



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÂNIA (UFG)**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT) em implantação**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA (FENG)**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE PAPEL KRAFT NAS  
PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE ARGAMASSAS**

**SÉRGIO HENRIQUE FERNANDES MUNDIM**

**Catalão**

**2022**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE ENGENHARIA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

### 2. Nome completo do autor

SÉRGIO HENRIQUE FERNANDES MUNDIM

### 3. Título do trabalho

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE PAPEL KRAFT NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE ARGAMASSAS

### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Antover Panazzolo Sarmento, Professor do Magistério Superior**, em 03/10/2022, às 18:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sérgio Henrique Fernandes Mundim, Técnico**, em 04/10/2022, às 10:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3236985** e o código CRC **A3A8A193**.

SÉRGIO HENRIQUE FERNANDES MUNDIM

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE PAPEL KRAFT NAS  
PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE ARGAMASSAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade das Engenharias, da Universidade Federal de Goiás/ Universidade Federal de Catalão (UFCAT) em implantação, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Estruturas e Construção Civil. Linha de pesquisa: Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade na Construção Civil.

**Orientador:** Professor Doutor Antover Panazzolo Sarmiento.

**Catalão**

**2022**

**Ficha de identificação da obra pelo bibliotecário documentalista  
Joana Rocha de Souza / CRB-1 1465**

M965i Mundim, Sérgio Henrique Fernandes.  
Influência da adição de fibras de papel kraft nas propriedades físico-mecânicas de argamassas [manuscrito] / Sérgio Henrique Fernandes Mundim. - 2022.  
LXXXI, 81 f.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Antover Panazzolo Sermento.  
Dissertação [Mestrado] – Universidade Federal de Catalão (UFCAT), em implantação, para obtenção do título de Mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) – Catalão, 2022.

Bibliografia.  
Apêndice. Inclui gráficos, tabelas, figuras.

1. Fibras – papel kraft.. 2. Traços de argamassa. 3. Resistência mecânica. 4. Arrancamento. I. Sarmento, Antover Panazzolo. Orient. II. Título.

CDU 620.178.16



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE ENGENHARIA

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº 6 da sessão de Defesa de Dissertação de **SÉRGIO HENRIQUE FERNANDES MUNDIM**, que confere o título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Estruturas e Construção Civil.

"Banca Examinadora de Qualificação/Defesa Pública de Dissertação/Tese realizada em conformidade com a Portaria da CAPES n. 36, de 19 de março de 2020, de acordo com seu segundo artigo: Art. 2º A suspensão de que trata esta Portaria não afasta a possibilidade de defesas de tese utilizando tecnologias de comunicação à distância, quando admissíveis pelo programa de pós-graduação stricto sensu, nos termos da regulamentação do Ministério da Educação."

Aos trinta e um dias do mês de agosto de dois mil e vinte e dois e dois partir das 14 horas, na sala virtual (<https://meet.google.com/veb-ipty-okc>), realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese/Dissertação intitulada "**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE PAPEL KRAFT EM DIFERENTES TRAÇOS DE ARGAMASSAS**" nas dependências da Universidade Federal de Catalão, onde os programas de pós-graduação stricto sensu em funcionamento encontram-se provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás, em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, já sendo realizada a transferência da Biblioteca Digital de Dissertações e Teses (BDTD). Assim, justifica-se os nomes das instituições neste documento, uma no cabeçalho (UFG), outra no corpo do texto (UFCAT). Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, **Professor Doutor ANTOVER PANAZZOLO SARMENTO (PPGEC/UFCAT)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Professor Doutor ANTÔNIO NILSON ZAMUNER FILHO (PPGEP/ UFCAT)**, membro titular externo; **Professor Doutor HEBER MARTINS DE PAULA (PPGEC/UFCAT)**, membro titular interno. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **Aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Antover Panazzolo Sarmento, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos trinta e um dias do mês de agosto de dois mil e vinte e dois.

## TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE PAPEL KRAFT NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE ARGAMASSAS**

Documento assinado eletronicamente por **Antover Panazzolo Sarmento, Professor do Magistério Superior**, em 31/08/2022, às 15:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Heber Martins De Paula, Professor do Magistério Superior**, em 31/08/2022, às 15:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Nilson Zamunér Filho, Professor do Magistério Superior**, em 31/08/2022, às 15:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3117981** e o código CRC **69AABE44**.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda  
pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”  
(Arthur Schopenhauer)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus em sua santíssima Trindade, pela força, saúde e integridade para concluir essa caminhada.

Agradeço à minha noiva Taynara, por caminhar comigo e me apoiar ao longo do caminho.

Aos meus pais e à minha irmã que sempre acreditaram em mim e nunca deixaram de me apoiar um só instante.

Ao meu orientador prof. Dr. Antover Panazzolo Sarmiento que foi mais do que um orientador, auxiliando em todas as etapas desse processo.

Aos colegas de trabalho que se desdoblaram para apoiar meu esforço em terminar essa caminhada.

À Faculdade de Engenharia, da qual faço parte, por todo apoio e infraestrutura disponibilizada para a realização dessa pesquisa.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.1.1	<i>Objetivos específicos.....</i>	2
<b>2</b>	<b>REVISÃO .....</b>	<b>3</b>
2.1	CONSTRUÇÃO CIVIL E GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL .....	3
2.2	ARGAMASSA.....	4
2.2.1	<i>Aplicabilidade e propriedades .....</i>	5
2.2.2	<i>Argamassa no estado fresco.....</i>	6
2.2.3	<i>Argamassa no estado endurecido.....</i>	7
2.3	FIBRAS EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS .....	8
2.4	PAPEL KRAFT .....	9
2.4.1	<i>Embalagens de cimento em papel Kraft.....</i>	9
2.4.2	<i>Características e propriedades .....</i>	10
2.5	PESQUISAS DESENVOLVIDAS .....	12
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>13</b>
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	14
3.1.1	<i>Agregado miúdo .....</i>	14
3.1.2	<i>Cimento .....</i>	14
3.1.3	<i>Cal hidratada .....</i>	14
3.1.4	<i>Fibras de papel Kraft reciclado .....</i>	15
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL .....	16
3.2.1	<i>Caracterização do agregado miúdo.....</i>	17
3.2.1.1	<i>Determinação da massa unitária da areia .....</i>	18
3.2.2	<i>Caracterização da fibra .....</i>	21
3.2.2.1	<i>Determinação da gramatura.....</i>	21
3.2.2.2	<i>Determinação da massa unitária da fibra.....</i>	22
3.3	PREPARAÇÃO DO MATERIAL .....	22
3.3.1	<i>Secagem do agregado miúdo.....</i>	22
3.3.2	<i>Umidificação da fibra .....</i>	23
3.4	DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS .....	25
3.5	EXECUÇÃO DOS TRAÇOS.....	26
3.6	ENSAIOS EM ARGAMASSA .....	30
3.6.1	<i>Ensaio no estado fresco .....</i>	30

3.6.1.1	Ensaio de consistência ( <i>Flow table</i> ) .....	30
3.6.1.2	Determinação da densidade de massa .....	31
3.6.2	<i>Ensaio no estado endurecido</i> .....	33
3.6.2.1	Resistência à tração na flexão e à compressão .....	33
3.6.2.2	Densidade de massa aparente no estado endurecido .....	37
3.6.2.4	Absorção corpo capilaridade .....	37
3.6.2.5	Ensaio de resistência de aderência à tração .....	38
3.7	FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	42
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
4.1	RESULTADOS NO ESTADO FRESCO .....	44
4.2	RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO .....	46
4.2.2	<i>Resultado do ensaio de tração na flexão para o efeito de adição de fibra</i> .....	46
4.2.2	<i>Resultado do ensaio de tração na flexão para variação do agregado miúdo</i> .....	49
4.2.3	<i>Resultado do ensaio de compressão para o efeito de adição de fibra</i> .....	50
4.2.4	<i>Resultado do ensaio de compressão para variação do agregado miúdo</i> .....	54
4.2.4.1	<i>Fissuração no ensaio de compressão</i> .....	55
4.2.5	<i>Resultado do ensaio de absorção por capilaridade</i> .....	58
4.2.6	<i>Resultado do ensaio de densidade no estado endurecido</i> .....	62
4.2.7	<i>Resultado do ensaio de aderência</i> .....	63
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>67</b>
	<b>APÊNDICE A – CRONOGRAMA DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA</b> .....	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE B – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO</b> .....	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE C – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO</b> .....	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE D – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE</b> .....	<b>79</b>
	<b>APÊNDICE E – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DENSIDADE NO ESTADO ENDURECIDO</b> .....	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE F – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ARRANCAMENTO</b> .....	<b>81</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Complexo lignocelulósico.....	11
Figura 2-2 - Variação dos valores de resistência à tração e módulo de elasticidade.....	12
Figura 3-1 - Fluxograma de etapas da pesquisa .....	13
Figura 3-2 - Lavagem dos sacos de cimento .....	16
Figura 3-3 - Disposição dos grãos de areia após o peneiramento .....	18
Figura 3-4 - Verificação da temperatura da água no cálculo do volume.....	20
Figura 3-5 - Estufa de secagem .....	23
Figura 3-6 - Umidificação da fibra e retirada do excesso de água.....	24
Figura 3-7 - Volume de referência utilizado na dosagem dos traços .....	25
Figura 3-8 - Dosagem de cimento .....	27
Figura 3-9 - Argamassadeira utilizada na fabricação dos traços.....	28
Figura 3-10 - Fibra úmida porcionada (a) e execução dos traços na argamassadeira (b).....	29
Figura 3-11 - Fôrmas utilizadas na moldagem dos corpos de prova.....	30
Figura 3-12 - Medição do espalhamento da argamassa .....	31
Figura 3-13 - Argamassa adensada para ensaio de densidade no estado fresco.....	32
Figura 3-14 - Prensa universal do laboratório de estruturas.....	34
Figura 3-15 - Apoios utilizados nos ensaios de compressão (a) e tração na flexão (b).....	35
Figura 3-16 - Ensaio de absorção por capilaridade .....	38
Figura 3-17 - Blocos com camada de argamassa .....	39
Figura 3-18 - Perfuração da argamassa no bloco .....	40
Figura 3-19 - Ensaio de arrancamento .....	41
Figura 3-20 - Formas de ruptura corpo de prova.....	42
Figura 4-1 - Consistência da argamassa de cada traço com o efeito da adição de fibra.....	45
Figura 4-2 - Resistência à tração na flexão para o traço 1 com o efeito da adição de fibra .....	47
Figura 4-3 - Resistência à tração na flexão para o traço 2 com o efeito da adição de fibra .....	48
Figura 4-4 - Resistência à tração na flexão para o traço 3 com o efeito da adição de fibra .....	49

Figura 4-5 - Resistência à tração em função da quantidade de areia com o efeito da adição de fibra.....	50
Figura 4-6 - Resistência à compressão para o traço 1 com o efeito da adição de fibra.....	51
Figura 4-7 - Resistência à compressão para o traço 2 com o efeito da adição de fibra.....	52
Figura 4-8 - Resistência à compressão para o traço 3 com o efeito da adição de fibra.....	53
Figura 4-9 - Resistência à compressão em função da quantidade de areia com o efeito da adição de fibra. ....	55
Figura 4-10 - Ruptura de blocos submetidos à compressão para o traço r1 (a) e t1_1 (b).....	56
Figura 4-11 - Matriz do traço r1 aumentada em 50 vezes.....	57
Figura 4-12 - Matriz do traço t1_1 aumentada em 50 vezes.....	57
Figura 4-13 - Matriz do traço t1_1 aumentado em 500 vezes.....	58
Figura 4-14 - Absorção de água de cada traço para o efeito da adição de fibra aos 10 minutos de ensaio.....	59
Figura 4-15 - Absorção de água de cada traço para o efeito da adição de fibra aos 90 minutos de ensaio.....	60
Figura 4-16 - Matriz do traço sem inserção de fibra (a) e para o traço com 0,5% de fibra (b ....	61
Figura 4-17 - Densidade de cada traço no estado endurecido para o efeito da adição de fibra...	62
Figura 4-18 - Resistência ao arrancamento de cada traço com o efeito da adição de fibra.....	64
Figura 4-19 - Matriz do traço t1_1 aumentada em 150 vezes.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 - Traços, em volume, analisados no delineamento do estudo .....	26
Tabela 4-1 - Resultados para diversos parâmetros no estado fresco da argamassa.....	44
Tabela 4-2 - Resistência à tração na flexão para o traço 1 com o efeito da adição de fibra.....	46
Tabela 4-3 - Resistência à tração na flexão para o traço 2 com o efeito da adição de fibra.....	47
Tabela 4-4 - Resistência à tração na flexão para o traço 3 com o efeito da adição de fibra.....	48
Tabela 4-5 - Resistência à tração em função da quantidade de areia com o efeito da adição de fibra.....	49
Tabela 4-6 - Resistência à compressão para o traço 1 com o efeito da adição de fibra .....	51
Tabela 4-7 - Resistência à compressão para o traço 2 com o efeito da adição de fibra .....	52
Tabela 4-9 - Resistência à compressão em função da quantidade de areia com o efeito da adição de fibra .....	54
Tabela 4-10 - Absorção de água de cada traço para o efeito da adição de fibra aos 10 minutos de ensaio .....	59
Tabela 4-11 - Absorção de água de cada traço para o efeito da adição de fibra aos 90 minutos de ensaio .....	60
Tabela 4-12 - Densidade de cada traço no estado endurecido para o efeito da adição de fibra ..	62
Tabela 4-13 - Resistência ao arrancamento de cada traço com o efeito da adição de fibra .....	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1 - Aplicabilidades dos diferentes tipos de argamassas .....	5
Quadro 2-2 - Parâmetros de aceitação do papel kraft na indústria.....	10
Quadro 3-1 - Exigências químicas para os diferentes tipos de cal hidratada .....	15
Quadro 3-2 - Exigências físicas para os diferentes tipos de cal hidratada .....	15
Quadro 3-3 - Características do recipiente para a determinação da massa unitária em função da dimensão máximo do agregado.....	18
Quadro 3-4 - Massa específica da água em função da temperatura .....	19
Quadro 3-5 - Classificação de argamassas de acordo com a densidade no estado fresco .....	33
Quadro 3-6 - Classificação e uso das argamassas em função da densidade.....	33
Quadro 3-7 - Classificação das argamassas de acordo com a resistência à compressão .....	36
Quadro 3-8 - Classificação das argamassas de acordo com a resistência à tração .....	37

## LISTA DE SÍMBOLOS

$f$	Massa unitária do agregado (kg/m <sup>3</sup> )
$m_{r+a}$	Massa do recipiente totalmente preenchido pelo agregado (kg)
$m_r$	Massa do recipiente vazio (kg)
$V$	Volume do recipiente (m <sup>3</sup> )
$g$	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )
$m$	Massa do corpo de prova (g)
$A$	Área do corpo de prova (cm <sup>2</sup> )
$d$	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
$m_c$	Massa do recipiente cilíndrico contendo argamassa do ensaio (g)
$m_v$	Massa do recipiente cilíndrico vazio (g)
$V_r$	Volume do recipiente cilíndrico (cm <sup>3</sup> )
$\rho_{máx}$	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )
$m_{cp}$	Massa do corpo de provas (g)
$V$	Volume do corpo de prova (cm <sup>3</sup> )
$R_s$	Resistência de aderência (MPa)
$P$	Carga de ruptura (N)
$A$	Área da pastilha metálica (mm <sup>2</sup> )
$R_t$	Resistência à tração na flexão (MPa)
$F_t$	Carga aplicada (N)
$L$	Distância entre os apoios inferiores (mm)
$R_c$	Resistência à compressão (MPa)

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira do cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEPED	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
CH III	Cal hidratada III
CP II	Cimento Portland tipo 2
CRTI	Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
NR	Norma Regulamentadora
RCC	Resíduo de Construção Civil
R1	Traço de referência 1 (1:2:6)
R2	Traço de referência 2 (1:2:7)
R3	Traço de referência 3 (1:2:8)
T1_1	Traço 1 com adição de 0,5% de fibra de papel Kraft
T1_2	Traço 1 com adição de 1,0% de fibra de papel Kraft
T1_3	Traço 1 com adição de 1,5% de fibra de papel Kraft
T2_1	Traço 2 com adição de 0,5% de fibra de papel Kraft
T2_2	Traço 2 com adição de 1,0% de fibra de papel Kraft
T2_3	Traço 2 com adição de 1,5% de fibra de papel Kraft
T3_1	Traço 3 com adição de 0,5% de fibra de papel Kraft
T3_2	Traço 3 com adição de 1,0% de fibra de papel Kraft
T3_3	Traço 3 com adição de 1,5% de fibra de papel Kraft

## RESUMO

MUNDIM, S. H. F. **Influência Da Adição De Fibras De Papel Kraft Nas Propriedades Físico-mecânicas de argamassas.** Catalão. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Catalão, 2022, 81 p.

A destinação dos resíduos sólidos vem se tornando um desafio ambiental mundo afora. A indústria da construção civil está entre as que mais geram resíduos e, portanto, precisou voltar suas atenções à elaboração de novas formas de reciclar ou reutilizar os resíduos gerados. Mais de 60% do cimento comercializado no Brasil é disponibilizada em sacos fabricados de papel Kraft, que após o uso, são descartados como resíduos de construção e demolição em aterros sanitários. Com o intuito de dar um novo emprego a essas embalagens, esse estudo propôs a inserção das fibras de papel Kraft provenientes das embalagens de cimento em adições controladas em traços de argamassa, visando identificar qual traço obteve os melhores resultados em relação à consistência, densidade, resistência mecânica à tração e à compressão, absorção de água por capilaridade e arrancamento. Para tanto, as embalagens foram processadas com adição de água para virarem uma poupa, que após a secagem foi pesada, umidificada e inserida nos traços de argamassa. A pesquisa em questão estudou três diferentes traços, sendo eles 1:2:6, 1:2:7 e 1:2:8 de cimento, cal e areia em volume respectivamente. A partir daí foram avaliados os aspectos mecânicos e físicos desses traços. Os dados coletados foram analisados através de gráficos de regressão linear, afim de compará-los com os dados obtidos nos traços de referência (sem nenhuma adição de fibra). O traço 1, com 0,5% de adição de fibra, obteve melhora de 33,78% na resistência ao arrancamento e densidade no estado endurecido 4,9% menor se comparado ao seu respectivo traço referência. Dentre os traços estudados, o traço 1 com 0,5% de adição foi o que sofreu menor perda de resistência mecânica em relação ao traço referência. .

**Palavras-chave:** Fibras de papel Kraft, traços de argamassa; resistência mecânica, arrancamento.

## ABSTRACT

MUNDIM, S. H. F. **Influence of the addition of kraft paper fibers on the physical-mechanical properties of mortars.** Catalão. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Catalão, 2022, 81 p.

The disposal of solid waste has become an environmental challenge around the world. The construction industry is among those that generate the most waste and, therefore, had to turn its attention to the development of new ways to recycle or reuse the generated waste. More than 60% of the cement sold in Brazil is made available in bags made of Kraft paper, which, after use, are discarded as construction and demolition waste in sanitary landfills. In order to give a new use to these packages, this study proposed the insertion of Kraft paper fibers from cement packages in controlled additions in mortar mixes, aiming to identify which mix obtained the best results in relation to consistency, density, mechanical resistance to traction and compression, water absorption by capillarity and pullout. For this, the packages were processed with the addition of water to turn into a pulp, which after drying was weighed, humidified and inserted into the mortar traces. The research in question studied three different traits, being 1:2:6, 1:2:7 and 1:2:8 of cement, lime and sand by volume respectively. From there, the mechanical and physical aspects of these traits were evaluated. The collected data were analyzed using linear regression graphs, in order to compare them with the data obtained in the reference traces (without any fiber addition). Mixture 1, with 0.5% fiber addition, obtained an improvement of 33.78% in pullout strength and density in the hardened state 4.9% lower compared to its respective reference mix. Among the traits studied, mix 1 with 0.5% addition was the one that suffered the least loss of mechanical strength in relation to the reference mix.

**Keywords:** Kraft paper fibers, mortar traces; mechanical strength, pullout

## 1 INTRODUÇÃO

Qualquer processo industrial, tem como um de seus resultados a produção de algum tipo de resíduo, seja ele sólido, líquido ou gás. Tais resíduos por sua vez podem gerar impactos ambientais, sociais ou econômicos, principalmente se não receberem tratamento e disposição adequados. Os problemas causados pela disposição dos resíduos vão muito além do aspecto ambiental, refletindo também sobre a saúde pública, a estética de grandes centros, a disponibilidade de espaço, o custo que envolve a coleta e o tratamento, além da degradação e do desequilíbrio ambiental, pois muitas vezes a velocidade de geração dos resíduos é muito superior à capacidade do ecossistema de degradá-los, além do que alguns tipos de resíduos produzidos pelo homem, são materiais não-biodegradáveis (MARQUES NETO, 2003).

A Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), Política Nacional de Resíduos Sólidos, foi criada em 2010 a fim de regularizar, e assim minimizar, os impactos causados pela disposição de resíduos de forma desordenada. A referida lei definiu os resíduos através de sua origem, sendo que a alínea h, do inciso I, presente no art. 13, define os resíduos da construção civil como sendo os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.

Segundo Marques Neto (2003), os Resíduos da Construção Civil (RCCs) configuram parcela substancial da totalidade de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil, variando entre 51 a 70% desse total. Contudo, esses resíduos são classificados como de baixa periculosidade, fazendo assim com que seu principal impacto seja o enorme volume de resíduos gerados diariamente (KARPINSKI *et al.* 2009).

Segundo dados do Sistema Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), no ano de 2021, no Brasil, foram vendidas 64,7 milhões de toneladas de cimento, sendo que pelo menos dois terços desse total foi comercializado em embalagens de 50 kg. Segundo Buson (2009), uma embalagem de cimento convencional, feita em papel Kraft, possui cerca de 150 g. Assim, só no ano de 2021, foram descartadas quase 130 toneladas de papel Kraft advindas de embalagens de cimento.

Em obras de pequeno e médio porte, é muito comum notar que as embalagens de cimento são descartadas de forma inadequada. O cimento Portland contido em pequenas quantidades nas embalagens utilizadas, quando em contato com a água, promove a formação de hidróxido de cálcio, que por sua vez eleva o pH da água e a torna muito alcalina, podendo oferecer riscos a pessoas que tenha contato com a mesma (ABCP, 2017).

É imprescindível que profissionais e empresas façam todo o possível para garantir uma diminuição no total de resíduos gerados. No tocante ao papel Kraft proveniente das embalagens de cimento, uma boa alternativa está em estabelecer novas maneiras de utilizá-lo em um novo ciclo.

Este trabalho se justifica na necessidade de se encontrar uma nova destinação ao papel Kraft utilizado em embalagens, uma vez que a incorporação de parte desse resíduo em traços de argamassa pode significar um avanço na sistematização de um novo ciclo para o papel Kraft antes destinado a aterros sanitários.

