

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

RENATA BECHE

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS MODIFICADAS COM AREIA DE PET E
FIBRAS DE POLIPROPILENO**

**Alegrete
2021**

RENATA BECHE

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS MODIFICADAS COM AREIA DE PET E
FIBRAS DE POLIPROPILENO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Simone Dornelles Venquiaruto

**Alegrete
2021**

RENATA BECHE

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS MODIFICADAS COM AREIA PET E FIBRAS DE POLIPROPILENO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovada em: 28 de junho de 2021.

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO - Orientadora - UNIPAMPA
Prof. Me. ALDO LEONEL TEMP - UNIPAMPA

Eng^a. DANIELLI DUÓ



Assinado eletronicamente por **SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/06/2021, às 21:10, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALDO LEONEL TEMP, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/06/2021, às 10:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Danielli Duó, Usuário Externo**, em 05/07/2021, às 10:41, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0558013** e o código CRC **7E30C624**.

Aos meus pais e minha irmã pelo amor, vida, exemplo e educação e, ao meu namorado pelo incentivo, apoio e companheirismo.

RESUMO

A utilização de fibras na construção civil vem crescendo atualmente, sendo que as mais utilizadas em matrizes cimentícias são as fibras poliméricas, principalmente devido as suas propriedades mecânica, física e química e seu baixo custo. Nas últimas décadas, também aumentou a preocupação em relação à escassez de recursos naturais, como a areia, material amplamente utilizado na indústria da construção civil. A validação de novos materiais tem motivado alguns pesquisadores a buscar alternativas sustentáveis para a produção de matrizes cimentícias. Este trabalho foi desenvolvido para avaliar a viabilidade técnica de argamassas de revestimentos produzidas com substituição parcial em volume da areia natural (15%) por areia PET e com a incorporação de fibras de polipropileno nos teores de 0,10% e 0,20% em relação ao volume total da argamassa. No estado fresco foram analisadas as propriedades de índice de consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado e retenção de água. No estado endurecido foram avaliadas as propriedades mecânicas de resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial, e absorção de água por capilaridade, que é um indicativo de durabilidade. Os resultados encontrados indicam que as fibras de polipropileno e areia PET nos teores estudados se mostraram incompatíveis, pois promoveram nas argamassas um aumento no teor de ar incorporado e no índice de vazios, diminuindo a capacidade mecânica das misturas (resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão). No entanto, um ponto positivo observado foi que as fibras de polipropileno influenciaram de maneira favorável na forma de ruptura das argamassas, contribuindo para uma ruptura menos frágil e em relação a absorção as argamassas com areia PET e fibras de polipropileno elevaram o coeficiente de capilaridade e portaram uma absorção capilar proporcional ao tempo.

Palavras-Chave: argamassa, areia PET, fibra de polipropileno.

ABSTRACT

The use of fibers in civil construction is currently increasing, and the most used in cementitious matrices are polymeric fibers, mainly due to their mechanical, physical and chemical properties and their low cost. In recent decades, there has also been a growing concern about the scarcity of natural resources, such as sand, a material widely used in the construction industry. The validation of new materials has motivated some researchers to seek sustainable alternatives for the production of cementitious matrices. This work was developed to evaluate the technical feasibility of coating mortars produced with partial replacement in volume of natural sand (15%) by PET sand and with the incorporation of polypropylene fibers in the contents of 0.10% and 0.20% in relation to the total volume of the mortar. In the fresh state, the properties of consistency index, mass density, incorporated air content and water retention were analyzed. In the hardened state, the mechanical properties of tensile strength in bending and resistance to axial compression, and water absorption by capillary action, which is indicative of durability, were evaluated. The results found indicate that polypropylene fibers and PET sand at the levels studied were incompatible, as they promoted an increase in the incorporated air content and void index in the mortars, decreasing the mechanical capacity of the mixtures (resistance to axial compression and resistance to flexion traction). However, a positive point observed was that the polypropylene fibers favorably influenced the rupture form of the mortars, contributing to a less fragile rupture and, in relation to absorption, the mortars with PET sand and polypropylene fibers increased the capillary coefficient and they carried a capillary absorption proportional to time.

