,12	261,13	477,09	1827			
	2	4,18	3,94	16,01	263,67	483,85	1835	1826	10	0,5
	3	4,18	3,96	15,95	264,02	479,30	1815			

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: CP – Corpo-de-prova; CV – Coeficiente de Variação.

APÊNDICE C – RESULTADOS DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRA-SÔNICA E DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

Tabela C 1 – Resultados dos ensaios de Módulo de Elasticidade

Arg.	CP	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Densidade de Massa (Kg/m ³)	Módulo (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)
TRA	1	6,02954E-05	2571	1904	11325	11041	612	5,5
	2	6,04961E-05	2564	1937	11459			
	3	6,27943E-05	2468	1885	10339			
TRB	1	6,0006E-05	2596	1888	11457	11047	416	3,8
	2	6,02954E-05	2556	1807	10625			
	3	6,15953E-05	2546	1896	11060			
TAF10	1	6,51731E-05	2380	1931	9845	10205	420	4,1
	2	6,25733E-05	2485	1919	10667			
	3	6,39744E-05	2431	1900	10102			
TBF10	1	6,14912E-05	2534	1894	10944	11243	295	2,6
	2	6,08828E-05	2564	1901	11249			
	3	6,0173E-05	2594	1904	11535			
TAF15	1	6,0173E-05	2697	1794	11748	11765	353	3,0
	2	5,95903E-05	2710	1834	12127			
	3	6,20877E-05	2612	1859	11421			
TBF15	1	6,36689E-05	2541	1793	10421	10373	129	1,2
	2	6,35677E-05	2537	1807	10471			
	3	6,44901E-05	2497	1823	10227			
TAF20	1	5,87803E-05	2765	1823	12536	12409	373	3,0
	2	5,997E-05	2716	1805	11988			
	3	5,84795E-05	2774	1834	12701			
TBF20	1	5,94796E-05	2710	1827	12077	11752	348	3,0
	2	6,09756E-05	2626	1835	11386			
	3	5,93692E-05	2687	1815	11793			

Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE D – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Tabela D 1 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão

Argamassa	Resistência (MPa)			Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)
	1	2	3			
TRA	1,90	2,00	2,00	1,97	0,06	2,94
TRB	1,90	2,00	2,20	2,03	0,15	7,51
TAF10	2,10	1,90	2,00	2,00	0,10	5,00
TBF10	2,40	2,10	2,00	2,17	0,21	9,61
TAF15	2,30	2,20	2,40	2,30	0,10	4,35
TBF15	1,90	2,00	2,10	2,00	0,10	5,00
TAF20	2,70	2,50	3,10	2,77	0,31	11,04
TBF20	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE E – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela E 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão

Argamassa	Resistência (MPa)						Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)
	1	2	3	4	5	6			
TRA	5,9*	7,16	6,43	7,14	6,77	6,41	6,78	0,37	5,38
TRB	5,55	5,41	5,3	5,09	5,83	5,72	5,48	0,27	4,99
TAF10	4,76	4,57	4,78	4,74	5,14	5,26	4,88	0,27	5,44
TBF10	5,17	5,19	5,34	5,45	5,82	4,73*	5,39	0,26	4,90
TAF15	6,79	5,9*	6,79	7,04	6,6	6,69	6,78	0,16	2,43
TBF15	5,3	5,24	5,17	5,09	5,52	5,47	5,30	0,17	3,18
TAF20	7,65	7,37	5,84*	6,8*	7,72	8,19	7,73	0,34	4,40
TBF20	5,97	6,04	5,22	5,32	5,95	5,48	5,66	0,37	6,45

Fonte: Elaborada pela autora.

*Dado desconsiderado para o estudo por apresenta desvio absoluto máximo superior a 0,5 MPa.