## **1.1 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste estudo é desenvolver traços de argamassa com inserção de fibras provenientes do papel Kraft (embalagens de cimento). No trabalho foi realizado uma análise, por meio de experimentos laboratoriais, do comportamento da argamassa e dos materiais que a compõe, compreendendo dessa forma, a influência da inserção de diferentes quantidades de fibra no comportamento da argamassa.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

Para se alcançar o objetivo geral deste trabalho, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Preparação e caracterização das fibras obtidas a partir das embalagens de cimento feitas de papel Kraft;
- Determinação dos parâmetros físicos e mecânicos dos traços de argamassa com adição de fibra (estado plástico e estado endurecido);
- Analisar os efeitos da adição de fibra na argamassa com base nos aspectos físicos e mecânicos de cada traço, principalmente no tocante à resistência ao arrancamento.

## 2 REVISÃO

A maioria dos municípios brasileiros não têm infraestrutura necessária para fazer a gestão adequada dos resíduos sólidos provenientes da construção civil, visto que o grande volume de resíduos gerados nas obras requer cuidados específicos para sua disposição, reuso ou reciclagem.

Dessa forma, propor uma utilização diferente para as fibras provenientes da reciclagem das embalagens de papel Kraft é uma forma de contribuir para que tal resíduo não seja destinado aos aterros sanitários, diminuindo a quantidade de resíduos gerados e promovendo o reuso de um resíduo que até então seria descartado.

A grande quantidade de embalagens de cimento produzida diariamente, resultado principalmente do sistema construtivo difundido no Brasil, gera uma quantidade significativa de resíduos de papel Kraft, que, por sua vez, pode ser diminuído através de métodos semelhantes ao que será apresentado neste trabalho, com o emprego das fibras em traços de argamassa.

### 2.1 CONSTRUÇÃO CIVIL E GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL

Assim como mencionado, sobre o volume de resíduos sólidos gerados no Brasil, mais da metade é proveniente da construção civil. Nesse contexto, o aumento do volume destes resíduos é indicador do crescimento do setor, que para Oliveira *et al.* (2020) é de suma importância para o crescimento econômico brasileiro, sendo necessário conciliar o crescimento do setor com a gestão do RCC.

Destarte, cabe destacar a classificação do RCC, estabelecida no Brasil pelo art. 3º da resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2002), tem-se:

Art. 3º Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

[...]

Dessa classificação, Oliveira *et al.* (2020) destacam que os resíduos da construção civil se distribuem entre as classes A e B, sendo aproximadamente 10% pertencentes a classe B e 90% provenientes da classe A. Isso posto, é notável a grande participação dos resíduos classe A no

volume dos resíduos gerados, não diminuindo a importância e relevância dos resíduos tipificados na classe B.

Aliado a esse fator, Oliveira *et al.* (2020) perceberam que as argamassas compõem a maioria do material desperdiçado na construção, seja para revestimentos ou assentamentos. Logo, identifica-se a participação direta do uso e desperdício do cimento nesses resíduos, o que acarreta perda econômica e a geração de um segundo resíduo vindo do cimento: as embalagens.

De acordo com Ângulo *et al.* (2001), no Brasil as indústrias de cimento e aço desenvolvem uma intensa reciclagem de materiais, principalmente cinzas volantes e escórias de alto forno. Contudo, o interesse da indústria cimenteira em reutilizar esses materiais está no fato de a escória de alto forno proveniente da indústria siderúrgica e a cinza volante advinda das indústrias termelétricas serem matérias prima essenciais na composição de alguns tipos de cimento.

Ainda no viés da indústria cimenteira, existe a questão das embalagens do produto que é comercializado. Nessa ótica, as embalagens de sacos de cimento são acumuladas diariamente nos canteiros de obras por todo o Brasil, sendo rejeito com pouco ou nenhum aproveitamento direto no próprio canteiro.

Nesse modelo, o reprocessamento industrial do material para posterior utilização no mesmo seguimento econômico ou em outros, pode ter custos energéticos altos. Logo, o uso de mais energia no mesmo material, do ponto de vista ambiental e econômico, acaba intimidando as empresas a empregarem esse tipo de solução.

Para esses fatos, Brasileiro e Matos (2015) veem a construção civil como o setor capaz de absorver os próprios resíduos sólidos, inclusive na possibilidade de reciclagem para composição de argamassas. Por consequência, a produção de argamassa, item com alto grau de desperdício em obras, sendo incorporada por papel de embalagens de cimento, subproduto do próprio cimento que já conta com índices recordes de perda incorporadas ao cimento e argamassa, mostra-se viável para minimizar a geração e o descarte incorreto de RCC, com foco nas embalagens de cimento.

## **2.2 ARGAMASSA**

As argamassas são compósitos feitos a partir da mistura em determinada dosagem, conhecida como traço, de um ou mais aglomerantes (cimento e cal), agregado miúdo (areia) e água, podendo a depender da finalidade conter aditivos. Esse material tem características e propriedades de aderência e endurecimento que o permitem ser utilizado para união de elementos, como blocos de vedação ou estruturais, e para revestimento de paredes, tetos e pisos (ISAIA, 2017).

Da definição de argamassa, entende-se que quanto a função a argamassa pode ser classificada basicamente em dois tipos, sendo: argamassa de assentamento e argamassa de revestimento. A argamassa de revestimento é usada para se ligar elementos de alvenaria de forma a ser constituir uma unidade monolítica estanque dotada de determinada resistência, a mesma argamassa é capaz de permitir a distribuição uniforme de cargas que venham atuar na unidade constituída. Já para a argamassa de revestimento, tem função de proteção e regularização da estrutura a qual é aplicada, podendo nos casos de revestimento de pisos também desempenhar a função de ligante.

### 2.2.1 Aplicabilidade e propriedades

Para cada função das argamassas mencionada existem propriedades inerentes ao material que se espera obter com a produção do traço para que a aplicabilidade da argamassa se torne possível para aquele fim. Desse modo, a Quadro 2-1 traz além das aplicabilidades mais comuns das argamassas, as funções que se espera que o compósito desenvolva, bem como a propriedades necessárias para aquela aplicação.

**Quadro 2-1 - Aplicabilidades dos diferentes tipos de argamassas**

<b>Tipo de argamassa</b>	<b>Função</b>	<b>Propriedades necessárias</b>
Argamassa de assentamento de alvenaria	Unir alvenaria Selar juntas Distribuir cargas Absorver deformações	Trabalhabilidade Aderência Capacidade de absorção de deformações Resistência mecânica
Chapisco	Aderência Estanqueidade	Aderência Trabalhabilidade
Emboço e camada única	Proteção da alvenaria Regularização da superfície	Baixa retração Baixa permeabilidade Capacidade de absorção de deformações Resistência mecânica
Contrapiso	Regularização da superfície	Aderência Resistência mecânica
Argamassa colante	Colar peças Absorver deformações	Trabalhabilidade Aderência Capacidade de absorção de deformações
Argamassa de rejuntamento	Vedar juntas Ajustar alinhamento Absorver deformações	Trabalhabilidade Aderência Capacidade de absorção de deformações

Fonte: Adaptado de Isaia (2017)

Dentre as propriedades necessárias para cada tipo de aplicação, observa-se do Quadro 2-1 que estão em destaque: trabalhabilidade, aderência e resistência mecânica.

Quanto a trabalhabilidade, Sousa e Bauer (2003) a destacam como uma das mais importantes características do material, haja vista que as argamassas são aplicadas no estado fresco, logo, devem possuir determinada facilidade em seu manuseio e aplicação. O reflexo direto da trabalhabilidade da argamassa é a sua própria consistência, que é um parâmetro mensurável por ensaios.

No estado endurecido um atributo importante das argamassas é a aderência que em acordo com a NBR 13528 - Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT, 2019), pode ser entendida como a resistência apresentada a tensões normais ou perpendiculares na superfície de aplicação do material. Assim, boa aderência em argamassas evita diversas patologias no próprio material e em edificações que fazem seu uso.

Destaca-se também a resistência mecânica que deve ser apresentada pelas argamassas, uma vez que esse parâmetro apresenta diversas normas tanto para os ensaios de determinação de sua resistência quanto para a classificação, tendo importante influência sobre o desempenho do material e na resistência final do substrato onde é aplicada a argamassa.

### **2.2.2 Argamassa no estado fresco**

A influência das fibras em compostos cimentícios em seu estado fresco é ainda pouco estudada, entretanto é notável que após ter fibras adicionadas em sua composição o comportamento da argamassa é alterado significativamente. Tal comportamento foi estudado por poucos autores, e os dados desses estudos estão expostos a seguir.

Carasek (2010) definiu a trabalhabilidade como a propriedade que determina a facilidade com que tal argamassa pode ser misturada, transportada, aplicada, consolidada e acabada, em seu estado fresco, e em condição homogênea. A autora defende ainda que a trabalhabilidade é uma propriedade complexa, pois é o resultado da junção de outros diversos parâmetros, tais como: plasticidade, consistência, retenção de água, coesão, densidade de massa, entre outros.

A consistência é um dos fatores mais importantes quando o assunto é a trabalhabilidade das argamassas. Tal parâmetro representa a deformação que a argamassa em estado fresco sofre ao ser submetida a ação de uma carga. Os estudos realizados por Silva (2002), corroborados por Sales (2006) mostram que a introdução de fibras de celulose à mistura das argamassas faz os valores de consistência aumentar significativamente. Tal efeito é explicado pelos autores através do aumento da consistência ocasionado pela presença das fibras na mistura.

Beltrán (2011) considera que o aumento da consistência no estado fresco da argamassa é um efeito negativo, e pode ser corrigido através da inserção de plastificantes e superplastificantes no traço durante a mistura dos componentes.

Carvalho *et al.* (2011) em seus estudos sobre a introdução de fibras em argamassa de assentamento consideraram que, embora a consistência aumente com a inserção das fibras, a trabalhabilidade não diminuiu. Os autores defendem ainda um efeito contrário, em que a adição das fibras celulósicas trouxe para a argamassa maior adesão, conferindo mais facilidade de manuseio no assentamento dos blocos.

Outro fator importante e muito influenciado pela adição das fibras no estado fresco é a densidade de massa, também conhecida como massa específica úmida. Doas Anjos *et al.* (2003) demonstraram a influência que a adição de fibras provoca na densidade da mistura, no estado plástico. Segundos os autores, tal influência é causada pela densidade baixa da fibra se comparado aos outros componentes, fazendo assim com que a densidade da mistura diminua.

O comportamento de uma argamassa também é influenciado pela capacidade de reter água. Carasek (2010) explanou em seu estudo que a retenção de água de uma argamassa está ligada à capacidade de manter a trabalhabilidade quando submetida a solicitações que promovem perda da água utilizada no amassamento.

A retenção de água está diretamente ligada à presença de partículas finas na mistura, especialmente aquelas que têm afinidade com água. Os estudos sobre a retenção de água em argamassas com adição de fibras são escassos. Contudo, Centofante e Dagostini (2014) afirmaram em seu trabalho que a retenção de água em compostos cimentícios aumenta com a adição de fibras. Sendo que, quanto maior o teor de fibras adicionado, maior a retenção de água da mistura.

### **2.2.3 Argamassa no estado endurecido**

No estado endurecido, a massa específica da argamassa segue o mesmo padrão do estado plástico, quanto maior a quantidade de fibras adicionada à mistura, menor a massa específica. Carvalho (2014) atribui tal fato não só à baixa densidade das fibras em si como também ao maior consumo de água na argamassa que contém fibras, que posteriormente irá evaporar, causando assim um maior número de vazios na composição.

As resistências à tração e compressão são diretamente impactadas pela adição de fibras. Sales (2006) defendeu que a redução das resistências à tração e compressão são inferiores em compostos cimentícios com adição de fibras, porque para esse tipo de mistura o fator água/cimento é mais elevado e conseqüentemente um maior número de vazios. Portanto, o autor defende que matrizes com adição de fibras não são utilizadas com a finalidade estrutural, baseado nas características apresentadas pelas fibras que são utilizadas.

O autor defende ainda que a adição de fibras melhora outros aspectos da mistura, como o módulo de elasticidade que apresenta valores muito baixos nas fibras, transmitindo assim tais características às argamassas com adição. Assim, argamassas com adição de fibras aumentam sua capacidade de resistir a deformações, aumentar a resistência a impactos, diminuir a fissuração e conferir um melhor comportamento às argamassas no estágio pós fissuração.

Savastano (1992) justificou o crescimento da ductilidade do composto que contém fibras em função da incorporação de vazios e de descontinuidade na matriz da estrutura, tal fator por sua vez causa um aumento significativo na incorporação de energia durante o processo de fissuração.

Pereira *et al.* (2013) analisaram a durabilidade das fibras em matrizes com baixa alcalinidade. Contudo, o autor sugeriu que não há um consenso sobre a influência da alcalinidade no comportamento dos compostos com adição de fibras, pois a alcalinidade em si é prejudicial, porém o aumento da carbonatação ocasionado por ela pode ocasionar a diminuição dos poros na argamassa e conseqüentemente melhorar a durabilidade do material.

A alta absorção de água, natural às fibras, pode ocasionar um processo cíclico de variação de volume nesse material. Savastano (2000) explicou que tal efeito pode causar o desprendimento das fibras na matriz cimentícia, ocasionando, em alguns casos, o surgimento de tensões no interior da matriz.

### **2.3 FIBRAS EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS**

O uso de diferentes tipos de fibras inseridos em materiais de construção civil é uma prática comum ao longo dos séculos. Segundo Savastano (2000), fibras eram utilizadas como reforço em peças de gesso desde meados do século XV, durante o Renascimento. Contudo, a pesquisa de forma sistemática teve início na Inglaterra, no início da década de 1970, a partir da inserção de fibras vegetais em misturas cimentícias e, no Brasil, tais estudos se iniciaram dez anos mais tarde no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED), no estado da Bahia.

O início das pesquisas que buscavam comprovar a viabilidade do uso da fibra celulósica em compostos cimentícios se deu pela necessidade do desuso do cimento amianto, aliado à grande disponibilidade de matérias primas, baixo custo e baixo consumo de energia para a obtenção desse tipo de fibra. Contudo, apesar da grande quantidade de pesquisas sobre o tema, a produção das fibras em larga escala e conseqüentemente a disponibilidade desse tipo de produto no mercado impactam diretamente no baixo uso do material em argamassas industrializadas e outras misturas cimentícias.

## **2.4 PAPEL KRAFT**

A produção do papel Kraft é feita pela composição de diversas fibras de celulose, sem que se passe pelo branqueamento (processo do papel comum). As madeiras de uso mais comum são aquelas tidas como macias, sendo conferido resistência ao produto justamente devido a composição de mais de um tipo de fibra de celulose. A resistência é dependente do tipo de fibra empregado no produto (GEARTECH BRASIL, 2020).

### **2.4.1 Embalagens de cimento em papel Kraft**

As embalagens de cimento utilizadas para comercialização do material de forma ensacada, utiliza majoritariamente embalagens fabricadas com papel Kraft. Segundo a Associação Brasileira do cimento Portland (ABCP, 2012) o uso do papel Kraft como embalagem a ser utilizada para armazenar o cimento se deve a alguns fatores como a disponibilidade de matéria prima para a fabricação, o baixo custo a ser repassado ao consumidor final, a boa capacidade de resistência ao rasgo e por último, e não menos importante, a capacidade que o papel oferece de ser preenchido com o cimento ainda em altas temperaturas, permitindo assim que a logística de produção do componente não seja afetada de forma direta.

Assim, embora esse tipo de embalagem não ofereça uma proteção eficiente ao cimento quando em contato com água, as vantagens apresentadas anteriormente tornam o uso do papel Kraft extremamente difundido pela indústria cimenteira.

Carvalho (2014) destacou que a maioria das fibras utilizadas pela indústria de papel Kraft vêm do gênero Pinus, embora em alguns casos sejam adicionadas também fibras provenientes do Eucalipto. Embora, as fibras de Eucalipto sejam mais curtas em relação às fibras de Pinus, fazendo com que a indústria opte pela fibra de Pinus, uma vez que fibras curtas não são indicadas para a produção de papeis de alta resistência.

A autora trouxe ainda alguns parâmetros obtidos em uma visita a uma indústria de papel Kraft no estado do Paraná. Os dados foram compilados em uma tabela e apresentam valores mínimos e máximos para alguns aspectos que envolvem as fibras, são eles a tração longitudinal, tração transversal, porosidade, gramatura, alongação longitudinal e alongação transversal. O Quadro 2-2 traz os valores obtidos em tal levantamento.

**Quadro 2-2 - Parâmetros de aceitação do papel Kraft na indústria**

<b>Propriedade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Tração longitudinal	kN/m	5	6,7
Tração transversal	kN/m	4,6	5,8
Porosidade	s/100 mL	5	10
Gramatura	g/m <sup>2</sup>	87	93
Elongação individual	%	6,3	11,5
Elongação transversal	%	4,6	5,8

Fonte: Adaptado de Carvalho (2014)

Farias (2015) defende a viabilidade da reciclagem do papel Kraft dentro do contexto da engenharia civil, uma vez que as fibras celulósicas apresentam moléculas grandes que resultam em uma boa resistência às tensões mecânicas e a variações térmicas, além de elevados valores de resistência à tração.

Baseado na literatura, é possível notar que o uso da fibra celulósica na fabricação da sacaria de cimento poderia ser benéfico para a indústria, por ser um material resistente, com matéria prima abundante e preço acessível.

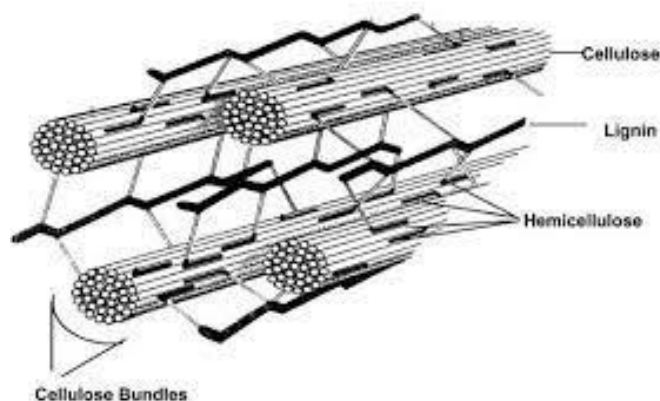
#### **2.4.2 Características e propriedades**

Para adentrar na utilização da fibra celulósica em argamassas, é preciso entender antes algumas características desse material, no tocante a aspectos químicos, físicos e mecânicos.

De acordo com Carvalho (2014), as fibras vegetais são definidas como um feixe composto por inúmeros filamentos, que recebe o nome de macrofibra. A macrofibra é constituída por microfibras, que por sua vez é formada por celulose, hemicelulose e lignina. Nesse sentido, a celulose é tida como o componente estrutural, por ser a principal parcela na constituição da microfibras. Já a hemicelulose e a lignina são tidas como componentes subestruturais.

Nas fibras é comumente encontrado ainda alguns componentes residuais e acidentais (pequena quantidade). Eles são alguns compostos orgânicos, conhecidos como extrativos, e uma parcela de inorgânicos, as cinzas.

A Figura 2-1 demonstra a estrutura da fibra celulósica e a distribuição dos componentes.

**Figura 2-1 - Complexo lignocelulósico**

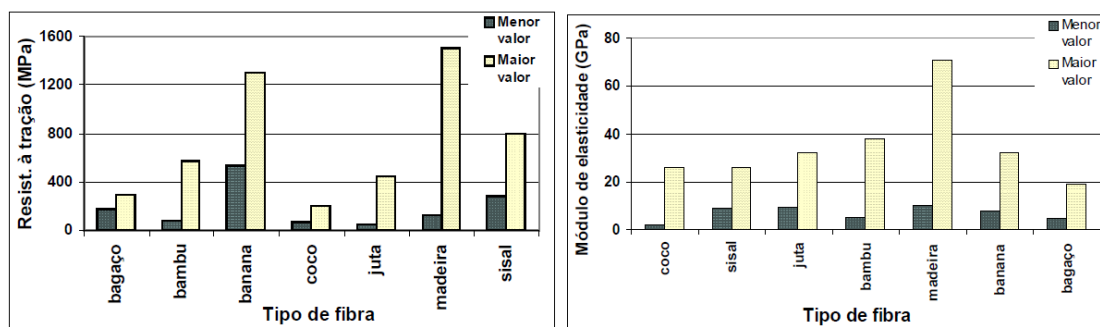
Fonte: Murphy e MCarthy (2005)

Assim, é possível entender que em sua grande maioria as fibras são compostas por celulose. Carvalho (2014) concluiu assim que a composição da fibra exerce grande influência em relação ao desempenho e durabilidade de compostos cimentícios, uma vez que esses compostos são formados por sistemas porosos com água intersticial de caráter alcalino. A autora traz ainda que as fibras com maiores teores de celulose são mais indicadas para utilização em compostos cimentícios.

Sales (2006) explanou sobre o volume considerável de vazios presente nas fibras, que por sua vez atribui a elas a característica de serem suscetíveis a pequenas variações de umidade, além de terem a capacidade de absorção de significativa quantidade de água.

Fang *et al.* (2000) trazem em seu trabalho uma análise sobre o caráter higroscópico da fibra, que segundo os autores, é fruto da complexidade da estrutura da hemicelulose. Podendo concluir assim, que a absorção de água pelas fibras é causada por uma junção de fatores físicos e químicos que envolvem a estrutura da mesma.

As fibras vegetais no geral, têm como característica altos valores de resistência à tração e baixos valores de módulo de elasticidade. Em seu trabalho, Sales (2006) trouxe um compilado de dados de variados autores mostrando a grande variabilidade desses dados, para diferentes tipos de fibras. Tais dados, estão dispostos na Figura 2-2.

**Figura 2-2 - Variação dos valores de resistência à tração e módulo de elasticidade**

Fonte: Sales (2006)

Santos (2007) afirmou que os valores de resistência à tração e módulo de elasticidade são diretamente proporcionais ao teor de celulose presente na fibra e inversamente proporcionais à orientação das microfibras. Ou seja, quanto mais celulose presente na composição da fibra e quanto menor o ângulo de orientação das microfibras, maior será o módulo de elasticidade e a resistência à tração.

## 2.5 PESQUISAS DESENVOLVIDAS

A adição de fibras de papel Kraft em argamassas é uma linha de pesquisa que vem sendo explorada nos últimos anos, mas poucos trabalhos são publicados sobre o tema. Algumas pesquisas têm encontrados resultados bons, no que tange sua utilização em argamassas de assentamento e/ou revestimento.