Keywords: mortar, PET aggregate, polypropylene fiber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da organização do trabalho.....	19
Figura 2 –Tipos de fibras de polipropileno – (1) Fibrilada, (2) Manofilamento, (3) Macrofibras e (4) Macrofibra mesclada com microfibra.....	21
Figura 3 – Perfil da curva tensão em função da matriz de cimento	25
Figura 4 – Efeito da geometria da partícula na viscosidade.....	26
Figura 5 – Mecanismos de reforço da fibra atuando como ponte de transferência de tensões.....	27
Figura 6 – Fluxograma do programa experimental.....	43
Figura 7 – Areias utilizadas nas argamassas.....	46
Figura 8 – Tipos de argamassas que serão produzidas.....	49
Figura 9 – Procedimento de execução dos traços de argamassa.....	50
Figura 10 – Moldes prismáticos utilizados na moldagem das argamassas e os corpos de prova após a desmoldagem.....	51
Figura 11 – Procedimentos do ensaio de índice de consistência.....	52
Figura 12 – Equipamentos e procedimentos para execução do ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado.....	53
Figura 13 – Equipamentos e procedimentos do ensaio de Retenção de ar.....	54
Figura 14 – Perfil Típico de carga versus deslocamento de um ensaio Squeeze Flow.....	55
Figura 15 – Procedimento do ensaio Squeeze Flow.....	56
Figura 16 – Procedimento do ensaio de Absorção por capilaridade.....	57
Figura 17 – Procedimentos para execução dos ensaios de Tração na Flexão (1) e de resistência à compressão axial (2)	58
Figura 18 – Determinação do índice de consistência das argamassas.....	60
Figura 19 – Argamassas durante o ensaio Squeeze Flow.....	65
Figura 20 – Determinação do índice de consistência das argamassas.....	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica das areias.....	46
Gráfico 2 – Índice de consistência das argamassas.....	59
Gráfico 3 – Teor de ar Incorporado.....	65
Gráfico 4 – Comportamento dos resultados do ensaio de retenção de ar em função da umidade de ar.....	63
Gráfico 5 – Avaliação Reológica através do Squeeze Flow e perfil típico de cargas versus deslocamento.....	64
Gráfico 6 – Deslocamento máximo, relação água/cimento e carga máxima...	65
Gráfico 7 – Relação de teor de ar incorporado com a densidade de massa no estado endurecido.....	67
Gráfico 8 – Absorção de água em relação ao coeficiente de capilaridade.....	69
Gráfico 9 – Relação da resistência a tração na flexão com teor de ar incorporado.....	70
Gráfico 10 – Resistencia à compressão axial versus água/cimento.....	72
Gráfico 11 – Comparação das resistências á compressão axial e á tração na flexão em argamassas úmidas (70 dias) e secas (77 dias).....	73
Gráfico 12 – Índice de consistência das argamassas – Etapa -02.....	74
Gráfico 13 – Dados de retenção de água e da umidade relativa ambiente.....	76
Gráfico 14 – Relação do teor de ar incorporado com a densidade de massa no estado endurecido com cura de 28 dias.....	77
Gráfico 15 – Absorção de água em relação ao coeficiente de capilaridade para argamassas com cura de 28 dias.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Energia específica e resistência a tração na flexão de argamassas reforçada com teor de fibras de polipropileno com diferentes comprimentos na proporção de 500/g/m ³	23
Tabela 2 – Procedimentos das misturas de argamassa com fibra de polipropileno ..	29
Tabela 3 - Teores de fibras de polipropileno em função de cimento do compósito...	32
Tabela 4 – Quantitativos de fibras de polipropileno em função do volume total de argamassa.....	32
Tabela 5 – Estudos com usos de fibra de polipropileno em matrizes cimentícias.....	41
Tabela 6 – Ensaio de caracterização dos materiais que compõem as argamassas.....	44
Tabela 7 – Propriedades físico-química e mecânica do cimento Portland CPIV-32..	45
Tabela 8 – Composição Química da Cal Hidratada CH-II.....	45
Tabela 9 – Massa Unitária da Areia Natural no Estado Compactado.....	47
Tabela 10 – Característica físico-química da fibra de polipropileno.....	48
Tabela 11 – Traços em volume – Dosagem 1:4.....	49
Tabela 12 – Ensaio de caracterização de argamassas no estado fresco.....	51
Tabela 13 – Ensaio de caracterização de argamassas no estado endurecido.....	56
Tabela 14 – Condições Ambientais.....	60
Tabela 15 – Resultados do ensaio de Densidade.....	60
Tabela 16 – Resultados do ensaio de retenção de água das argamassas.....	62
Tabela 17 – Resultados do ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido.....	67
Tabela 18 – Resultados do ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido em 28 dias.....	68
Tabela 19 – Coeficientes de Capilaridade (C90-10) das argamassas.....	68
Tabela 20 – Resultados de resistência a tração na flexão.....	70
Tabela 21 – Resultados do ensaio de Resistência a compressão axial.....	71
Tabela 22 – Condições Ambientais durante as moldagens.....	75
Tabela 23 – Resultados do ensaio de Densidade – no estado fresco.....	75
Tabela 24 – Resultados do ensaio de retenção de água das argamassas.....	76
Tabela 25 – Coeficientes de Capilaridade (C90-10) das argamassas com cura de 28 dias.....	78
Tabela 26 – Resultados da Resistência a tração na flexão com cura de 28 dias.....	79