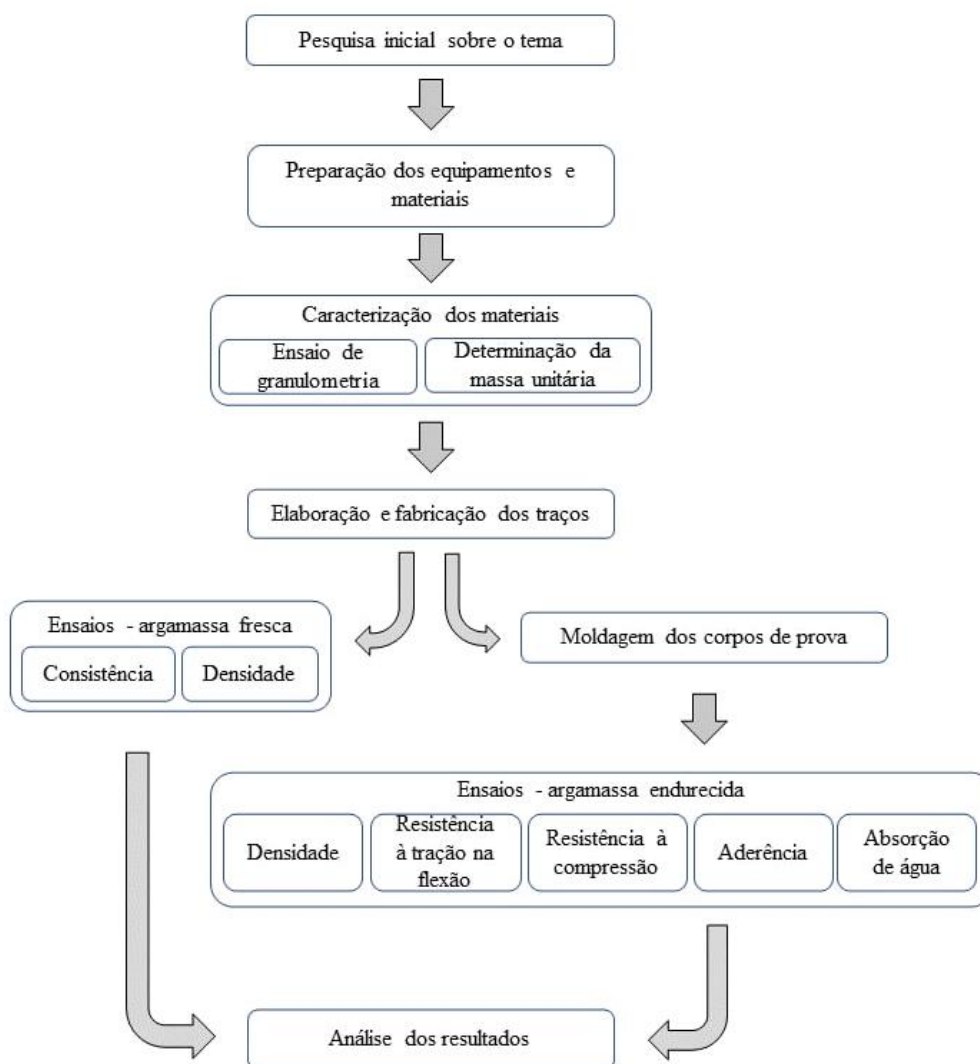
Os estudos realizados por Carvalho, Santos e Carasek (2012) e Carvalho, Cintra e Carasek (2012) trouxeram destaque para o tema, inclusive dentro do estado de Goiás, contudo, tais estudos apontam lacunas acerca do comportamento das fibras a médio e longo prazo, além da elaboração de métodos que permitam melhor distribuição das fibras nas argamassas, diminuição do consumo de água nas argamassas com adição de fibras, avaliação das propriedades de revestimento das argamassas com adição de fibras em paredes, entre outros aspectos.

Alves *et al.* (2022) e Moraes *et al.* (2021) trouxeram em seus trabalhos alguns resultados satisfatórios para a utilização de fibras de papel Kraft em traços de argamassa, principalmente quando a mesma é utilizada em traços ricos em cimento, com proporção de cimento e agregado não superior a 1:3.

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho se baseia na verificação da influência exercida pela adição de fibra proveniente do papel Kraft nos traços de argamassa aqui estudados. Dessa forma, a pesquisa foi dividida em seis etapas. Primeiramente, verificou-se a presença de variados trabalhos na literatura, envolvendo o tema estudado. A partir daí, iniciou-se a parte prática da pesquisa, com a caracterização dos materiais a serem empregados, seguida pela determinação dos traços. Posteriormente foram realizados os ensaios de argamassa fresca e a moldagem dos blocos. Após essa etapa, seguiu-se com os ensaios realizados na argamassa em estado endurecido e, finalmente, a análise de todos os resultados obtidos. O fluxograma da Figura 3-1 demonstra as etapas e a ordem de execução.

**Figura 3-1 - Fluxograma de etapas da pesquisa**



Fonte: Próprio autor (2021)

### **3.1 MATERIAIS UTILIZADOS**

Os materiais utilizados nos ensaios foram selecionados de forma a tornar a dosagem dos traços mais assertiva. Fez-se a caracterização do agregado miúdo e da fibra adicionada nos traços determinados para as análises.

#### **3.1.1 Agregado miúdo**

A NBR 9935 – Agregados – Terminologia (ABNT, 2011) define os agregados como um material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto. A norma traz ainda, que são considerados agregados miúdos são aqueles materiais cujo a granulometria está contida entre a peneira de 0,15 mm e 4,75 mm. Sendo assim, todo o material a ser utilizado no trabalho para a fabricação da argamassa foi submetido à peneira NR. 4 (4,75 mm), e somente o material passante foi utilizado.

O agregado miúdo a ser utilizado na fabricação da argamassa foi a areia natural média, comumente encontrada na região de Catalão. Tal material é utilizado na construção civil para as mais diversas finalidades, tais como fabricação de concreto, argamassa de assentamento e emboço de alvenaria. A areia foi estocada nas dependências do laboratório de materiais de construção, ensacada em sacos plásticos e protegidas da ação de agentes químicos externos e de intempéries.

#### **3.1.2 Cimento**

O cimento a ser utilizado na fabricação da argamassa foi o cimento Portland II – 32 (CP II). O numeral que compõe o nome do cimento, indica que se for confeccionado um corpo de prova com traço de argamassa padrão de 1:3 de cimento e areia, o material deverá ter, após 28 dias de cura, uma resistência de no mínimo 32 MPa.

O uso desse tipo de cimento, se justifica por ser um material amplamente utilizado para essa finalidade em obras com alvenaria construída em blocos cerâmicos, e por ser comumente encontrado em lojas de materiais de construção da cidade de Catalão - GO.

#### **3.1.3 Cal hidratada**

A cal foi incorporada na argamassa com a finalidade de conferir trabalhabilidade. No estudo em questão a cal utilizada foi do tipo CH-III. Tal produto tem suas características químicas e físicas descritas pela NBR 7175 – Cal hidratada para argamassas – Requisitos (ABNT, 2003).

O Quadro 3-1 traz os parâmetros químicos base para os tipos de cal hidratada presentes no mercado.

**Quadro 3-1 - Exigências químicas para os diferentes tipos de cal hidratada**

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico	Na fábrica	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
	No depósito	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxidos de cálcio e de magnésio não hidratado calculado		≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxidos totais na base de não voláteis		≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%

Fonte: NBR 7175 (ABNT, 2003)

Já os aspectos físicos estabelecidos pela norma estão dispostos no Quadro 3-2.

**Quadro 3-2 - Exigências físicas para os diferentes tipos de cal hidratada**

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,600 mm	≤ 0,5%	≤ 0,5%	≤ 0,5%
	Peneira 0,075 mm	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Retenção de água		≥ 75%	≥ 75%	≥ 70%
Incorporação de areia		≥ 3,0	≥ 2,5	≥ 2,2
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110

Fonte: NBR 7175 (ABNT, 2003)

### 3.1.4 Fibras de papel Kraft reciclado

Os sacos de cimento utilizados para a obtenção das fibras de papel Kraft foram coletados nos canteiros de obra da cidade de Catalão. Os mesmos foram encontrados rasgados para retirada de seu conteúdo e com resquícios de cimento em seu interior. Contudo, não foram expostos a outros agentes químicos que possam gerar contaminação do papel Kraft. Para a retirada do excesso de cimento que fica retido nas paredes dos sacos de cimento, os mesmos foram lavados com água potável e secos ao ar livre.

A Figura 3-2 mostra a lavagem dos sacos de cimento em um recipiente com água para eliminar os resquícios de cimento presentes nas embalagens.

**Figura 3-2 - Lavagem dos sacos de cimento**



Fonte: Próprio autor (2021)

Após serem lavados e secos ao ar livre, os sacos foram submetidos a um processo mecânico para obtenção das fibras. O processo consistiu em fragmentar o papel manualmente em pedaços com largura de aproximadamente 2 cm e posteriormente triturado com auxílio de um liquidificador industrial.

Para o processo de polpação, foram adicionados 3 L de água potável para cada embalagem de cimento utilizada, o que corresponde a 150 g de papel Kraft. A relação fibra/água, em massa, foi de 0,05. Para a adição da polpa na argamassa, a água de emassamento foi adicionada previamente à polpa, uma vez que a adição do papel Kraft em forma de polpa melhora a dispersão da fibra na argamassa no momento da mistura.

Vale ressaltar que em nenhum momento a fibra celulósica foi separada dos outros componentes que compõe o papel Kraft, o processo de polpação visou somente transformar a fibra em uma polpa utilizável na fabricação dos traços de argamassa.

### **3.2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL**

Com relação a caracterização do material, a investigação das propriedades físicas dos elementos que compõem a mistura da argamassa torna o traço mais assertivo, visto que a conferência da umidade do agregado miúdo é determinante no ajuste da proporção de água no traço, sendo que se adicionando em quantidades diferentes das ideais pode deixar a argamassa com resistência menor que o esperado, comprometendo os ensaios.

A seguir, foram realizados os ensaios de caracterização dos materiais que compõe os traços de argamassa. Tais ensaios foram realizados nos Laboratórios de Materiais e de Estruturas da Faculdade de Engenharia (FENG) da Universidade Federal de Catalão (UFCAT).

### 3.2.1 Caracterização do agregado miúdo

Para a caracterização granulométrica da areia, o procedimento seguiu o exposto na NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003). Assim, os materiais utilizados no ensaio foram os seguintes:

- Balança com resolução 0,1% da massa ensaiada
- Estufa com capacidade de temperatura  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Peneiras da série normal e intermediária (6,3; 4,75; 2,36; 1,18; 0,60; 0,30 e 0,15 mm)
- Fundo de peneirador e tampa
- Agitador mecânico
- Bandejas
- Pincel com cerdas macias

Com base na tabela 2 da referida norma, determinou-se a massa necessária para o ensaio de caracterização granulométrica que, nesse caso, foi de 0,3 kg.

As peneiras foram colocadas em ordem decrescente de abertura, o material foi depositado na peneira de maior abertura, completa o conjunto uma base, abaixo da peneira mais fina, e uma tampa sobre a peneira mais grossa. Após montado o conjunto, o peneirador foi acionado por um minuto e posteriormente pesou-se o conteúdo de cada peneira, utilizando a escova para desprender todo o material espalhado e preso sobre as malhas. Para os grãos presos na parte de cima da peneira, é considerado como material retido, já os grãos presos à parte de baixo consideram-se como material passante.

O conteúdo de cada peneira, incluindo o fundo, foi cuidadosamente retirado e pesado, com o intuito de garantir a massa de retira por cada abertura. O processo foi repetido duas vezes, para verificação dos resultados. É importante salientar que, caso a massa final obtida com a pesagem do material retido em cada peneira e no fundo seja superior a 0,3% da massa inicial aferida antes do início do ensaio, o mesmo deverá ser refeito. Outro ponto importante a ser levado em consideração é que a massa de material retida por uma mesma peneira, não pode ter uma diferença superior a 4% entre os dois ensaios.

O volume de material retido em cada peneira durante o ensaio está exposto na Figura 3-3.

**Figura 3-3** - Disposição dos grãos de areia após o peneiramento

Fonte: Próprio autor (2021)

Para o estudo em questão, o agregado graúdo foi peneirado previamente na peneira de abertura 4,75 mm e somente o material passante foi utilizado, como descrito anteriormente no item 3.1.1

### 3.2.1.1 Determinação da massa unitária da areia

A NBR NM 45 Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios (ABNT, 2006) define a massa unitária como sendo a relação entre a massa de um agregado, lançado em um determinado recipiente, seguindo as determinações da norma para as dimensões do mesmo, e o volume total do referido recipiente.

Ainda segundo a norma, o método utilizado para a areia foi o método C, empregado para determinar a massa unitária de materiais que se encontram em estado solto. Para tanto, é necessário o uso de um recipiente com volume conhecido que atenda às condições descritas no Quadro 3-3.

**Quadro 3-3** - Características do recipiente para a determinação da massa unitária em função da dimensão máxima do agregado

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Recipiente		
	Capacidade mínima (dm <sup>3</sup> )	Diâmetro interior (mm)	Altura interior (mm)
$d \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 < d \leq 50$	15	260	282
$50 < d \leq 75$	30	360	294

Fonte: NBR NM 45 (ABNT, 2006)

Assim, como a areia foi peneirada pela peneira de abertura 4,76 mm, considera-se esse como o maior diâmetro de partícula da areia, sendo necessário portanto um recipiente com um volume mínimo de 10 dm<sup>3</sup> (10 L). Tendo ainda um mínimo de 268 mm de altura interna e um diâmetro interno de, pelo menos, 220 mm.

Para a realização completa do ensaio, serão necessários os seguintes equipamentos:

- Balança com precisão de 1 g
- Concha ou pá pequena
- Estufa com capacidade de temperatura  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Recipiente com formato cilíndrico, rígido
- Placa transparente para calibração
- Pisseta
- Termômetro

O recipiente foi pesado juntamente com a placa e suas massas foram registradas. Posteriormente o mesmo foi preenchido com água até ficar completamente preenchido, com o auxílio da placa transparente e da pisseta para garantir o total preenchimento do recipiente. A seguir a massa total foi anotada.

Com a massa total, foi possível determinar o volume do recipiente através da massa de água contida nele. Foi necessário ainda medir a temperatura da água no momento da pesagem, a fim de se garantir a massa específica correta. Tal parâmetro foi analisado com base no Quadro 3-4.

**Quadro 3-4 - Massa específica da água em função da temperatura**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>
15,6	999,01
18,3	998,54
21,1	997,97
23,0	997,54
23,9	997,52
26,7	996,59
29,4	995,83

Fonte: NBR NM 45 (ABNT, 2006)

A Figura 3-4 demonstra a verificação da temperatura da água quando foi calculado o volume do recipiente que foi utilizado para a determinação da massa unitária da areia.

**Figura 3-4** - Verificação da temperatura da água no cálculo do volume



Fonte: Próprio autor (2021)

Para o cálculo da massa específica da areia, o primeiro passo foi levar a areia à estufa em temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ . Logo em seguida, a areia foi levada da estufa direto para o recipiente posicionado na balança.

A areia foi depositada no recipiente por meio de um lançamento com altura inferior a 50 mm da borda do recipiente, tal qual sugerido pela norma. Após o preenchimento total do volume, foi feito o arrasamento com o auxílio da placa acrílica e em seguida o registro da massa medida pela balança.

A Equação 3-1 foi utilizada para determinar a massa específica da areia:

$$f = \frac{m_{r+a} - m_r}{V} \quad (3-1)$$

Em que:

$f$  - Massa unitária do agregado ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$m_{r+a}$  - Massa do recipiente totalmente preenchido pelo agregado (kg)

$m_r$  - Massa do recipiente vazio (kg)

$V$  - Volume do recipiente ( $\text{m}^3$ )

Para a determinação da massa unitária da areia, foi utilizado o recipiente mostrado na Figura 3-4, calibrado com volume de 16,14 L, medida em uma balança com 0,1 g de precisão. Após o recipiente ser totalmente preenchido com a areia foi possível determinar a massa unitária, calculada em 1475,66 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.2.2 Caracterização da fibra

As fibras de papel Kraft serão caracterizadas em seu estado natural, tal qual presente nas embalagens de cimento coletadas em obras. Antes, porém, as embalagens serão limpas com água potável, a fim de se retirar vestígios de cimento ou outra impureza presente nas embalagens.

#### 3.2.2.1 Determinação da gramatura

Para a realização da gramatura das embalagens de cimento, serão necessários os seguintes equipamentos:

- Dispositivo de corte
- Balança

O procedimento foi realizado segundo os procedimentos descritos pela NBR NM 536 Papel e cartão – Determinação da gramatura (ABNT, 2000). Foram retiradas amostras das embalagens com medida de área compreendida entre o intervalo de 500 cm<sup>2</sup> e 1000 cm<sup>2</sup>.

Posteriormente, as amostras de papel Kraft foram pesadas em uma balança com precisão de 0,5% da massa real pesada, com sensibilidade suficiente para captar uma variação de  $\pm 0,2\%$  da massa real.

Após aferição da massa, o cálculo da gramatura foi feito através da Equação 3-2.

$$g = \frac{m}{A} \cdot 10000 \quad (3-2)$$

Em que:

$g$  – Gramatura (g/m<sup>2</sup>)

$m$  – Massa do corpo de prova (g)

$A$  – Área do corpo de prova (cm<sup>2</sup>)

Foram feitos ensaios em 20 amostras distintas e a partir desses dados, foi possível calcular a média e o desvio padrão das diferentes gramaturas aferidas. Para o papel Kraft advindo das embalagens de sacos de cimento a gramatura média foi de 89,286 g/m<sup>2</sup> e o desvio padrão foi de 0,211 g/m<sup>2</sup>.

### **3.2.2.2 Determinação da massa unitária da fibra**

Por se tratar de um material aglomerado, as fibras provenientes dos sacos de cimento reciclados não podem ter sua curva granulométrica determinada. Ainda assim, foi possível aferir a massa unitária através de um ensaio semelhante ao realizado no item 3.5.2 com adaptações, uma vez que o material analisado (fibra) foi incorporado em uma quantidade significativamente menor do que a areia.

Para tanto, foi utilizado um recipiente semelhante ao usado no referido item 3.2.1.1, preenchido com água até sua totalidade, verificada com o auxílio da placa transparente e posteriormente anotou-se a massa de água. Em seguida, o recipiente foi preenchido com a fibra, depois de trituração e seca em estufa, com bastante cuidado para garantir que a mesma não fosse compactada.

O arrasamento do recipiente não foi feito, segundo preconizado pela NBR NM 45 (ABNT, 2006) para ensaios de materiais granulares, uma vez que tal procedimento poderia compactar a fibra próxima à superfície do recipiente e, dessa forma, comprometer o resultado obtido no ensaio.

Para a fibra, o recipiente utilizado foi calibrado e a capacidade aferida foi de 6,97 L. Foram feitas em seguida três medições de massa consecutivas com o recipiente totalmente preenchido com as fibras, sendo possível aferir a massa unitária da fibra através da média das 3 medições, sendo calculada em 15,06 kg/m<sup>3</sup>.

## **3.3 PREPARAÇÃO DO MATERIAL**

Para a preparação dos materiais utilizados na dosagem dos traços, seguiu-se os requisitos previstos nas normas vigentes e os métodos abordados na literatura, visando-se maior acurácia na produção dos traços. Todos os itens foram separados nas quantidades adequadas e armazenados no laboratório de Materiais de construção da Faculdade de Engenharia, para serem utilizados de acordo com a demanda e com o cronograma da pesquisa.

### **3.3.1 Secagem do agregado miúdo**

Para se evitar variações na umidade do traço, utilizou-se o agregado miúdo em estufa de esterilização convencional com capacidade de elevação de temperatura de até 190° C e recirculador de ar, seco a 105° C por pelo menos 24 horas, assim como ilustrado na Figura 3-5.

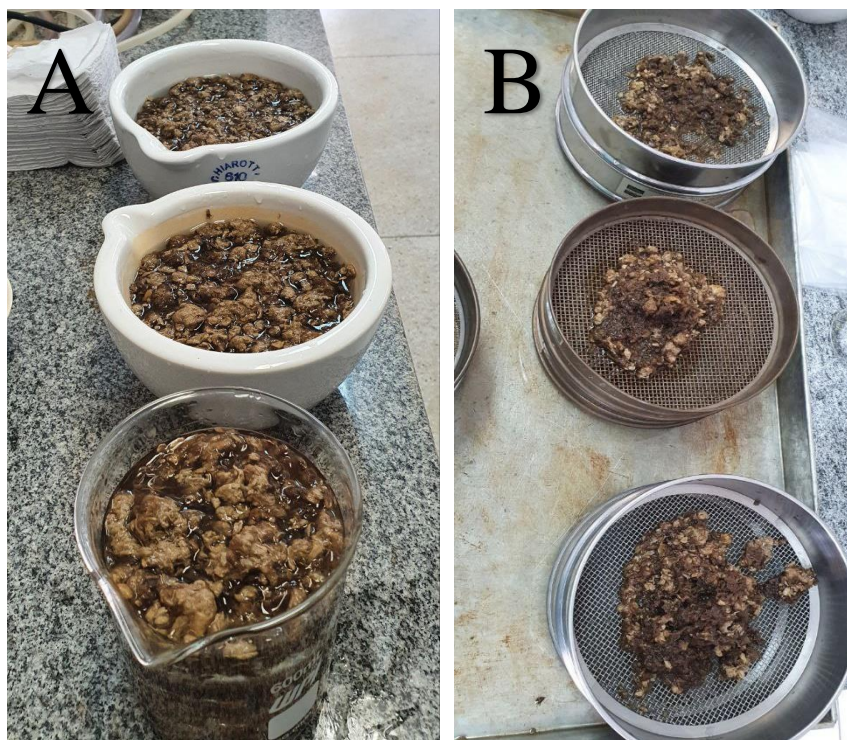
**Figura 3-5 - Estufa de secagem**

Fonte: Próprio Autor (2021)

### 3.3.2 Umidificação da fibra

Já para a fibra, em acordo com Girardi (2016) a sua umidificação melhora a dispersão na execução do traço. Sendo assim, foi adicionado uma quantidade de água controlada a fibra anteriormente a sua inserção na mistura. Para o cálculo da quantidade de água necessária para umidificar a fibra, o material foi totalmente submerso em água, em acordo com a Figura 3-6A. Posteriormente, em conformidade com a Figura 3-6B transferiu-se o material já úmido para peneiras com o objetivo de se eliminar a água não absorvida.

**Figura 3-6** - Umidificação da fibra e retirada do excesso de água



Fonte: Próprio Autor (2021)

O processo de eliminação de excesso de água das fibras se deu em três momentos distintos. Na primeira parte, três amostras foram deixadas na peneira por cinco minutos, recolhidas e pesadas assim como haviam sido pesadas secas. Colocou-se outras três amostras nas peneiras por dez minutos e repetiu-se a pesagem e por fim, por um período de 15 minutos foram deixadas mais três amostras e pesadas.

Desse procedimento, resultou a relação entre a massa das nove amostras secas e das mesmas saturadas com eliminação do excesso de água em três diferentes tempos. Com esses dados, foi feita a média de peso entre a massa seca das fibras porcionadas e após a saturação e eliminação do excedente de água, a média entre as porções deixadas durante o mesmo intervalo na peneira. Dividiu-se a média das massas secas pela média das massas úmidas para cada intervalo de tempo, obtendo-se coeficiente de saturação para as fibras de papel Kraft.

Esse coeficiente, foi calculado em 6,43. Tal número representa a relação entre a massa de fibra e a massa de água necessária para saturá-la, em outras palavras, é necessário 63,4 mL de água para saturar 10 g de fibra.

O estabelecimento de um fator para determinação do ponto de umidificação da fibra, assim como mencionado, acarreta no controle da quantidade de água presente na mistura e, principalmente, ajuda na definição do ponto de umidificação das fibras, uma vez que saturadas se espalham melhor na mistura da argamassa.

### 3.4 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS

O trabalho em questão, visou analisar traços de argamassa comumente utilizados em obras de construção civil para a execução da camada única, que segundo Carasek (2017) é o tipo de camada de revestimento em alvenaria mais utilizado no Brasil, sendo também conhecido como “massa única” ou “reboco paulista”.

Inicialmente fez-se a determinação de traços de referência (sem adição de fibra) visto que deles ira se verificar a eficácia dos traços que serão adicionados a fibra.

O delineamento experimental foi feito através da determinação de três traços de referência, sendo a variação entre eles dada pela quantidade de areia. O traço de referência 1 (R1) é de 1:2:6, sendo a configuração lida como: um volume de cimento, para dois volumes de cal e seis volumes de areia. Já o traço de referência 2 (R2) é de 1:2:7, nos mesmos moldes de R1 e o traço de referência 3 (R3) é dado por 1:2:8. O volume utilizado nas dosagens é como mostrado na Figura 3-7.

**Figura 3-7 - Volume de referência utilizado na dosagem dos traços**



Fonte: Próprio autor (2021)

O recipiente exibido na Figura 3-8 tem em sua embalagem a indicação de volume de 300 mL, porém através de aferições em laboratório mediu-se o volume de 305,28 mL. Nesse sentido, cada unidade indicada tanto nos traços de referência quanto nos traços com aditivo de fibra representa 305,28 mL de material.

Dos traços de referência baseou-se os demais traços, onde fez-se adição da fibra na argamassa nas porcentagens de 0,5%, 1% e 1,5% em relação ao material seco da mistura. O material seco é definido pela combinação de aglomerantes (cimento e cal) com o agregado miúdo (areia), todos misturados a seco.

Produziu-se um traço para cada porcentagem de adição de fibra com base nos traços de referência. Desta maneira, havendo três níveis de adição de fibra e três traços de referência, foram produzidos nove traços de argamassa com adição de fibra, que somados aos três traços iniciais sem adição, totalizam 12 traços diferentes produzidos para o estudo. A Tabela 3-1 resume os traços utilizados no estudo.

**Tabela 3-1** - Traços, em volume, analisados no delineamento do estudo

Traço	Cimento	Cal	Areia	% de fibra
R1	1	2	6	-
T1_1	1	2	6	0,50%
T1_2	1	2	6	1,00%
T1_3	1	2	6	1,50%
R2	1	2	7	-
T2_1	1	2	7	0,50%
T2_2	1	2	7	1,00%
T2_3	1	2	7	1,50%
R3	1	2	8	-
T3_1	1	2	8	0,50%
T3_2	1	2	8	1,00%
T3_3	1	2	8	1,50%

Fonte: Próprio autor (2021)

Para correta verificação das propriedades da argamassa, foram elaborados três corpos de prova em formato de prisma com dimensões de 40x40x160 mm para cada traço e, definidos três idades para estudo de suas propriedades mecânicas, sendo elas: 7 dias, 14 dias e 28 dias. Dessa adoção e dos parâmetros já estabelecidos chega-se à quantidade de 108 corpos de prova produzidos, sendo ainda necessário a produção de três corpos de prova para cada traço para a determinação da densidade em estado endurecido e absorção de água por capilaridade, somando 144 corpos de provas fabricados para o estudo.

### 3.5 EXECUÇÃO DOS TRAÇOS

Feita a preparação da fibra, do agregado miúdo e definidos os traços e quantidades de corpos de prova, passou-se para a produção da argamassa em laboratório. A produção em laboratório seguiu as seguintes etapas: medição e pesagem dos volumes de agregado miúdo,

aglomerantes e água, mistura seca dos aglomerantes e agregado miúdo, pesagem da mistura seca e definição da quantidade de fibra, adição da fibra na mistura seca, adição de água, mistura do traço e moldagem dos corpos de prova.

Na primeira etapa, fez-se a dosagem dos aglomerantes e areia. A Figura 3-8 mostra a medição e pesagem de um volume de cimento.

**Figura 3-8 - Dosagem de cimento**



Fonte: Próprio autor (2021)

Após a medição dos volumes na proporção do traço, os materiais secos foram adicionados na argamassadeira para que toda a massa seca fosse homogeneizada antes da adição de água e da fibra. A Figura 3-9 mostra o equipamento utilizado tanto na mistura do material seco quanto na mistura da própria argamassa.

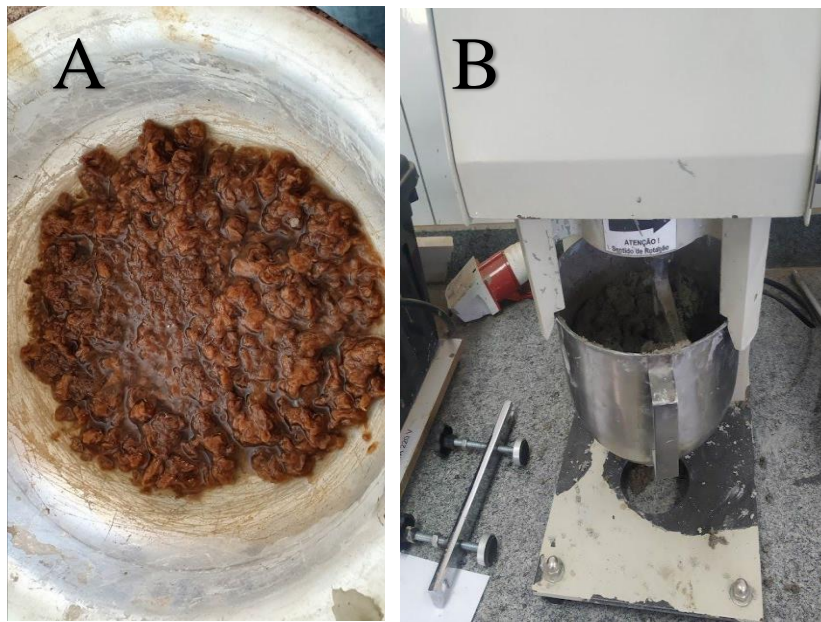
**Figura 3-9** - Argamassadeira utilizada na fabricação dos traços



Fonte: Próprio autor (2021)

Da mistura seca e tendo sido estabelecidos as porcentagens de adição de fibra, a cada mistura de aglomerantes e areia, as mesmas eram pesadas e feito o cálculo para a separação da quantidade de fibra a ser adicionada. A Figura 3-10A mostra uma porção de fibra úmida já pesada e separada para adição na argamassa e a Figura 3-10B traz a mistura já completamente homogeneizada na argamassadeira. Para se chegar a mistura homogeneizada fez-se a mistura do material seco e separação da quantidade de fibra, tendo sido a mesma adicionada na mistura com a água nas proporções e períodos ditados na NBR 16541 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização dos ensaios (ABNT, 2016), durante o tempo de mistura.

**Figura 3-10** - Fibra úmida porcionada (A) e execução dos traços na argamassadeira (B)



Fonte: Próprio autor (2022)

Como a quantidade de cimento, cal, areia e fibra foram balizadas e medidas anteriormente, fez-se a adição de água na proporção de 1,75, 1,80 e 2,00 com relação a quantidade de cimento, para os traços de referência R1, R2 e R3, respectivamente. A adoção dessa relação de água/cimento se deu de forma experimental visando-se a melhor trabalhabilidade da argamassa e alcance do ponto de consistência em acordo com a NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência - (ABNT, 2016), fixando-se o espalhamento das argamassas no equipamento *flow table* em  $255 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ . O detalhamento desse ensaio é descrito no item 3.6.1.1.

Por fim, procedeu-se com a moldagem dos corpos de prova em fôrmas que comportam 3 corpos de prova por vez, as fôrmas utilizadas na montagem estão apresentadas na Figura 3-11.

**Figura 3-11** - Fôrmas utilizadas na moldagem dos corpos de prova



Fonte: Próprio autor (2022)

### **3.6 ENSAIOS EM ARGAMASSA**

#### **3.6.1 Ensaio no estado fresco**

Os ensaios com a argamassa no estado fresco desempenham papel de apuração da trabalhabilidade do material, consistência e densidade, sendo imprescindíveis o estudo de tais parâmetros para se atestar a qualidade da argamassa durante sua aplicação.

##### **3.6.1.1 Ensaio de consistência (*Flow table*)**

A determinação da consistência da argamassa fresca foi feita com base no procedimento determinado na NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência (ABNT, 2005).

Os equipamentos utilizados no ensaio foram:

- Mesa para índice de consistência
- Molde tronco cônico
- Soquete metálico
- Régua metálica
- Paquímetro para medições de até 300 mm, com resolução de pelo menos 1 mm

Com a argamassa pronta, colocou-se o tronco de cone posicionado no centro da *flow table* e adicionou-se em três camadas de mesma altura a argamassa, aplicando-se com o auxílio do soquete metálico 15, 10 e 5 golpes, na primeira, segunda e terceira camada, respectivamente.

Após, removeu-se cuidadosamente o molde troncônico e aplicou-se, com o auxílio da manivela do equipamento, 30 golpes sucessivos em um período de 30 segundos, chegando-se, então, ao espelhamento de cada traço.

A Figura 3-12 exemplifica uma medição do espalhamento da argamassa após a realização do ensaio.

**Figura 3-12 -** Medição do espalhamento da argamassa



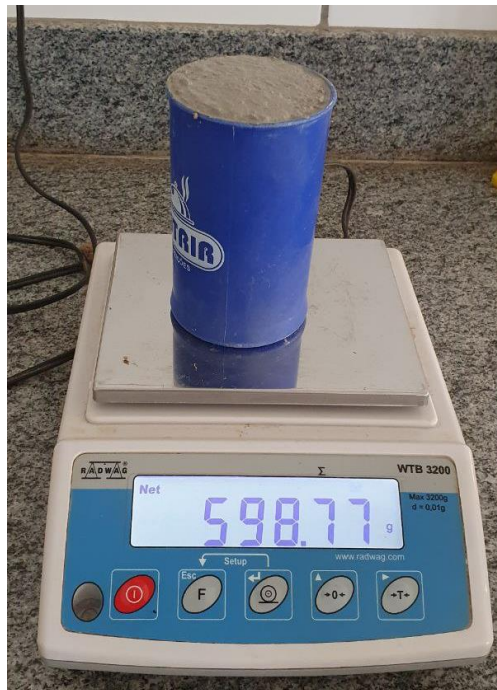
Fonte: Próprio autor (2022)

### 3.6.1.2 Determinação da densidade de massa

O ensaio de determinação da densidade de massa foi realizado seguindo o procedimento descrito pela norma NBR 13278 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado (ABNT, 2005). Onde seguiu-se a indicação de preencher o recipiente escolhido com três camadas de argamassa de igual espessura, sendo aplicados 20 golpes em cada camada para uniformização do material. Com o recipiente cheio, soltou-se o de uma altura de aproximadamente três cm da bancada de ensaio, o processo foi repetido por três vezes, visando o adensamento da argamassa no recipiente.

Com a argamassa adensada no recipiente, fez-se o arrasamento da superfície por duas vezes consecutivas de forma perpendicular e então pesou-se o vasilhame. A Figura 3-13 mostra a argamassa já adensada e aferição da massa.

**Figura 3-13** - Argamassa adensada para ensaio de densidade no estado fresco



Fonte: Próprio autor (2022)

Obtida a massa, utilizou-se da Equação 3-3 para o cálculo da densidade da argamassa e verificação desse parâmetro em acordo com a norma.

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} * 1000 \quad (3-3)$$

Em que:

$d$  - Densidade (kg/m<sup>3</sup>)

$m_c$  - Massa do recipiente cilíndrico contendo argamassa do ensaio (g)

$m_v$  - Massa do recipiente cilíndrico vazio (g)

$V_r$  - Volume do recipiente cilíndrico (cm<sup>3</sup>)

Calculada a densidade no estado fresco, a mesma foi comparada com o Quadro 3-5 proveniente da NBR 13281 (ABNT, 2005).

**Quadro 3-5** - Classificação de argamassas de acordo com a densidade no estado fresco

<b>Classe</b>	<b>Densidade de massa no estado fresco (kg/m<sup>3</sup>)</b>
D1	≤ 1.400
D2	1.200 a 1.600
D3	1.400 a 1.800
D4	1.600 a 2.000
D5	1.800 a 2.200
D6	> 2.000

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

Calculada e classificada a densidade da argamassa, Carasek (2010) ainda permite que se classifique a argamassa em leve, normal ou pesada. Para tanto fez-se uso do Quadro 3-6.

**Quadro 3-6** - Classificação e uso das argamassas em função da densidade

<b>Argamassa</b>	<b>Densidade -A (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Usos</b>
Leve	< 1,40	Isolamento térmico e acústico
Normal	$2,30 \geq A \geq 1,40$	Aplicações convencionais
Pesada	> 2,30	Blindagem de radiação

Fonte: Adaptado de Carasek (2010)

### 3.6.2 Ensaios no estado endurecido

Os ensaios em estado endurecido dizem respeito a resistência mecânica do material em diferentes idades, absorção de água, resistência ao arrancamento e densidade no estado endurecido.

#### 3.6.2.1 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os ensaios foram realizados seguindo o passo a passo descrito pela NBR 13279 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005).

Para tanto utilizou-se a prensa universal do laboratório de Estruturas da FENG, modelo WDW-300E com capacidade de carga de até 300 kN. Na prensa, foram utilizados os apoios necessários para executar os ensaios de forma eficiente e a mesma foi programada com os parâmetros previstos na norma. A Figura 3-14 exhibe a prensa utilizada nos ensaios.

**Figura 3-14** - Prensa universal do laboratório de estruturas



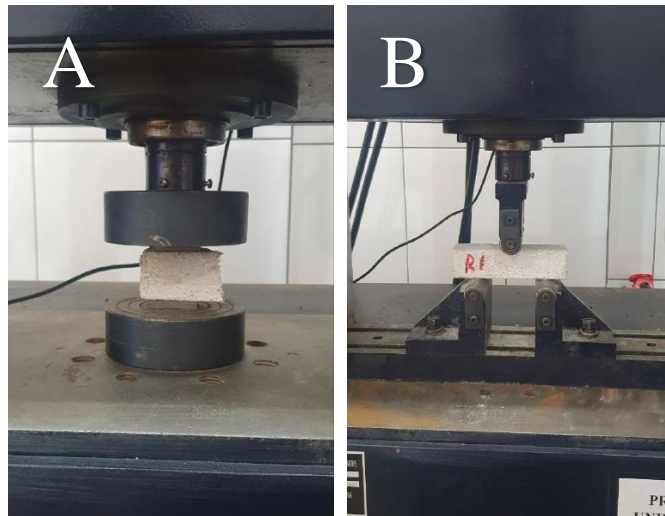
Fonte: Próprio autor (2021)

Para o ensaio de tração os corpos de prova foram dispostos no equipamento com a face rasada voltada para fora dos pontos de apoio e aplicação de carga, pois procurou-se evitar contato com a face mais irregular.

Em acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005) o equipamento foi programado de forma que a taxa de aplicação das cargas de tração e compressão fossem de  $50 \pm 10$  N/s e  $500 \pm 50$  N/s, respectivamente, até que o corpo de prova atingisse a ruptura.

As Figuras 3.15A e 3.15B mostram as configurações dos apoios montados para os ensaios de compressão e de tração na flexão, respectivamente.

**Figura 3-15** - Apoios utilizados nos ensaios de compressão (A) e tração na flexão (B)



Fonte: Próprio autor (2021)

Para medição da resistência à tração foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Moldes prismáticos: 4x4x16 cm;
- Mesa de adensamento por queda;
- Espátulas;
- Régua metálica;
- Prensa capaz de controlar a carga aplicada (50 N/s na flexão e 500 N/s na compressão);
- Cronômetro.

Feito os ensaios, fez-se uso da Equação 3-4 para o cálculo da resistência à tração na flexão.

$$R_t = \frac{1,5 \cdot F_t \cdot L}{40^3} \quad (3-4)$$

Onde:

$R_t$  - Resistência à tração na flexão (MPa);

$F_t$  - Carga aplicada (N);

$L$  - Distância entre os apoios inferiores (mm).

Com a realização dos ensaios de resistência à tração na flexão, os corpos de prova eram partidos ao meio e cada metade era submetida ao ensaio de compressão.

A partir dos valores de carga obtidos no ensaio, utilizou-se a Equação 3-5 para o cálculo da resistência a compressão.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3-5)$$

Sendo:

$R_c$  - Resistência à compressão (MPa);

$F_t$  - Carga aplicada (N).

Para os traços analisados foram feitos ensaios de resistência à tração e à compressão após 7, 14 e 28 dias de cura, com o intuito de identificar o comportamento da resistência ao longo do tempo. O Anexo A traz o cronograma de moldagem dos diferentes traços e os respectivos dias de rompimento aos 7, 14 e 28 dias.

A NBR 13281 (ABNT, 2005) possibilita a classificação da argamassa em acordo com sua resistência tanto na compressão quanto à tração na flexão. O Quadro 3-7 traz a classificação de acordo com a resistência na compressão.

**Quadro 3-7** - Classificação das argamassas de acordo com a resistência à compressão

<b>Classe</b>	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>
P1	≤ 2,0
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,0 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	> 8,0

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

Já o Quadro 3-8 mostra como pode ser feita a classificação quanto a resistência à tração na flexão.

**Quadro 3-8** - Classificação das argamassas de acordo com a resistência à tração

Classe	Resistência à tração (MPa)
R1	≤ 1,5
R2	1,0 a 2,0
R3	1,5 a 2,7
R4	2,0 a 3,5
R5	2,7 a 4,5
R6	> 3,5

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

### 3.6.2.2 Densidade de massa aparente no estado endurecido

Para a determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido, seguiu-se o recomendado pela NBR 13280 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido (ABNT, 2005).

Foram ensaiados 3 corpos de prova para cada traço em uma idade de 28 dias. Foram medidos os parâmetros de altura (h), largura (l) e comprimento (c) em cada corpo de prova, analisando dois pontos distintos em cada seguimento. A partir da média desses valores, calculou-se as densidades de massa aparente a partir da Equação 3-6.

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m_{cp}}{v} * 1000 \quad (3-6)$$

$\rho_{m\acute{a}x}$  – Densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>)

$m_{cp}$  – Massa do corpo de provas (g)

$V$  – Volume do corpo de prova (cm<sup>3</sup>)

### 3.6.2.4 Absorção corpo capilaridade

A determinação da absorção por capilaridade seguiu o procedimento previsto na NBR 15259 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade (ABNT, 2005).

Para esse ensaio foi utilizado:

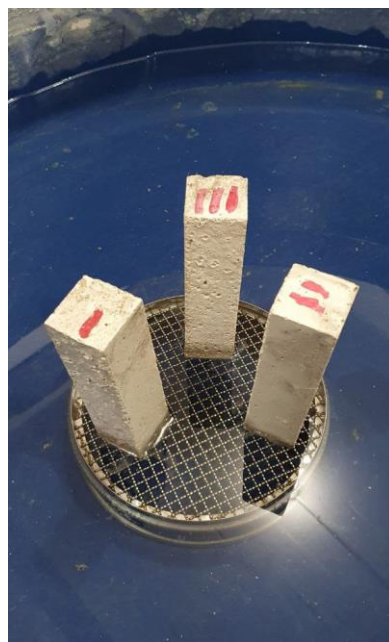
- Balança com resolução mínima de 0,01 g
- Recipiente para armazenamento dos corpos de prova
- Cronômetro com resolução de 1s

- Suporte para os corpos de prova de modo que fiquem com o máximo de área em contato com a água
- Espátula metálica
- Pincel
- Lixa com capacidade para lixar a argamassa.

O ensaio utilizou um reservatório de 250 L, onde os blocos foram colocados sobre peneiras metálicas, que permitiram o máximo contato da superfície do bloco com a água. Dessa forma, foram feitas as medições da quantidade de água absorvida por capilaridade aos 10 minutos e aos 90 minutos.

A Figura 3-16 demonstra a realização do ensaio no laboratório de Materiais de Construção da Faculdade das Engenharias.

**Figura 3-16** - Ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: Próprio autor (2022)

#### **3.6.2.5 Ensaio de resistência de aderência à tração**

O ensaio de resistência de aderência à tração foi realizado através de uma adaptação do procedimento descrito pela NBR 13528 (ABNT, 2019).

Segundo a norma o ensaio de aderência deverá ser realizado, em argamassas mistas, aos 28 dias de cura. Para cada traço, foram realizados 4 ensaios de aderência sobre um substrato de bloco cerâmico, com dimensões de 9x19x29 cm. Para tanto, cada bloco foi recoberto por uma camada de aproximadamente 2 cm de argamassa, sendo dois blocos para cada traço.

O procedimento foi realizado por Pagnussat e Masuero (2011), que estudaram a aderência de argamassa em blocos cerâmicos com diferentes temperaturas de queima, além de testarem a influência da parafina como selante nos poros dos blocos na resistência ao arrancamento.

A Figura 3-17 demonstra os blocos cerâmicos após serem cobertos pela camada de argamassa.

**Figura 3-17** - Blocos com camada de argamassa



Fonte: Próprio autor (2022)

A norma prevê ainda que os ensaios devem ser realizados com distância mínima de 50 mm entre um e outro. A superfície da argamassa deve ser limpa com um pincel de cerdas finas, a fim de garantir que não haja nenhuma poeira sobre o substrato no momento da colagem da pastilha.

Após marcados os pontos e feita a limpeza da superfície, deve ser feito o corte com a serra copo, possibilitando a separação do corpo de prova do restante da argamassa de revestimento, novamente a superfície deverá ser limpa com o pincel de cerdas macias.

Os blocos foram perfurados com o auxílio de uma furadeira de bancada da marca Vonder modelo FBV 013, à qual foi acoplada uma serra copo com dimensões idênticas as das pastilhas de arrancamento. A Figura 3-18 demonstra a execução de um dos furos durante a preparação para o ensaio.

**Figura 3-18** - Perfuração da argamassa no bloco



Fonte: Próprio autor (2022)

O próximo passo foi a colagem da pastilha com massa plástica na superfície da camada única, esperou-se pela secagem e então o tripé do equipamento de arrancamento foi fixado. A partir daí, posicionou-se a célula de carga na extremidade externa da pastilha e, em um movimento uniforme, aplicou-se carga até a ruptura do corpo de prova.

A Figura 3-19 traz o ensaio de ruptura de um corpo de prova, com o tripé ajustado na pastilha e a célula de carga ligada ao mostrador digital do equipamento.

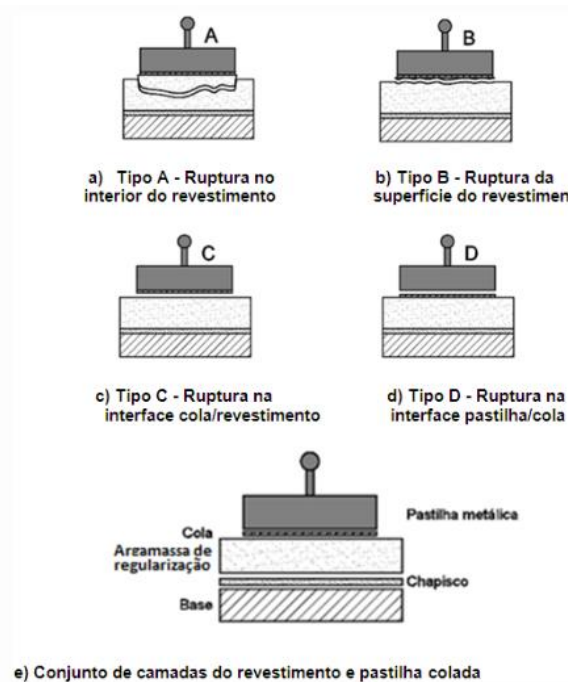
**Figura 3-19 - Ensaio de arrancamento**



Fonte: Próprio autor (2022)

Segundo a norma a ruptura poderá se dar nas formas descritas pela Figura 3-20. Para os ensaios realizados no laboratório, rupturas do tipo C e D foram desconsiderados e em caso de ensaios com esse tipo de resultado, houve uma nova moldagem dos blocos para que o ensaio fosse realizado uma segunda vez.

**Figura 3-20** - Formas de ruptura corpo de prova



Fonte: NBR 13528-3 (ABNT, 2019)

Ainda segundo a norma, a resistência de aderência à tração superficial foi determinada utilizando-se a Equação 3-7.

$$R_s = \frac{P}{A} \quad (3-7)$$

Em que:

$R_s$  - Resistência de aderência (MPa)

$P$  - Carga de ruptura (N)

$A$  - Área da pastilha metálica (mm<sup>2</sup>)

### 3.7 FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os principais resultados a serem analisados nesse trabalho foram o comportamento e os parâmetros físicos e mecânicos das argamassas fabricadas com adição de fibras provenientes das embalagens de papel Kraft.

Os resultados foram analisados através de gráficos, que demonstram a interação entre os diferentes traços e as diferentes adições de fibra. Os gráficos contemplam as regressões lineares de cada um dos parâmetros analisados, como consistência, absorção de água por capilaridade, resistência mecânica à tração na flexão e à compressão e resistência ao arrancamento.

O delineamento foi feito a partir dos três traços analisados, são eles os traços 1:2:6, 1:2:7 e 1:2:8 de cimento, cal hidratada e areia respectivamente. Para ambos os traços foram feitas 3 adições de fibras em diferentes proporções, além do traço referência. O Quadro 3.5, contido no item 3.4, demonstra o delineamento utilizado para a realização do estudo.

A análise dos dados foi feita através da regressão linear. Para tanto, levou-se em consideração os diferentes parâmetros citados anteriormente e os traços utilizados, observando os valores de resistência em um dos eixos e no outro os níveis de adição de fibra e também a quantidade de areia contida em cada traço.

Os gráficos da regressão linear foram plotados utilizando o Microsoft Excel 16, que também foi utilizado para determinar a equação que descreve a reta para cada sequência de dados observada, com o respectivo valor de  $R^2$ , que por sua vez determina o quanto a equação explica a variância ocorrida nos dados observados.

Os dados serão apresentados no capítulo 4, assim como a respectiva discussão de cada um dos parâmetros observados.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados contidos nesse trabalho consiste em duas etapas. Primeiramente foram analisados os resultados obtidos através da análise da argamassa no estado fresco e no segundo momento a análise se voltará aos resultados obtidos através dos ensaios de argamassa no estado endurecido.

### 4.1 RESULTADOS NO ESTADO FRESCO

Para o estado fresco, foram realizados todos os ensaios descritos no item 3.6.1 e a Tabela 4-1 traz os dados obtidos em cada um dos ensaios.

**Tabela 4-1** - Resultados para diversos parâmetros no estado fresco da argamassa

Ident.	Traço	Massa seca (g)	Relação a/c	Teor de fibras	Massa fibra (g)	Massa (g)	Densidade (kg/L)	Flow table (mm)
R1	1:2:6	3396	1,75	-	-	610,23	1,9981	257,1
T1_1	1:2:6	3367	1,75	0,50%	16,84	598,77	1,9606	245,3
T1_2	1:2:6	3271	1,75	1,00%	32,71	561,81	1,8396	231,4
T1_3	1:2:6	3188	1,75	1,50%	47,82	535,22	1,7525	202,8
R2	1:2:7	3780	1,80	-	-	620,54	2,0319	263,3
T2_1	1:2:7	3686	1,80	0,50%	18,43	588,52	1,9270	200,4
T2_2	1:2:7	3629	1,80	1,00%	36,29	569,40	1,8644	194,6
T2_3	1:2:7	3753	1,80	1,50%	56,29	548,83	1,7971	192,0
R3	1:2:8	4015	2,00	-	-	606,47	1,9858	257,0
T3_1	1:2:8	4073	2,00	0,50%	20,36	590,26	1,9327	202,8
T3_2	1:2:8	4036	2,00	1,00%	40,36	569,36	1,8643	180,9
T3_3	1:2:8	4122	2,00	1,50%	61,83	527,60	1,7276	195,1

Fonte: Próprio autor (2022)

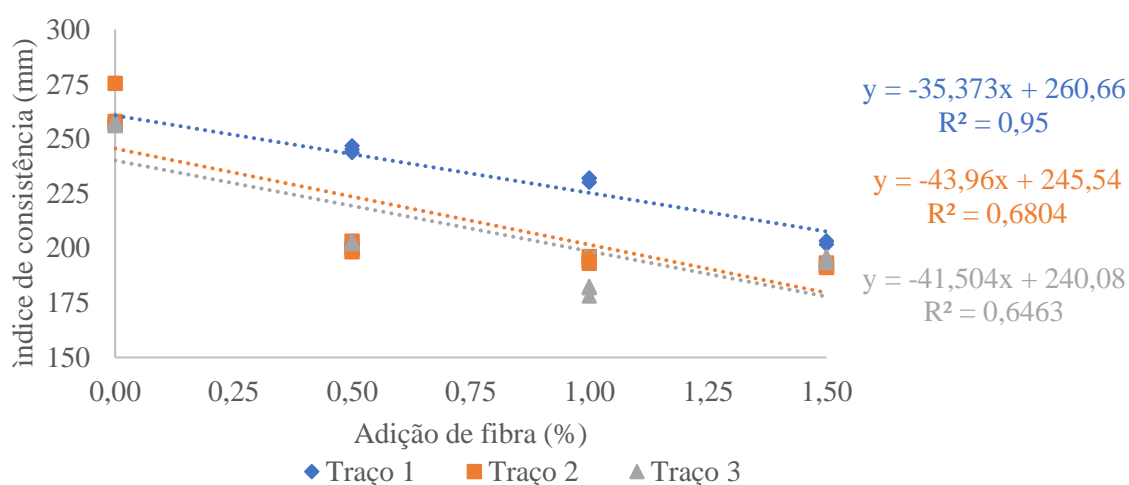
A densidade da argamassa em estado fresco diminuiu à medida em que o teor de adição de fibras aumenta. Para o traço 1 houve uma diminuição de 7,37% no valor da densidade para o respectivo traço de referência (1,998 kg/L), para o traço 2 a redução foi em média de 8,32% em relação ao traço referência 2 (2,032 kg/L) e para o traço 3 a diminuição média da densidade foi de 7,15% para o traço referência (1,986 kg/L).

Baseado na classificação fornecida pela NBR 13281, descrita no item 3.6.1.2 (Quadro3-6), os traços Referência, Traço 1 e Traço 2 estão fazendo parte da classe D5 de consistência, com valores de densidade compreendidos entre 1.800 e 2.200 kg/m<sup>3</sup>. Já os traços compreendidos dentro do Traço 3, são classificados como D4.

Baseado na classificação proposta por Carasek (2010), também descrita no item 3.6.1.2 (Quadro 3-7), todos os traços analisados na pesquisa se encaixam na descrição de densidade normal, em que segundo a autora, as argamassas podem ser utilizadas para usos convencionais.

A partir dos dados obtidos com o ensaio *flow table* foi elaborada a regressão linear, considerando todos os pontos observados. O Figura 4-1 demonstra o gráfico de regressão linear da consistência para os diferentes traços estudados. O eixo y representa o espalhamento medido no ensaio de *flow table* em milímetros e o eixo x representa os níveis de adição de fibras, em porcentagens da massa de material seco.

**Figura 4-1** - Consistência da argamassa de cada traço com o efeito da adição de fibra



Fonte: Próprio autor (2022)

Para o traço 1 houve uma diminuição média de 11,90% na medição do espalhamento em relação ao valor de referência (257,1 mm), para o traço 2 a redução média foi de 25,68% em relação à referência (263,3 mm) e para o traço 3 houve uma diminuição de 24,93%, em relação à medição para o traço referência (257,0 mm).

Percebe-se que a inserção de fibra na mistura faz com que o a consistência da argamassa aumente significativamente e conseqüentemente diminua a trabalhabilidade. Tal comportamento foi observado por Alves et al (2021) e por Morais et al. (2022), que constataram que o aumento da consistência afeta diretamente a trabalhabilidade das argamassas, ocasionando, em alguns casos, dificuldades na hora de moldar os corpos de prova das pesquisas realizadas.

A partir da análise de regressão linear observou-se que o traço T1 teve valores de consistência mais baixos em relação aos traços T2 e T3, que por sua vez tiveram resultados similares. A influência da fibra foi determinante em todos os traços analisados, conferindo maior consistência de forma gradativa, à medida em que se aumentava as porcentagens de adição.

## 4.2 RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO

Depois de moldados os blocos e esperados o respectivo tempo de cura, foram realizados os ensaios na argamassa em estado endurecido. Os resultados obtidos foram analisados levando em consideração as diferentes adições de fibra e também as variações de agregado miúdo em cada traço.

### 4.2.2 Resultado do ensaio de tração na flexão para o efeito de adição de fibra

Os corpos de prova de 40x40x160 mm moldados com os traços foram ensaiados aos 7, 14 e 28 dias. Para tanto, foram observados os prazos de moldagem de cada traço e os dias de realização dos ensaios.

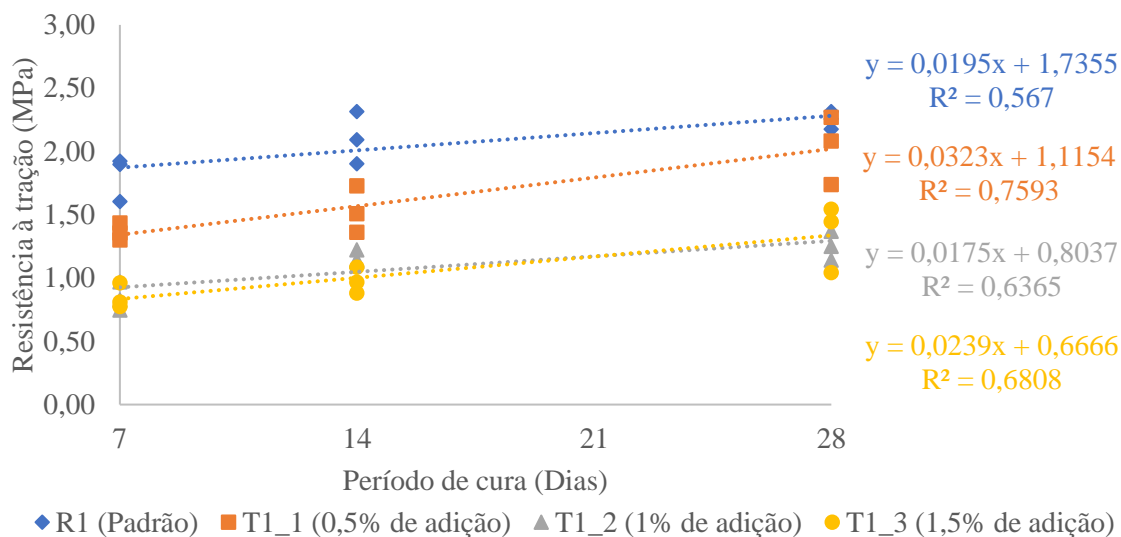
A Tabela 4-2 traz os resultados registrados para o traço T1 (1:2:6) após a execução dos ensaios de tração na flexão.

**Tabela 4-2** - Resistência à tração na flexão para o traço 1 com o efeito da adição de fibra

Dias de cura	Referência		0,5% de adição		1% de adição		1,5% de adição	
	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão
7	1,809	0,176	1,365	0,068	0,848	0,113	0,849	0,099
14	2,104	0,206	1,533	0,184	1,166	0,049	0,979	0,103
28	2,250	0,071	2,032	0,269	1,255	0,113	1,345	0,266

Fonte: Próprio autor (2022)

A partir dos dados medidos, foi possível plotar a regressão linear da resistência à tração, para o traço 1, demonstrado na Figura 4-2. No eixo y estão os valores da resistência à tração em MPa e no eixo x está o tempo de cura em dias.

**Figura 4-2** - Resistência à tração na flexão para o traço 1 com o efeito da adição de fibra

Fonte: Próprio autor (2022)

Foi possível determinar assim que segundo a classificação da norma contida no item 3.6.2.1, baseada na resistência à tração na flexão, o traço referência 1 se classifica como R4, assim como o traço com a primeira adição de fibra. Já para a segunda e terceira adição de fibra, os traços entram na classificação R2.

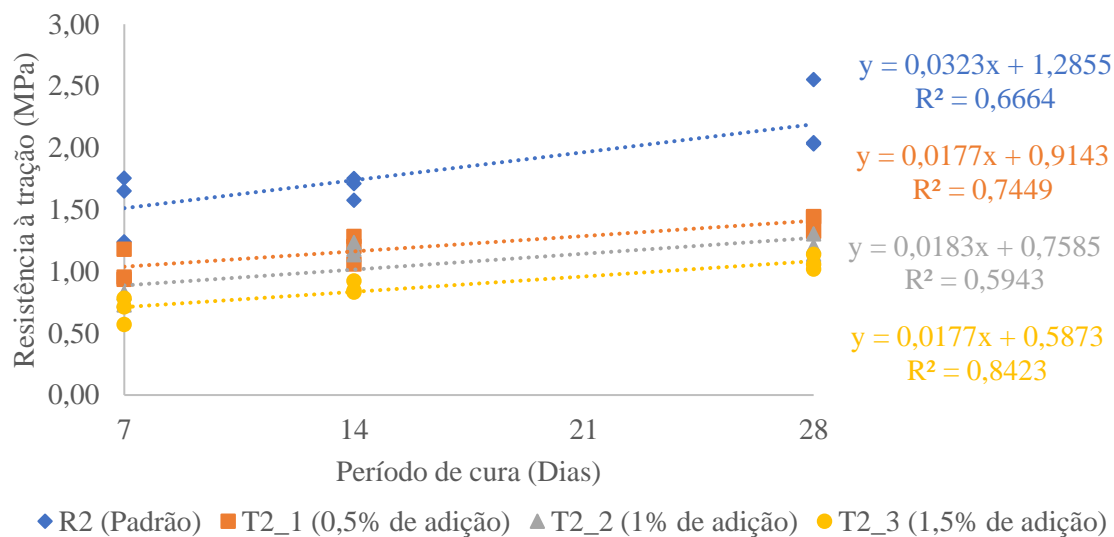
A Tabela 4-3 expõe os resultados para o traço 2 (1:2:7), também para os ensaios de tração na flexão.

**Tabela 4-3** - Resistência à tração na flexão para o traço 2 com o efeito da adição de fibra

Dias de cura	Referência		0,5% de adição		1% de adição		1,5% de adição	
	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão
7	1,550	0,272	1,024	0,136	0,774	0,049	0,690	0,109
14	1,681	0,092	1,183	0,113	1,184	0,049	0,867	0,049
28	2,210	0,298	1,403	0,067	1,215	0,084	1,073	0,060

Fonte: Próprio autor (2022)

A partir da análise dos dados chegou-se na regressão linear para a resistência à tração do traço 2, tal qual exposto na Figura 4-3, onde os valores da resistência estão dispostos no eixo y em MPa e o tempo de cura corresponde ao eixo x em dias.

**Figura 4-3** - Resistência à tração na flexão para o traço 2 com o efeito da adição de fibra

Fonte: Próprio autor (2022)

Para o traço 2, a resistência para o traço sem nenhuma adição o coloca na classe de resistência R3. Já os demais traços compreendidos no traço 2 com a primeira, segunda e terceira adição de fibra se classificam como R2.

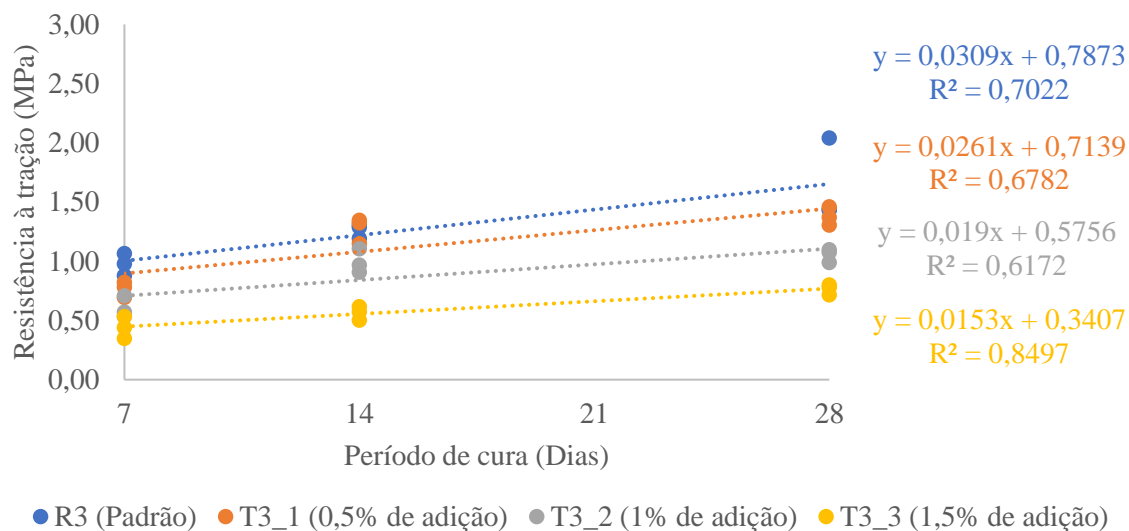
O traço 3 também foi ensaiado para todas as idades e todas as adições de fibras, e os dados obtidos estão descritos na Tabela 4-4.

**Tabela 4-4** - Resistência à tração na flexão para o traço 3 com o efeito da adição de fibra

Dias de cura	Referência		0,5% de adição		1% de adição		1,5% de adição	
	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão
7	0,975	0,093	0,767	0,066	0,606	0,091	0,441	0,093
14	1,263	0,061	1,275	0,109	0,994	0,101	0,565	0,059
28	1,638	0,350	1,380	0,077	1,055	0,057	0,766	0,044

Fonte: Próprio autor (2022)

Os dados anotados para o traço 3 permitiu a plotagem da regressão linear, com a resistência à tração contida no eixo y em MPa e o tempo de cura no eixo x, registrado em dias. A Figura 4-4 traz a regressão do traço 3.

**Figura 4-4** - Resistência à tração na flexão para o traço 3 com o efeito da adição de fibra

Fonte: Próprio autor (2022)

Para o traço 3 sem nenhuma adição de fibras a classificação da norma o coloca na classe R3, já para o mesmo traço com a primeira e a segunda inserção de fibra a classificação é R2. Para a terceira adição de fibra, a classe de resistência é a R1.

#### 4.2.2 Resultado do ensaio de tração na flexão para variação do agregado miúdo

Através dos dados obtidos, observou-se também o comportamento da resistência à tração e à compressão para os diferentes traços considerando a quantidade de agregado miúdo, que no estudo em questão variou entre 6, 7 e 8 partes em relação ao volume utilizado na dosagem. Tal análise foi feita a partir dos dados obtidos aos 28 dias de cura. A Tabela 4-5 traz os dados obtidos para a análise da resistência à tração considerando as diferentes quantidades de agregado miúdo.

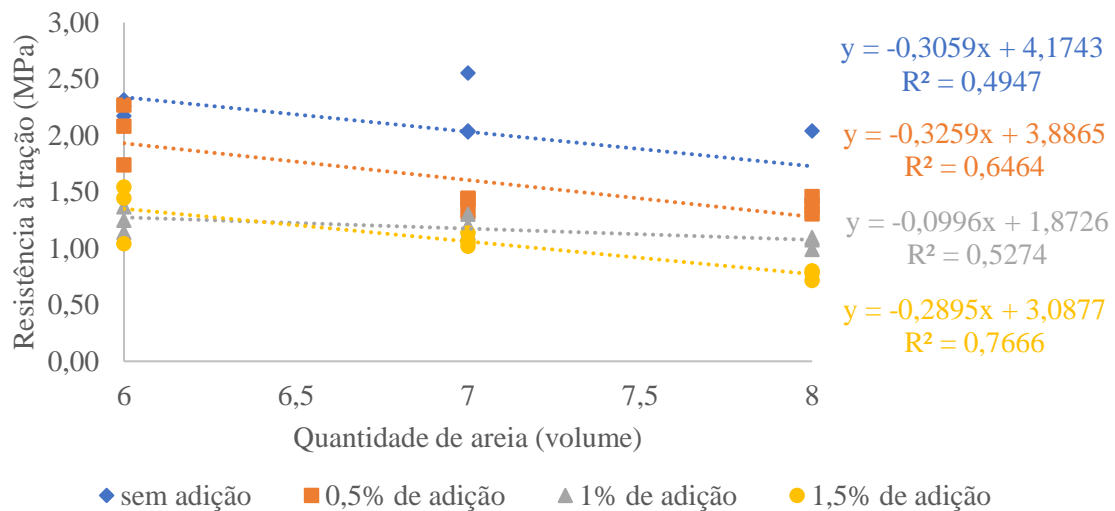
**Tabela 4-5** - Resistência à tração em função da quantidade de areia com o efeito da adição de fibra

Quantidade de areia	Sem adição		0,5% de adição		1% de adição		1,5% de adição	
	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão
6	2,250	0,071	2,032	0,269	1,255	0,113	1,345	0,266
7	2,210	0,298	1,403	0,067	1,215	0,084	1,073	0,060
8	1,638	0,350	1,380	0,077	1,055	0,057	0,766	0,044

Fonte: Próprio autor (2022)

Os dados permitiram a elaboração do gráfico de regressão linear, exposto na Figura 4-5, em que os valores de resistência estão no eixo y em MPa e os valores da quantidade de areia contida em cada traço está disposto no eixo x, em volume.

**Figura 4-5** - Resistência à tração em função da quantidade de areia com o efeito da adição de fibra



Fonte: Próprio autor (2022)

Considerando o primeiro nível de adição de fibras (0,5%) para o traço 1, a resistência à tração na flexão aos 28 dias sofreu um decréscimo em média de 8,06% se comparado ao traço referência 1 (2,25 MPa). Já o traço 2 registrou uma perda de resistência média na casa de 36,49% se comparado ao respectivo traço referência (2,21 MPa) e o traço 3 teve um decréscimo de 15,77% se comparado ao seu traço referência 3 (1,64 MPa).

Para o segundo nível de adição de fibras (1%), o traço 1 registrou uma perda média de 44,24% no valor da resistência à tração na flexão aos 28 dias, o traço 2 registrou perda de 45% e o traço 3 de 35,58% se comparados aos seus respectivos traços referência. Para o último nível de adição (1,5%) a perda de resistência média à tração aos 28 dias foi de 40,24%, 51,45% e 53,27% para o traço 1, traço 2 e traço 3, respectivamente.

#### 4.2.3 Resultado do ensaio de compressão para o efeito de adição de fibra

Para todos os traços, foi feito ainda os mesmos procedimentos para o rompimento a compressão. Para os ensaios de compressão, são ensaiados as duas metades de cada corpo de prova previamente ensaiado à tração. Dessa forma, para cada bloco foram feitos dois ensaios de

resistência à compressão, de forma que os dados obtidos dos ensaios de compressão foram o dobro dos dados registrados para a tração.

Para o traço 1, os dados obtidos nos ensaios de compressão estão expostos na Tabela 4-6.

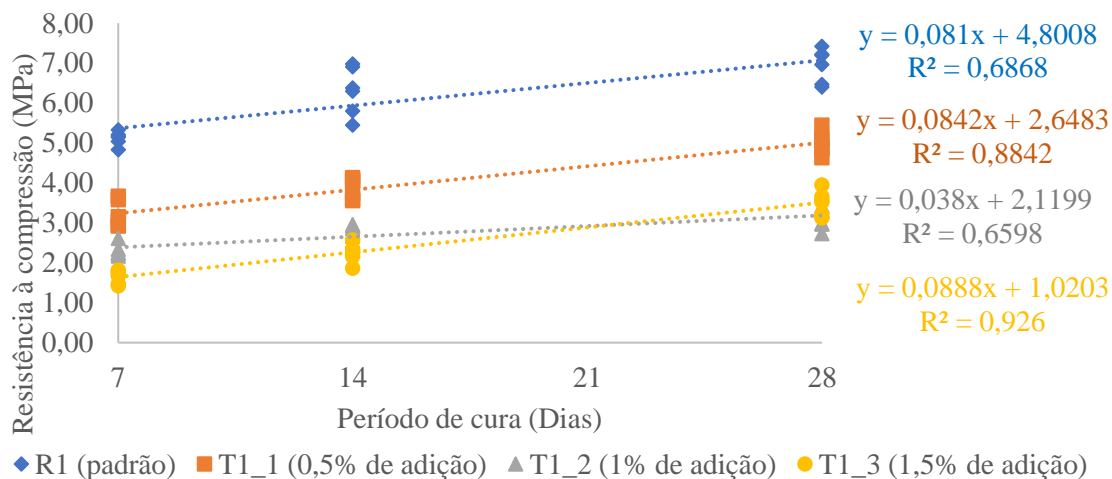
**Tabela 4-6** - Resistência à compressão para o traço 1 com o efeito da adição de fibra

Dias de cura	Referência		0,5% de adição		1% de adição		1,5% de adição	
	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão
7	5,122	0,169	3,219	0,327	2,256	0,223	1,652	0,165
14	6,304	0,600	3,857	0,261	2,848	0,116	2,248	0,233
28	6,946	0,422	4,997	0,280	3,120	0,265	3,512	0,302

Fonte: Próprio autor (2022)

Assim, com base nos dados obtidos, foi possível plotar a regressão linear da resistência à compressão para o traço 1. Os valores da resistência à compressão estão posicionados no eixo y em MPa e os prazos de cura estão no eixo x, em dias. A Figura 4-6 traz a regressão linear.

**Figura 4-6** - Resistência à compressão para o traço 1 com o efeito da adição de fibra



Fonte: Próprio autor (2022)

A classificação da norma como descrito no item 3.6.2.1 confere classes para as argamassas baseadas na resistência à compressão. Para o traço 1, o traço referência é classe P5. Para o traço com a primeira e a segunda inserção de fibra a classificação é P4 e para o último nível de adição, a classificação é P3.

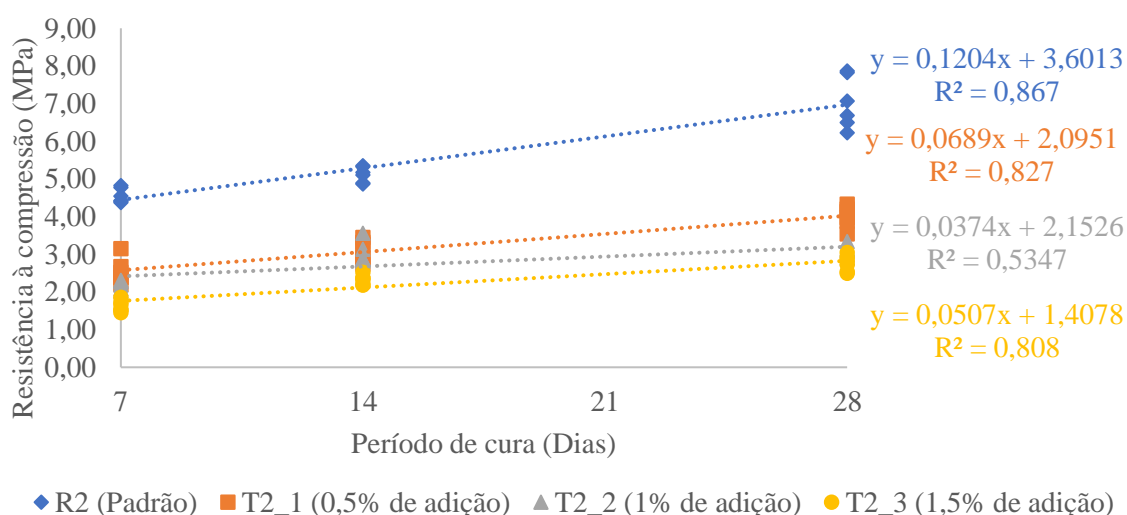
Em seguida, para o traço 2, a Tabela 4-7 demonstra os valores dos ensaios de compressão.

**Tabela 4-7** - Resistência à compressão para o traço 2 com o efeito da adição de fibra

Dias de cura	Referência		0,5% de adição		1% de adição		1,5% de adição	
	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão
7	4,556	0,197	2,551	0,332	2,188	0,116	1,625	0,154
14	5,117	0,207	3,099	0,283	3,017	0,287	2,325	0,127
28	7,028	0,689	4,010	0,281	3,087	0,151	2,759	0,218

Fonte: Próprio autor (2022)

Com base nos dados supracitados, a Figura 4-7 demonstra a regressão linear para os valores de resistência à compressão. Os valores da resistência estão no eixo y, em MPa e os intervalos de cura estão no eixo x, em dias.

**Figura 4-7** - Resistência à compressão para o traço 2 com o efeito da adição de fibra

Fonte: Próprio autor (2022)

Para o traço 2, o traço referência se classifica como P5, o traço com a primeira inserção de fibra está na classe P4 e os demais traços, com a segunda e a terceira inserção de fibras, se classificam como P3.

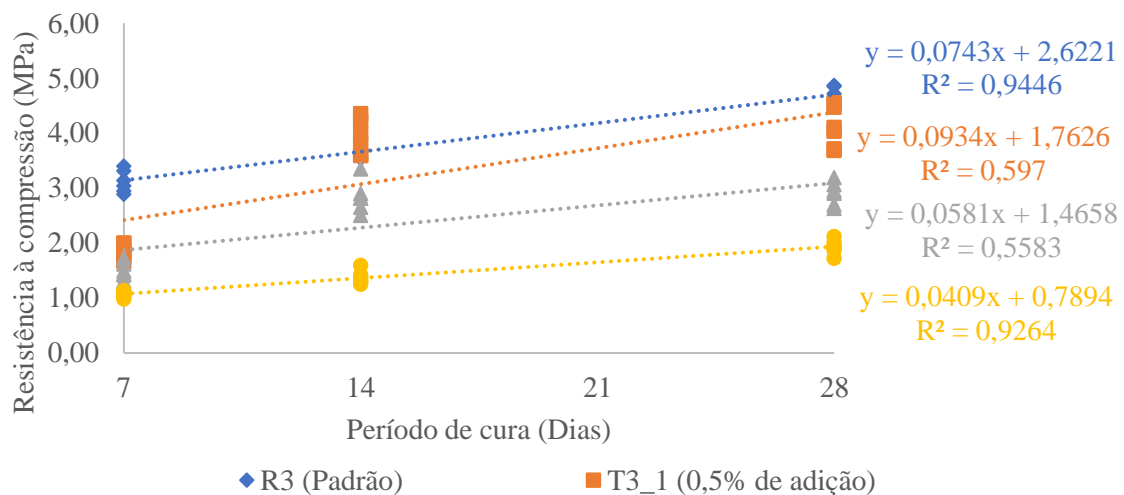
Finalmente, para o traço 3, os dados obtidos com os ensaios de compressão estão dispostos na Tabela 4-8.

**Tabela 4-8** - Resistência à compressão para o traço 3 com o efeito da adição de fibra

Dias de cura	Referência		0,5% de adição		1% de adição		1,5% de adição	
	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão
7	3,120	0,205	1,847	0,131	1,500	0,151	1,067	0,056
14	3,694	0,147	3,926	0,320	2,838	0,286	1,377	0,123
28	4,690	0,152	4,094	0,366	2,906	0,212	1,931	0,134

Fonte: Próprio autor (2022)

Os dados obtidos permitiram a plotagem da regressão linear para o traço 3, exposto na Figura 4-8. Nesse formato, a resistência está no eixo y em MPa e o prazo de cura está no eixo x, exposto em dias.

**Figura 4-8** - Resistência à compressão para o traço 3 com o efeito da adição de fibra

Fonte: Próprio autor (2022)

Para o traço 3, a resistência à compressão para o traço referência o coloca como classe P4, assim como o traço com primeira inserção de fibra. O traço com a segunda inserção de fibra está classificado como P3 e o traço com a última inserção de fibra está na classe P2.

Através dos dados observados nas regressões lineares, é possível notar que a resistência mecânica dos traços diminui gradativamente à medida em que se insere fibras nos traços. As resistências à tração e à compressão aumentou ao longo das idades de cura, quanto mais próximos dos 28 dias, mais resistente.

No tocante à resistência à compressão, o comportamento das argamassas estudadas também decaiu à medida em que a adição de fibras aumentou. Para o primeiro nível de adição

(0,5%), o valor médio de perda de resistência à compressão, aos 28 dias, foi de 28,06% para o traço 1 quando comparado ao respectivo traço referência (6,95 MPa), para o traço 2 a perda de resistência foi de 42,94% se comparada à resistência do traço referência 2 (7,03 MPa). Já para o traço 3 o decréscimo de resistência foi de 12,71% quando comparado ao seu respectivo traço referência (4,69 MPa).

Para o segundo nível de adição (1,0%) o traço 1 teve um decréscimo médio de 55,09%, o traço 2 sofreu um decréscimo médio de 56,06% e o traço 3 teve decréscimo médio de 38,04% se comparadas às resistências alcançadas por seus respectivos traços referência aos 28 dias de cura. Para o último nível de adição (1,5%) os valores de resistência à compressão aos 28 dias sofreram um decréscimo de 49,44%, 60,74% e 58,82% para o traço 1, traço 2 e traço 3 respectivamente.

Contudo, a perda de resistência ocasionada pela fibra foi considerável, mesmo aos 28 dias de cura. *Morais et al.* (2022) obtiveram resultados semelhantes ao estudarem a influência da adição de fibras em argamassa. Os autores constataram que a presença das fibras ocasionou uma perda significativa na resistência, podendo ser causada pela diferença entre a resistência muito inferior das fibras se comparadas aos agregados, ou pela dispersão das fibras pela matriz da argamassa.

Carvalho (2014) concluiu que a inserção de fibras provenientes do papel Kraft em argamassas promove a diminuição da resistência à tração na flexão, à compressão e também a diminuição dos valores do módulo de elasticidade. A autora atribuiu esse efeito à menor resistência mecânica das fibras se comparada aos outros materiais que compõe a argamassa, além do fato da inserção de fibras aumentar o índice de vazios presente na argamassa.

Assim, tal qual mostrado pela literatura, os valores obtidos de resistência tendem a ser menores se comparados aos traços de referência, onde não houve a inserção de fibras. Tal comportamento ficou evidenciado nos gráficos de regressão linear.

#### 4.2.4 Resultado do ensaio de compressão para variação do agregado miúdo

A mesma análise foi feita levando em consideração os valores obtidos no ensaio de compressão, que são demonstrados na Tabela 4-9.

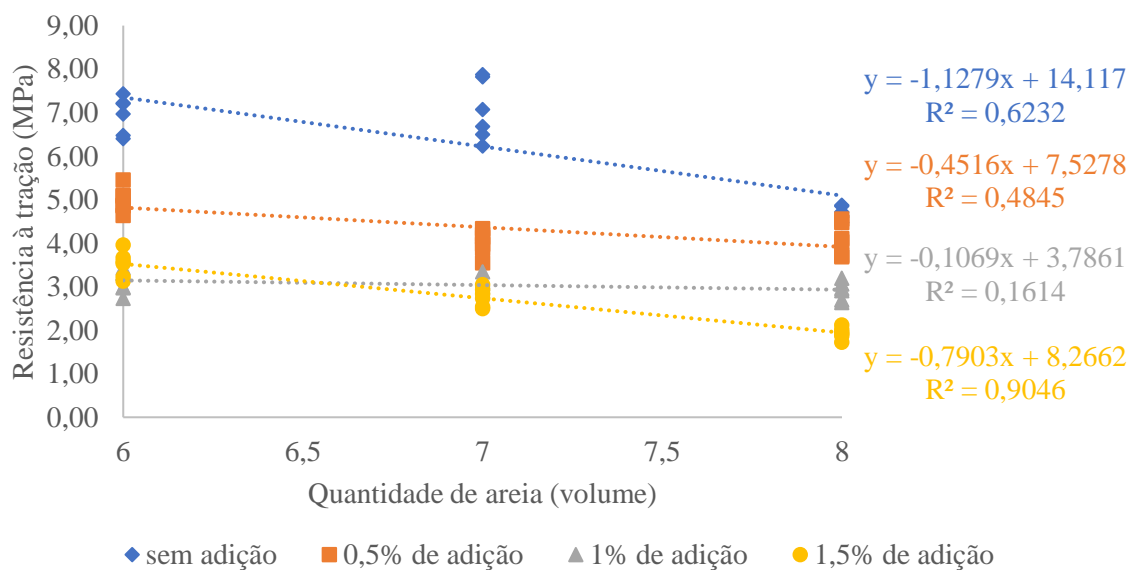
**Tabela 4-9** - Resistência à compressão em função da quantidade de areia com o efeito da adição de fibra

Quantidade de areia	Sem adição		0,5% de adição		1% de adição		1,5% de adição	
	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão	Média (MPa)	Desvio padrão
6	6,946	0,422	4,997	0,280	3,120	0,265	3,512	0,302
7	7,028	0,689	4,010	0,281	3,087	0,151	2,759	0,218
8	4,690	0,152	4,094	0,366	2,906	0,212	1,931	0,134

Fonte: Próprio autor (2022)

Através dos dados foi elaborado o gráfico de regressão linear onde o eixo y traz os valores da resistência em MPa e o eixo x demonstra a quantidade de areia empregada no traço, em volume. A Figura 4-9 demonstra a regressão linear em questão.

**Figura 4-9** - Resistência à compressão em função da quantidade de areia com o efeito da adição de fibra.



Fonte: Próprio autor (2022)

Com base na análise dos gráficos é possível notar que a variação da quantidade de areia é diretamente proporcional à resistência alcançada, pois quanto maior a quantidade de agregado miúdo, menor a resistência obtida aos 28 dias, tanto para o traço padrão quanto para os traços com adição de fibra.

Morais *et al.* (2022), obtiveram resultados parecidos ao encontrados nesse trabalho, salientando ainda que para traços mais ricos em aglomerantes, com menor proporção de agregado miúdo, a inserção de fibra mostrou resultados mais significativos no tocante às resistências à tração e à compressão.

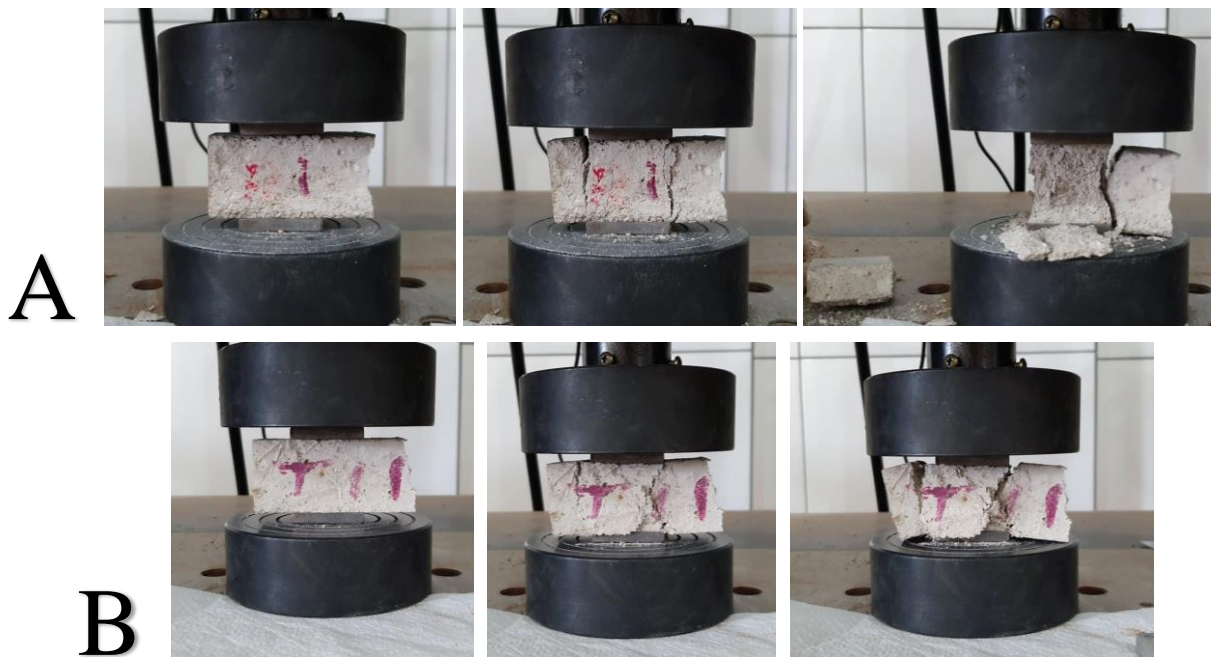
#### 4.2.4.1 Fissuração no ensaio de compressão

A inserção das fibras ocasiona à argamassa maior resistência à fissuração, como evidenciado por Carvalho (2014). Tal efeito foi evidenciado durante os ensaios de resistência à compressão, em que os blocos dos traços sem inserção de fibras sofriam ruptura em suas faces

com desprendimento de material, diferente dos traços com inserção de fibras de papel Kraft que, apesar da fissuração ocasionada pelo ensaio, não desagrega nenhuma de suas faces.

A Figura 4-10A traz o rompimento à compressão do traço padrão 1 (R1), e a Figura 4-10B demonstra o traço 1 com 0,5% de inserção de fibra (T1\_1) na realização do mesmo ensaio.

**Figura 4-10** - Ruptura de blocos submetidos à compressão para o traço R1 (A) e T1\_1 (B)



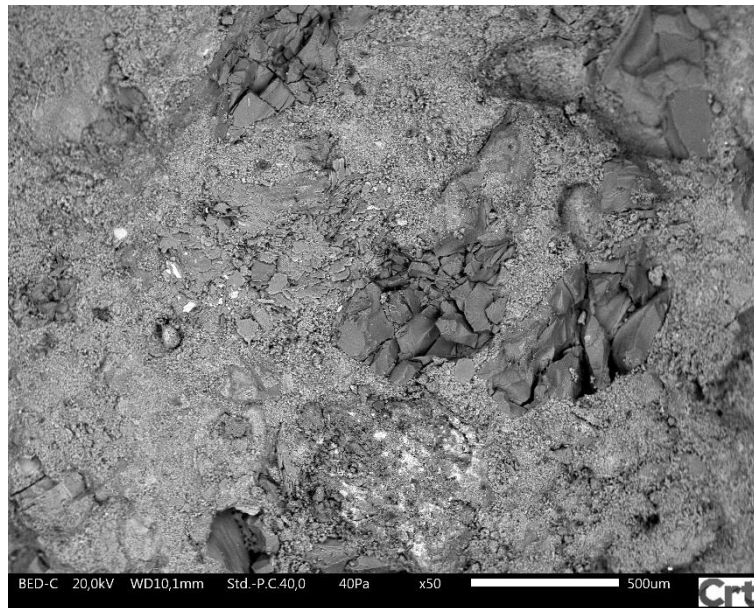
Fonte: Próprio autor (2022)

Para explicar com mais detalhes o efeito causado pela fibra na fissuração, foi realizado o ensaio de microscopia eletrônica de varredura, através de um equipamento microscópico com capacidade de ampliação de até 2000 vezes.

Dedavid, Gomes e Machado (2007) descrevem o ensaio de microscopia eletrônica de varredura como a incidência de um feixe de elétrons sobre uma superfície, através de linhas sucessivas, que transmitem o sinal diretamente pra um visor catódico que define uma imagem ampliada da superfície, permitindo observar de forma detalhada os componentes que compõe tal superfície.

As imagens a seguir foram produzidas através de um microscópio eletrônico de varredura do Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTI) da Universidade Federal de Goiás. A Figura 4-11 traz a matriz do traço R1, aumentada em 50 vezes. A matriz sem fibra possui menos resistência à abertura de fissuras se comparada aos traços com incorporação de fibra.

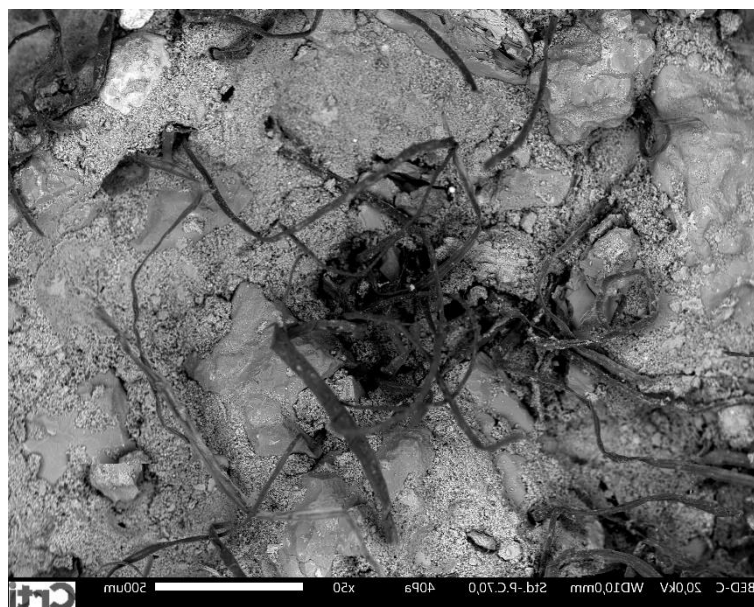
**Figura 4-11** - Matriz do traço R1 aumentada em 50 vezes



Fonte: Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (2022)

Já a Figura 4-12 demonstra a matriz do traço T1\_1, ampliada também em 50 vezes, que foi fabricado com inserção de 0,5% da massa seca total do traço de fibra de papel Kraft. A ligação entre a matriz da argamassa e a fibra proporciona maior resistência à abertura de fissuras, ocasionada pela resistência à tração e a ductilidade das fibras de papel Kraft

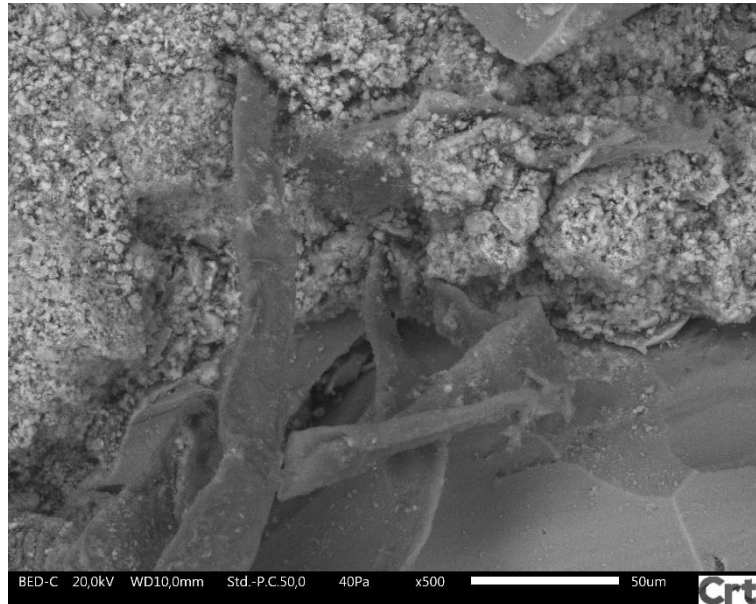
**Figura 4-12** - Matriz do traço T1\_1 aumentada em 50 vezes



Fonte: Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (2022)

A ligação entre a fibra e a matriz da argamassa proporciona ao traço a capacidade de não se desagregar quando na abertura de uma fissura, uma vez que as fibras mantêm unidas as partes da matriz que se separaram pela fissuração. Uma imagem mais ampliada mostra a inserção das fibras dentro da matriz da argamassa, como pode ser visto na Figura 4-13.

**Figura 4-13** - Matriz do traço T1\_1 aumentado em 500 vezes



Fonte: Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (2022)

Através do aumento da imagem da matriz do traço T1\_1 em 500 vezes é possível notar a inserção das fibras na matriz da argamassa, que confere ao traço as características que permitem maior resistência à abertura de fissuras, como foi perceptível na realização dos ensaios de compressão, que levaram os blocos à destruição.

#### **4.2.5 Resultado do ensaio de absorção por capilaridade**

O ensaio de absorção por capilaridade foi realizado com medição aos 10 minutos e aos 90 minutos. A Tabela 4-10 traz os dados obtidos nas medições a 10 minutos para três corpos de prova em cada traço.

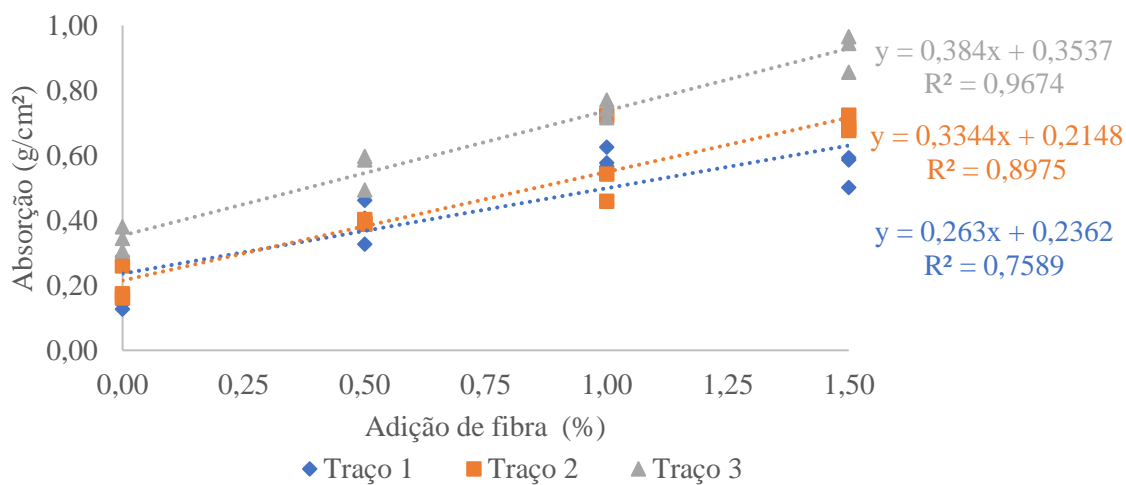
**Tabela 4-10** - Absorção de água de cada traço para o efeito da adição de fibra aos 10 minutos de ensaio

Quantidade de fibra	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Média (g/cm <sup>2</sup> )	desvio padrão	Média (g/cm <sup>2</sup> )	desvio padrão	Média (g/cm <sup>2</sup> )	desvio padrão
0,0%	0,1856	0,0891	0,1983	0,0533	0,3433	0,0372
0,5%	0,3981	0,0679	0,3940	0,0076	0,5585	0,0569
1,0%	0,5898	0,0315	0,5746	0,1348	0,7429	0,0272
1,5%	0,5600	0,0510	0,6954	0,0254	0,9219	0,0583

Fonte: Próprio autor (2022)

A partir dos dados obtidos foi elaborada a regressão linear levando em consideração a absorção de cada traço a partir da quantidade de fibra inserida, no eixo y está demonstrada a absorção em g/cm<sup>2</sup> e no eixo x estão os valores das adições de fibra em porcentagem de massa seca. A Figura 4-14 traz o gráfico de regressão.

**Figura 4-14** - Absorção de água de cada traço para o efeito da adição de fibra aos 10 minutos de ensaio



Fonte: Próprio autor (2022)

Foram realizados ainda as medições para o tempo de 90 minutos, para seguir o recomendado pela norma. A Tabela 4-11 traz os dados obtidos para todos os traços na medição de 90 minutos.

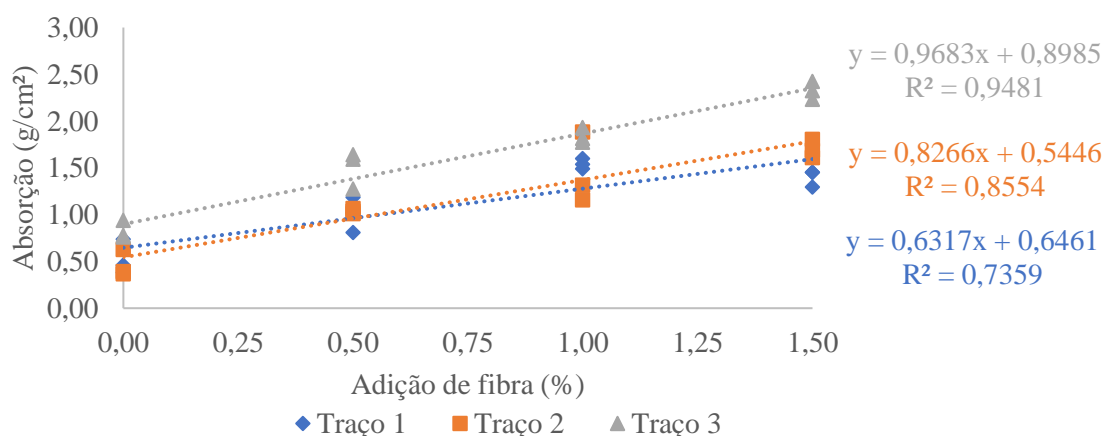
**Tabela 4-11** - Absorção de água de cada traço para o efeito da adição de fibra aos 90 minutos de ensaio

Quantidade de fibra	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Média (g/cm <sup>2</sup> )	desvio padrão	Média (g/cm <sup>2</sup> )	desvio padrão	Média (g/cm <sup>2</sup> )	desvio padrão
0,0%	0,5277	0,1867	0,4633	0,1448	0,8265	0,0982
0,5%	1,0058	0,1887	1,0388	0,0277	1,5038	0,1979
1,0%	1,5450	0,0551	1,4535	0,3809	1,8410	0,0824
1,5%	1,4008	0,0911	1,7027	0,0989	2,3279	0,0950

Fonte: Próprio autor (2022)

Para a medição realizada a 90 minutos, também foi elaborada a regressão linear para os traços analisados, a representação é como na Figura 4-15. No eixo y estão os valores de absorção, expresso em g/cm<sup>2</sup> e no eixo x estão os valores de adição de fibras, em porcentagem sobre a massa seca da argamassa.

**Figura 4-15** - Absorção de água de cada traço para o efeito da adição de fibra aos 90 minutos de ensaio



Fonte: Próprio autor (2022)

A absorção de água por capilaridade aumentou à medida em que a fibra foi adicionada. Para o traço 1 houve um aumento de 90,60% para o primeiro nível de adição, 192,78% para o segundo nível e 165,45% para o terceiro nível de adição de fibras, quando comparadas com a absorção do traço referência 1 (0,528 g/cm<sup>2</sup>). Para o traço 2 o aumento foi de 124,22% no primeiro nível de adição de fibra, no segundo nível de adição o aumento foi de 213,73% e no terceiro nível de adição o aumento foi de 267,51%, comparadas à respectiva referência (0,463 g/cm<sup>2</sup>).

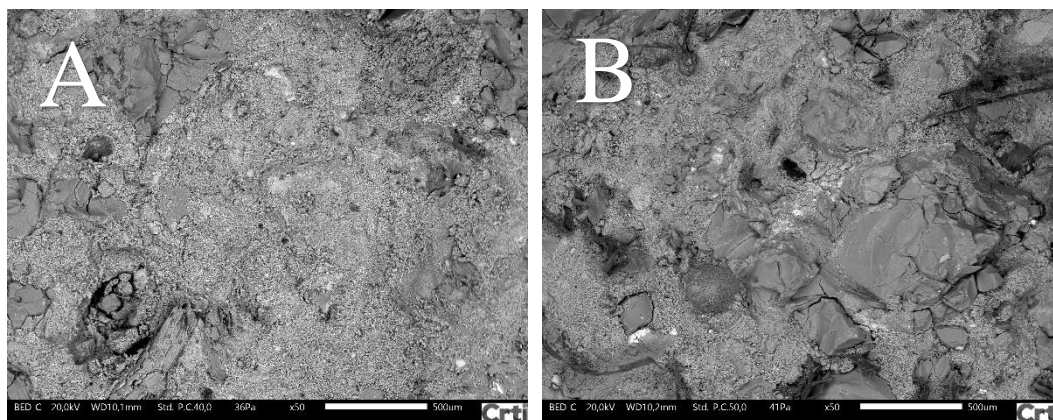
Ainda para a absorção de água por capilaridade, para o traço 3 houve um aumento de 81,95% da absorção no primeiro nível de adição de fibra, no segundo nível de adição o aumento foi de 122,75% e para o terceiro e último nível de adição o aumento foi de 181,66%. Para o cálculo

da absorção por capilaridade média, foram utilizados os dados medidos após 90 minutos do início do ensaio.

Os valores medidos na absorção de água por capilaridade foram mais altos à medida em que se adicionou fibras aos traços. Tal comportamento era esperado, visto que a inserção das fibras aumenta os vazios na matriz da argamassa. Resultado semelhante foi previsto por Silva *et al.* (2005), que concluíram que a quantidade de vazios na argamassa influi diretamente na percolação da água, aumentando por sua vez a absorção de água por capilaridade.

A Figura 4-16A demonstra a matriz do traço de argamassa sem inserção de fibras. Já a Figura 4-16B demonstra a matriz do traço de argamassa com inserção de fibra. Com base na comparação entre as imagens é possível perceber o quanto a matriz com inserção de fibra possui mais vazios se comparado ao traço sem inserção. A quantidade maior de vazios permite que a água percole com mais facilidade na argamassa, conferindo assim maior absorção por capilaridade aos traços com inserção de fibra.

**Figura 4-16 -** Matriz do traço sem inserção de fibra (A) e para o traço com 0,5% de fibra (B)



Morais *et al.* (2021) também observaram a absorção de água por capilaridade em traços com a presença de fibra e concluiu que o aumento das fibras está diretamente ligado ao aumento da quantidade de água absorvida por capilaridade. Os autores justificaram tal comportamento pelo aumento na quantidade de vazios da matriz causados pela inserção das fibras no traço da argamassa.

Para os traços analisados, o aumento na quantidade de água absorvida foi linear em relação à quantidade de fibra, sendo que os traços com inserção de 1,5% de fibra tiveram os maiores valores de absorção, corroborando assim o que foi descrito pela literatura.

#### 4.2.6 Resultado do ensaio de densidade no estado endurecido

Para o ensaio de densidade no estado endurecido, levou-se em consideração os corpos de prova com 28 dias de cura. As densidades medidas estão dispostas na Tabela 4-12.

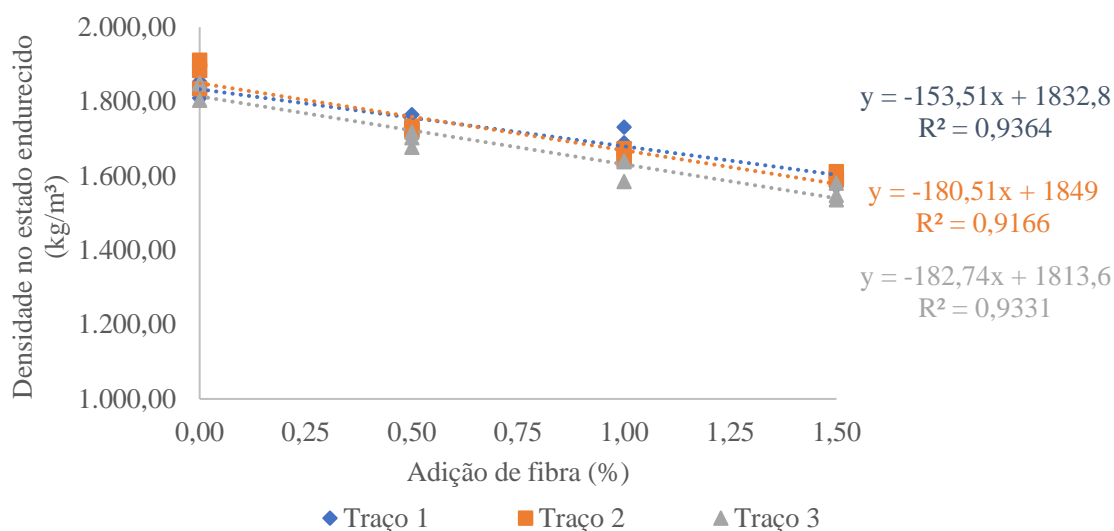
**Tabela 4-12** - Densidade de cada traço no estado endurecido para o efeito da adição de fibra

Quantidade de fibra	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Média (kg/m <sup>3</sup> )	desvio padrão	Média (kg/m <sup>3</sup> )	desvio padrão	Média (kg/m <sup>3</sup> )	desvio padrão
0	1.834,86	22,84	1.875,79	39,06	1.832,80	26,03
0,5	1.744,79	18,17	1.725,55	06,39	1.698,62	20,56
1,0	1.695,52	32,12	1.654,80	15,83	1.620,42	31,22
1,5	1.595,44	21,18	1.598,52	10,71	1.554,30	23,13

Fonte: Próprio autor (2022)

A partir desses dados, foi possível plotar o gráfico de regressão linear para a densidade em estado endurecido. Na análise em questão, o eixo y contemplou o valor da densidade em kg/m<sup>3</sup> e no eixo x a adição de fibras em porcentagem em relação à massa seca. A Figura 4-17 demonstra o gráfico de regressão linear para a densidade em estado endurecido.

**Figura 4-17** - Densidade de cada traço no estado endurecido para o efeito da adição de fibra



Fonte: Próprio autor (2022)

Ao analisar a densidade, é possível notar que tal parâmetro diminui linearmente à medida em que a quantidade de fibra presente no traço aumenta. Para o traço 1 a densidade diminuiu 4,90% após a primeira inserção de fibra (0,5%) se comparada ao traço referência (1.834,86 kg/m<sup>3</sup>), já o traço 2 teve uma diminuição média de 8,00% quando comparado ao traço referência

2 (1.875,79 kg/m<sup>3</sup>) e o traço 3 teve uma densidade medida 7,31%, em comparação ao respectivo traço referência (1832,81 kg/m<sup>3</sup>).

Para o segundo nível de inserção de fibras (1,0%), a redução na densidade quando comparada aos traços de referência foi ainda maior. Para o traço 1, houve redução de 7,57%, para o traço 2 a diminuição foi de 11,78% e para o traço 3 a redução média foi de 11,62%. Para o último nível de adição (1,5%) o traço 1 teve uma redução média de 13,08% na densidade, comparando ao traço referência. Já para o traço 2 a densidade média medida foi 14,76% menor do que o valor para o respectivo traço de referência, por fim, para o traço 3 a densidade medida foi 15,22% menor do que o mesmo traço sem adição de fibra.

Alves *et al.* (2021) destacaram que a densidade da argamassa com adição de fibras tende a diminuir, por conta do aumento no índice de vazios na matriz da argamassa aliado à baixa densidade da fibra em si, quando comparada aos aglomerantes e agregado utilizado na argamassa. Tal comportamento também foi observado por Morais *et al.* (2022) e Carvalho (2014).

Assim, como observado no gráfico de regressão contido na Figura 4-12, a densidade medida para os traços decaiu à medida em que se aumentou a quantidade de fibra incorporada ao traço, tal comportamento está de acordo com a literatura.

#### 4.2.7 Resultado do ensaio de aderência

Para o ensaio de aderência, foram analisados 4 corpos de prova para cada traço. A Tabela 4-13 traz os resultados de aderência de cada um dos corpos de prova ensaiados para os diferentes traços.

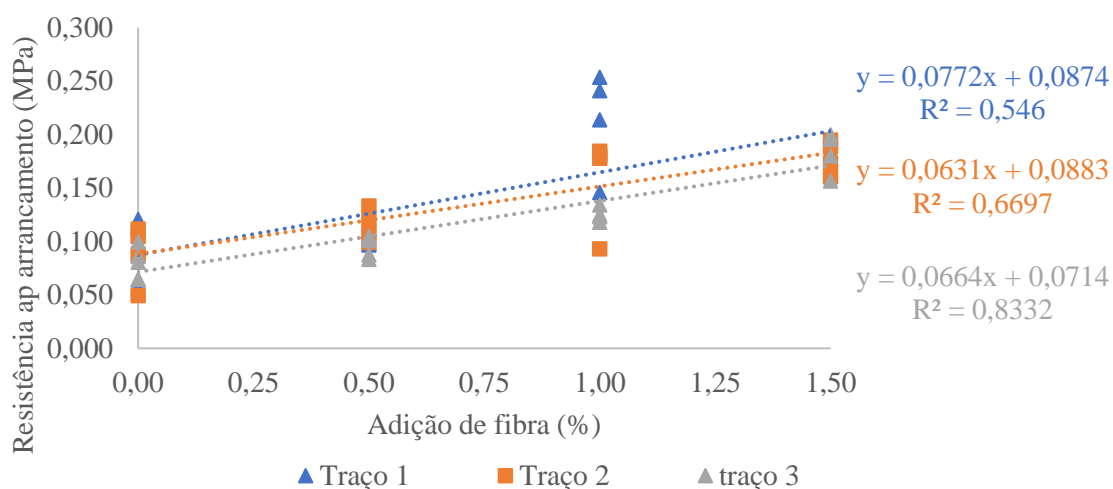
**Tabela 4-13** - Resistência ao arrancamento de cada traço com o efeito da adição de fibra

Quantidade de fibra	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Média (MPa)	desvio padrão	Média (MPa)	desvio padrão	Média (MPa)	desvio padrão
0,0%	0,082	0,029	0,089	0,028	0,083	0,015
0,5%	0,110	0,015	0,116	0,015	0,094	0,010
1,0%	0,214	0,048	0,159	0,044	0,125	0,007
1,5%	0,176	0,017	0,179	0,016	0,183	0,020

Fonte: Próprio autor (2022)

Com base nos dados obtidos, foi possível plotar o gráfico da regressão linear para a resistência ao arrancamento. A Figura 4-18 demonstra o gráfico da regressão linear, sendo que o eixo y contempla os valores da resistência ao arrancamento em MPa e o eixo x contempla as adições de fibra em porcentagens sobre a massa seca.

**Figura 4-18** - Resistência ao arrancamento de cada traço com o efeito da adição de fibra



Fonte: Próprio autor (2022)

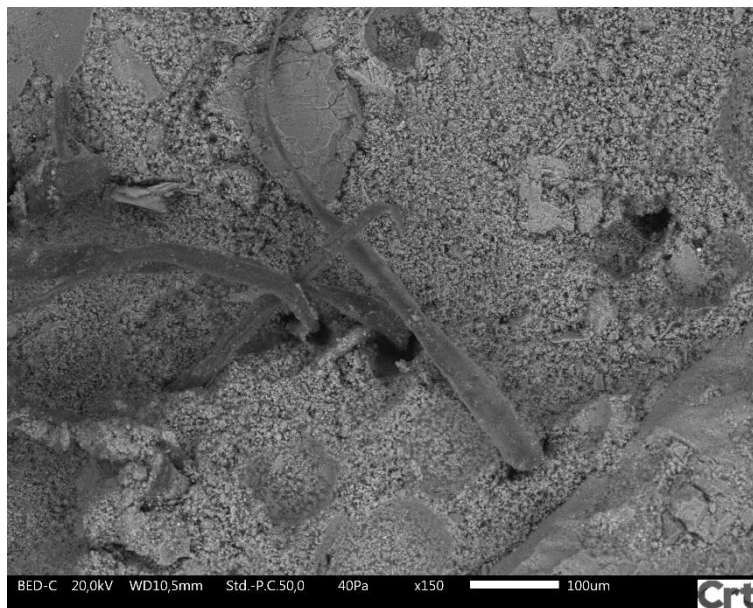
Na resistência ao arrancamento, a inserção de fibra nos traços trouxe ganhos de resistência. Para o traço 1, houve um ganho de 33,78% na resistência ao arrancamento para a inserção de 0,5% de fibra, já para o traço com inserção de 1,0% de fibra o incremento à resistência ao arrancamento foi em média 160,49% e para o traço com inserção de 1,5% de fibra, houve um incremento de 114,63%. Todas essas porcentagens foram obtidas a partir do valor médio de resistência do traço referência 1 (0,082 MPa).

No traço 2 as medições mostraram um incremento médio de 30,85% para o primeiro nível de adição de fibra (0,5%), para o segundo nível de adição (1,0%) o aumento na resistência ao arrancamento foi de 79,44% e para o último nível de adição de fibras (1,5%) o acréscimo foi de 102,71%.

No traço 3 os valores de resistência ao arrancamento tiveram um acréscimo de 13,90% para o primeiro nível de adição de fibra (0,5%), 51,15% de acréscimo para o segundo nível de fibra (1,0%) e 121,52% para o terceiro nível de adição de fibra (1,5%).

A inserção das fibras de papel Kraft contribuiu para melhorar a resistência à abertura de fissuras nos traços de argamassa, uma vez que a ligação entre a fibra e a matriz da argamassa propicia maior resistência à tração em tais pontos. A Figura 4-19 demonstra a matriz do traço T1\_1, aumentada em 150 vezes, com destaque para as zonas de ligação entre as fibras e a matriz da argamassa. A imagem foi retirada do ensaio de microscopia eletrônica de varredura, descrito em detalhes no item 4.2.4.1

**Figura 4-19** - Matriz do traço T1\_1 aumentada em 150 vezes



Fonte: Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (2022)

Tal interação entre a fibra e a matriz de argamassa endurecida propicia maior resistência ao arrancamento, uma vez que o traço está menos suscetível a abertura de fissuras. Além disso, a ancoragem das fibras em contato com a superfície da argamassa confere a essa pontos de mais resistência à tração, resultando em bons resultados quando a argamassa com fibras é submetida aos ensaios de arrancamento.

Carvalho (2014) concluiu que os efeitos da inserção de fibras de papel Kraft em argamassa, no tocante à resistência à aderência, são significativos. Sendo que no estudo em questão, os traços com substituição de 7% da areia por fibra (em massa) tiveram resultados de resistência ao arrancamento até 218% superiores se comparados ao traço referência.

Tal resultado foi observado através da análise de regressão linear, que demonstrou um acréscimo de resistência ao arrancamento à medida em que se adicionou fibra ao traço. Sendo que para os traços com 1% de adição de fibras, foram observados os maiores valores de resistência ao arrancamento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição das fibras na argamassa conferiu à mesma algumas alterações significativas em suas propriedades. Em termos da argamassa no estado fresco a inserção da fibra conferiu um aumento na consistência e, conseqüentemente, diminuiu a trabalhabilidade. A densidade da argamassa diminuiu tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, uma vez que a fibra possui uma massa unitária menor do que os outros componentes utilizados nos traços e assim, diminui a densidade da matriz.

A absorção por capilaridade aumentou a medida em que se adicionou fibras à mistura. Tal comportamento está de acordo com a literatura e é explicada pelo aumento de vazios ocasionado pela inserção de fibras nos traços. No tocante à resistência mecânica a fibra conferiu menor resistência em todos os parâmetros, em todas as idades estudadas. Quanto mais fibra adicionada aos traços, menor foi a resistência registrada, se tornando um aspecto negativo em relação à inserção da fibra de papel Kraft nas argamassas estudadas

Em relação a resistência ao arrancamento, a fibra conferiu à argamassa resultados significativamente melhores, uma vez que as fibras possuem boa resistência à tração. O crescimento da resistência foi linear ao acréscimo de fibras, com resultados melhores de resistência para os traços com maior adição das fibras de papel Kraft.

O traço T1\_1 atingiu bons resultados quando comparado ao traço padrão R1, uma vez que houve melhorar nos parâmetros de arrancamento e densidade e a perda de resistência não foi tão alta quanto a registrada nos demais traços.

Por fim, é necessário que se estude outros traços e outras composições de argamassas para entender melhor o comportamento ocasionado pela adição de fibras de papel Kraft. . Moraes *et al.* (2022) concluíram em seu trabalho que para traços com menor proporção de agregado miúdo, com traço de 1:3 de cimento e areia, foi possível obter um pequeno ganho de resistência quando a adição de fibra foi de 0,5% da massa de matéria seca. Contudo, para os demais traços houve piora nas resistências observadas.

Para trabalhos futuros poderão ser estudados traços mais ricos em cimento e, portanto, com menor adição de areia, visando alcançar melhores valores de resistência mecânica ou ainda traços de argamassa com inserção de plastificantes que permitam reduzir a quantidade de água adicionada aos traços.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L. S.; PEREIRA, F. T. M.; PEREIRA, C. H. A. F. **Estudo da interferência de adição de fibras Kraft em argamassas.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 3, p. 26259-26272, 2021.
- ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Edurado; JOHN, Vanderley Moacyr. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** São Paulo: SP, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Guia básico de utilização do cimento portland.** Boletim Técnico 106. 8ª ed., 28 p. São Paulo, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005b. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005d. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005f. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005a. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-3**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2019. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005e. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional. Rio de Janeiro, 2005. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Classificação granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência, Rio de Janeiro, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos em argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 2019. 15 p.

- BELTRÁN, M. G. S. **Ductile cement-based composites with Wood fibers: material design and experimental approach.** Dissertação de mestrado em Engenharia – Universidade Nacional Autónoma de México, Cidade do México, 2011.
- BRASIL. 2002. **Resolução CONAMA n.º 307 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil de 17 de julho de 2002.
- BRASIL. Lei no 12.305 de 02 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF. 2 ago. 2010.
- BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: **reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Cerâmica, v. 61, p. 178-189, 2015.
- CARASEK, H. **Argamassas - Materiais de Construção Civil, 2ªed,** IBRACON, v 1, p 885-936. São Paulo – SP, 2010.
- CARVALHO, P. E. F. **Estudo das propriedades e do desempenho de argamassas de assentamento com fibras de papel Kraft.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Goiás, 189 p. 2014.
- CARVALHO, P. E. F.; CINTRA, C.; CARASEK, H. **Argamassas com fibras de celulose provenientes de embalagens de cimento e de cal.** In: ENTAC, Anais..., Juiz de Fora – MG, 2012.
- CARVALHO, P. E. F.; SANTOS, L. R.; CARASEK, H. **Prática sustentável na construção civil por meio do reuso de sacos de cimento e de cal na produção e melhoria de argamassas de assentamento.** In: Prêmio Odebrecht para o desenvolvimento sustentável: livro comemorativo 2011: compilação dos melhores projetos. Rio de Janeiro, 2012.
- CENTOFANTE, G.; DAGOSTINI, C. M. **Análise das propriedades de argamassas de revestimento com adição de fibras de polipropileno.** Unoes & Ciência, ACET, Edição Especial, p 7-19, Joaçaba – SC, 2014.

- DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras.** – Porto Alegre. EDIPUCRS, 2007.
- FANG, J. M.; SUN R. C.; FOWLER, P. **Acetylation of wheat straw hemicelluloses B in a new non-aqueous swelling system.** Carbohydrate Polymers. v.41, p 379-287. 2000.
- FARIAS, R. L. **Estudo da correlação entre propriedades ópticas e mecânicas do papel Kraft variando o número kappa.** Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais. Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR, 2015.
- GEAR TECH BRASIL. **Papel Kraft: como é feito e para que serve.** Disponível em: <<https://geartechbr.com.br/papel-kraft-como-e-feito-e-para-que-serve/>>. Acesso em: 18 de jul. de 2022.
- GIRARDI, A. C. C. **Avaliação da substituição total de areia natural por RCD em revestimentos de argamassa.** 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- GUIMARÃES, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental.** Porto Alegre - RS: EDIPUCRS, 2009. 163 p.
- ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2017.
- KARPINSK, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; KUREK, J. PANDOLFO, L.; GUIMARÃES, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental.** Porto Alegre - RS: EDIPUCRS, 2009. 163 p.
- MARQUES NETO, J. C. **Diagnóstico para estudo de gestão dos resíduos de construção e demolição do município de São Carlos-SP.** Dissertação de mestrado em Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 2003. 155p.
- MORAES NETO, S. P.; TELES, R. F.; RODRIGUES, T. O. **Caracterização da madeira de cinco procedências de Pinus tecunumanii implantadas no cerrado do DF.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento – Embrapa, v. 233, 23 p., 2009. ISSN 1676 – 918X.

- MORAIS, C. D. N.; DA CRUZ, W. M.; MORAIS, M. V. A.; LOUZADA, R. P.; MENDES, P. R. L. **Reforço de argamassas com fibras de papel Kraft reaproveitadas de embalagens de cimento.** Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 3, p. 21566-21582, 2022.
- MURPHY, J. D.; MCCARTHY, K. **Ethanol production from energy crops and wastes for use as a transport fuel in Ireland,** Applied Energy, Elsevier, vol. 82(2), pages 148-166, 2005.
- OLIVEIRA, Fabriccio de Almeida *et al.* **Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM.** Ambiente Construído, v. 20, p. 157-176, 2020.
- PAGNUSSAT, D. T.; MASUERO, A. B. **Avaliação da aderência de revestimentos de argamassa aplicados em substratos cerâmicos com diferentes condições superficiais.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, v. 9, 2011.
- SALES, A. T. C. **Retração, Fluência e fratura em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação da PUC-Rio, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro – RJ, 2006.
- SANTOS, E. F. **Efeito de agentes de acoplamento em compósitos de polipropileno com fibras de coco.** Dissertação de mestrado em Química – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2007.
- SAVASTANO, H. J. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** Tese de livre docência – Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000. 152 p.
- SAVASTANO, H. J. **Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito.** Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1992. 209p.
- SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 2002. 128 p.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO – **Relatório Setorial – Balanço 2021**. São Paulo – SP, 12 de janeiro de 2022.

SOUSA, J. G. G.; BAUER, E. **Contribuição ao estudo da trabalhabilidade das argamassas mistas**. ResearchGate, v. 4, p. 279-289, 2003.

### APÊNDICE A – Cronograma dos ensaios de resistência mecânica.

A Tabela A-1 demonstra o cronograma dos ensaios mecânicos realizados para cada traço, com a data da moldagem, a quantidade de fibra adicionada ao traço e a relação água/cimento, além da data de realização dos ensaios para cada tempo de cura, aos 7, 14 e 28 dias.

**Tabela A-1** - Calendário de moldagem e execução dos ensaios de resistência mecânica

<b>Ident.</b>	<b>Traço</b>	<b>adição</b>	<b>A/c</b>	<b>moldagem</b>	<b>7 dias</b>	<b>14 dias</b>	<b>28 dias</b>
R1	1:2:6	-	1,75	20/out	27/out	03/nov	17/nov
R2	1:2:7	-	1,80	18/out	25/out	01/nov	15/nov
R3	1:2:8	-	2,00	22/out	29/out	05/nov	19/nov
T1_1	1:2:6	0,5%	1,75	25/out	01/nov	08/nov	22/nov
T2_1	1:2:7	0,5%	1,80	27/out	03/nov	10/nov	24/nov
T3_1	1:2:8	0,5%	2,00	29/out	05/nov	12/nov	26/nov
T2_1	1:2:6	1,0%	1,75	01/nov	08/nov	15/nov	29/nov
T2_2	1:2:7	1,0%	1,80	03/nov	10/nov	17/nov	01/dez
T2_3	1:2:8	1,0%	2,00	05/nov	12/nov	19/nov	03/dez
T3_1	1:2:6	1,5%	1,75	08/nov	15/nov	22/nov	06/dez
T3_2	1:2:7	1,5%	1,80	10/nov	17/nov	24/nov	08/dez
T3_3	1:2:8	1,5%	2,00	12/nov	19/nov	26/nov	10/dez

Fonte: Próprio autor (2021)

### APÊNDICE B – Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão.

Os dados de resistência obtidos nos experimentos de resistência à tração na flexão para cada traço estão dispostos nas tabelas a seguir. Foram ensaiados 3 corpos de prova para cada um dos traços para todas as idades de cura. A Tabela B-1 traz os dados para o traço 1.

**Tabela B-1** - Resistência à tração na flexão para o traço 1 com os respectivos efeitos da adição de fibras

Dias	Corpo de prova	Resistência (MPa)			
		R1	T1_1	T1_2	T1_3
7	1	1,6055	1,3573	0,9708	0,7760
	2	1,9228	1,4358	0,8262	0,9614
	3	1,8977	1,3008	0,7477	0,8105
14	1	2,3154	1,7280	1,2220	1,0870
	2	2,0925	1,3636	1,1311	0,9677
	3	1,9038	1,5080	1,1435	0,8829
28	1	2,2580	1,7405	1,1435	1,4452
	2	2,3168	2,2716	1,2504	1,5457
	3	2,1757	2,0829	1,3699	1,0430

Fonte: Próprio autor (2021)

A Tabela B-2 traz os dados obtidos para o traço 2.

**Tabela B-2** - Resistência à tração na flexão para o traço 2 com os respectivos efeitos da adição de fibras

Dias	Corpo de prova	Resistência (MPa)			
		R2	T2_1	T2_2	T2_3
7	1	1,6526	1,1813	0,7666	0,7854
	2	1,2410	0,9551	0,8262	0,7132
	3	1,7562	0,9363	0,7289	0,5719
14	1	1,7123	1,2851	1,2347	0,9237
	2	1,5771	1,2033	1,1813	0,8452
	3	1,7531	1,0620	1,1374	0,8325
28	1	2,5542	1,3259	1,3045	1,0596
	2	2,0327	1,4388	1,1386	1,1381
	3	2,0421	1,4452	1,2028	1,0207

Fonte: Próprio autor (2021)

A Tabela B-3 traz os dados obtidos para o traço 3.

**Tabela B-3** - Resistência à tração na flexão para o traço 3 com os respectivos efeitos da adição de fibras

<b>Dias</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>Resistência (MPa)</b>			
		<b>R3</b>	<b>T3_1</b>	<b>T3_2</b>	<b>T3_3</b>
7	1	1,0650	0,7823	0,5719	0,3488
	2	0,9802	0,6942	0,5372	0,5341
	3	0,8796	0,8231	0,7099	0,4399
14	1	1,3069	1,1498	0,9677	0,5023
	2	1,2881	1,3479	0,9080	0,6183
	3	1,1939	1,3259	1,1058	0,5747
28	1	1,4339	1,4604	1,0770	0,8016
	2	1,4388	1,3716	1,0980	0,7167
	3	2,0421	1,3073	0,9909	0,7784

Fonte: Próprio autor (2021)

### APÊNDICE C – Resultados dos ensaios de resistência à compressão.

Os dados de resistência obtidos nos experimentos de resistência à compressão para cada traço estão dispostos nas tabelas a seguir. Foram ensaiados 3 corpos de prova para cada traço para todas as idades de cura, sendo que para um deles faz-se o ensaio nas duas metades dos corpos de prova previamente rompidos nos ensaios de tração na flexão. A Tabela C-1 traz os dados obtidos para os ensaios de compressão para o traço 1.

**Tabela C-1** - Resistência à compressão para o traço 1 com os respectivos efeitos da adição de fibras

Dias	Corpo de prova	Resistência (MPa)			
		R1	T1_1	T1_2	T1_3
7	1	5,1675	3,6675	2,6100	1,4288
	1"	4,8350	3,5794	2,3425	1,7981
	2	5,1494	3,1613	2,1719	1,6794
	2"	5,0419	3,0506	1,9269	1,8181
	3	5,2106	2,9306	2,2325	1,4731
	3"	5,3288	2,9306	2,2519	1,7156
14	1	6,9788	2,9306	2,7494	2,2569
	1"	6,9075	2,9306	2,9556	2,5750
	2	6,3031	2,9306	2,9231	1,8681
	2"	6,3775	2,9306	2,8613	2,1600
	3	5,8031	2,9306	2,9313	2,2769
	3"	5,4513	2,9306	2,6650	2,3525
28	1	7,2181	2,9306	2,7306	3,6631
	1"	6,9625	2,9306	2,9831	3,5781
	2	7,4263	2,9306	2,9744	3,9550
	2"	7,1994	2,9306	3,3010	3,5269
	3	6,4019	2,9306	3,4244	3,1256
	3"	6,4694	2,9306	3,3056	3,2231

Fonte: Próprio autor (2021)

A Tabela C-2 traz os dados obtidos para os ensaios de compressão para o traço 2.

**Tabela C-2** - Resistência à compressão para o traço 2 com os respectivos efeitos da adição de fibras

Dias	Corpo de prova	Resistência (MPa)			
		R2	T2_1	T2_2	T2_3
7	1	4,5419	2,6694	2,0200	1,8563
	1"	4,4044	3,1475	2,0781	1,5150
	2	4,4231	2,3856	2,1844	1,5363
	2"	4,3713	2,3825	2,2694	1,7338
	3	4,7738	2,5213	2,3038	1,4469
	3"	4,8238	2,1969	2,2725	1,6594
14	1	5,3525	3,4488	3,1294	2,3644
	1"	5,1688	3,3181	3,5563	2,3781
	2	4,8644	2,7369	2,8706	2,3038
	2"	4,8938	2,9281	2,8575	2,1963
	3	5,3225	3,2650	2,8088	2,5238
	3"	5,1019	2,8956	2,8775	2,1844
28	1	7,8206	4,1338	3,3355	2,4906
	1"	7,8669	4,3319	3,1407	2,5338
	2	6,2275	3,9744	2,8925	2,7281
	2"	7,0700	3,8725	2,9826	2,8294
	3	6,4981	4,2025	3,1044	3,0469
	3"	6,6819	3,5431	3,0692	2,9238

Fonte: Próprio autor (2021)

A Tabela C-3 traz os dados obtidos para os ensaios de compressão para o traço 3.

**Tabela C-3** - Resistência à compressão para o traço 3 com os respectivos efeitos da adição de fibras

Dias	Corpo de prova	Resistência (MPa)			
		R3	T3_1	T3_2	T3_3
7	1	3,4019	1,9925	1,3094	0,9819
	1"	3,3131	2,0019	1,4319	1,0400
	2	2,9431	1,6694	1,4894	1,0756
	2"	2,8850	1,7550	1,4213	1,0488
	3	3,1375	1,8431	1,6194	1,1344
	3"	3,0406	1,8188	1,7281	1,1200
14	1	3,7078	4,2194	2,8156	1,5938
	1"	3,7825	4,3581	2,5031	1,4213
	2	3,9306	3,6031	2,6469	1,3206
	2"	3,5569	3,7888	2,8169	1,2513
	3	3,5413	3,5913	2,8981	1,3806
	3"	3,6456	3,9931	3,3450	1,2925
28	1	4,7169	4,4702	2,9534	1,8675
	1"	4,6356	4,5545	2,9044	1,7219
	2	4,4738	4,1061	3,1890	1,9163
	2"	4,5994	4,0338	3,0605	1,9506
	3	4,8669	3,7152	2,6338	2,0144
	3"	4,8500	3,6841	2,6941	2,1175

Fonte: Próprio autor (2021)

### APÊNDICE D – Resultados dos ensaios de absorção por capilaridade.

Para os ensaios de capilaridade os resultados foram registrados aos 10 e aos 90 minutos de ensaio, sendo utilizados 3 corpos de prova para cada traço analisado. Os pontos registrados para a medição a 10 minutos estão demonstrados na Tabela D-1.

**Tabela D-1** - Absorção por capilaridade para 10 minutos de realização do ensaio

Adição de fibra	Corpo de prova	Absorção (g/cm <sup>2</sup> )		
		Traço 1	Traço 2	Traço 3
0	1	0,2881	0,2594	0,3800
	2	0,1425	0,1744	0,3056
	3	0,1262	0,1612	0,3444
0,5	1	0,4613	0,3912	0,4931
	2	0,4069	0,4025	0,5969
	3	0,3263	0,3881	0,5856
1	1	0,6256	0,4587	0,7431
	2	0,5775	0,5425	0,7156
	3	0,5663	0,7225	0,7700
1,5	1	0,5931	0,6769	0,9444
	2	0,5013	0,6850	0,9656
	3	0,5856	0,7244	0,8556

Fonte: Próprio autor (2021)

A Tabela D-2 traz os resultados obtidos para o ensaio de absorção após 90 minutos do início do ensaio.

**Tabela D-2** - Absorção por capilaridade para 90 minutos de realização do ensaio

Adição de fibra	Corpo de prova	Absorção (g/cm <sup>2</sup> )		
		Traço 1	Traço 2	Traço 3
0	1	0,7381	0,6300	0,9394
	2	0,4631	0,3919	0,7613
	3	0,3819	0,3681	0,7788
0,5	1	1,1881	1,0131	1,2769
	2	1,0181	1,0350	1,6413
	3	0,8113	1,0681	1,5931
1	1	1,6019	1,1594	1,7744
	2	1,4919	1,3175	1,8156
	3	1,5413	1,8838	1,9331
1,5	1	1,4544	1,6913	2,3250
	2	1,2956	1,8069	2,4244
	3	1,4525	1,6100	2,2344

Fonte: Próprio autor (2021)

**APÊNDICE E – Resultados dos ensaios de densidade no estado endurecido.**

Para os ensaios de densidade no estado endurecido foram utilizados 3 corpos de prova para cada traço. Os resultados obtidos nos ensaios estão dispostos na Tabela E-1

**Tabela E-1** - Ensaio de densidade no estado endurecido aos 28 dias de cura

Adição de fibra	Corpo de prova	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )		
		Traço 1	Traço 2	Traço 3
0	1	1.809,070	1.833,705	1.802,767
	2	1.852,519	1.882,801	1.846,824
	3	1.843,000	1.910,872	1.848,826
0,5	1	1.727,510	1.720,853	1.716,934
	2	1.743,115	1.732,822	1.702,559
	3	1.763,744	1.722,963	1.676,380
1	1	1.688,219	1.647,449	1.637,447
	2	1.730,672	1.643,980	1.639,430
	3	1.667,681	1.672,972	1.584,391
1,5	1	1.606,605	1.594,882	1.580,105
	2	1.608,707	1.590,110	1.547,394
	3	1.571,016	1.610,586	1.535,415

Fonte: Próprio autor (2021)

### APÊNDICE F – Resultados dos ensaios de arrancamento.

Os ensaios de arrancamento foram feitos para todos os traços, em blocos de alvenaria, sendo que em cada blocos foram feitos dois corpos de prova. Foram moldados dois blocos para cada traço, totalizando quatro corpos de prova por traço. Os dados dos ensaios de arrancamento estão expostos na Tabela F-1

**Tabela F-1** - Ensaio de resistência ao arrancamento aos 28 dias de cura

Adição de fibra	Corpo de prova	Aderência (MPa)		
		Traço 1	Traço 2	Traço 3
0%	1	0,0641	0,1118	0,0997
	2	0,0875	0,0496	0,0805
	3	0,0557	0,0880	0,0646
	4	0,1207	0,1048	0,0861
0,5%	1	0,1277	0,1333	0,1048
	2	0,0978	0,1216	0,0875
	3	0,1165	0,1090	0,0833
	4	0,0969	0,0992	0,1011
1,0%	1	0,2410	0,0931	0,1249
	2	0,2138	0,1801	0,1231
	3	0,2536	0,1778	0,1343
	4	0,1460	0,1843	0,1179
1,5%	1	0,1614	0,1951	0,1801
	2	0,1839	0,1886	0,1567
	3	0,1619	0,1736	0,1956
	4	0,1970	0,1605	0,1998

Fonte: Próprio autor (2021)