Tabela 27 – Resultados do ensaio de resistência a compressão axial com cura de 28 dias.....	80
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnica

NBR – Norma Brasileira

PP – Fibra de Polipropileno

a/c – água/cimento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.2 Justificativa	17
1.3 Organização de trabalho	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Fibras de Polipropileno – Características e Propriedades.....	19
2.1.2 Contribuição das Fibras em Materiais a Base de Cimento.....	23
2.2 Produção de argamassas com fibras de polipropileno	28
2.2.1 Teor de fibras de polipropileno em argamassas.....	30
2.3 Características e Propriedades de Argamassas com Fibra de Polipropileno	32
2.3.1 Consistência.....	33
2.3.2 Retenção de Água.....	35
2.3.3 Teor de Ar Incorporado	37
2.3.4 Propriedades Mecânicas – Resistência à compressão axial.....	37
2.3.5 Propriedades Mecânicas – Resistência à tração na flexão	39
2.4 Resumo de pesquisas com argamassas com fibra de Polipropileno	40
3 METODOLOGIA	43
3.2 Programa Experimental.....	43
3.1 Materiais.....	44
3.1.2 Caracterização da Cal Hidratada	45
3.1.3 Caracterização do Agregado Miúdo	46
3.1.3.1 Composição Granulométrica	46
Fonte: Elaboração Própria.	46
3.1.3.2 Determinação da massa unitária.....	47
3.1.3.3 Determinação da Massa específica	47
3.1.4 Caracterização da Fibra de Polipropileno.....	48
3.2 Dosagem das Argamassas	48
3.2.1 Procedimento de mistura, moldagem e cura	49
3.3 Ensaio de Caracterização das Argamassas no Estado Fresco	51
3.3.1 Índice de consistência	51
3.3.2 Ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado	52

3.3.4 Ensaio Squeeze Flow.....	54
3.4 Caracterização da argamassa no estado endurecido	56
3.4.1 Densidade de massa no estado endurecido	57
3.4.2 Ensaio de absorção por capilaridade	57
3.4.3 Ensaio de tração na flexão e à compressão axial	57
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
4.1 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco.....	59
4.1.1 Determinação do Índice de Consistência	59
4.1.2 Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado	60
4.1.3 Determinação da retenção de água	62
4.1.4 Avaliação da reologia pelo método do Squeeze Flow	63
4.2 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido	66
4.2.1 Densidade de massa aparente no estado endurecido	66
4.2.2 Determinação da absorção por capilaridade	68
4.2.3 Resistência à tração na flexão	69
4.2.4 Resistência à Compressão Axial.....	71
4.3 Etapa 2 - Caracterização das Argamassas convencionais com incorporação de fibras de polipropileno	73
4.3.1 Etapa-02 - Caracterização das Argamassas no Estado Fresco	74
4.3.2 Etapa-02 - Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido.....	77
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
5.1 Sugestões para trabalhos.....	84
REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

No momento atual, uma das grandes preocupações dos profissionais na área da construção civil diz respeito à durabilidade das estruturas, que é muitas vezes relacionada com a facilidade ou dificuldade de acesso de agentes agressivos aos materiais que compõem o sistema construtivo (SIQUEIRA, 2006). Para melhorar a durabilidade das construções, a ciência e a tecnologia vêm avançando de forma significativa com a criação de novos materiais para uso na construção civil, dentre esses, destacam-se os compósitos reforçados com fibras, que têm como princípio básico a capacidade de melhorar as propriedades de uma matriz frágil.

Utilizar fibras nos materiais de construção não é uma técnica recente, o mais antigo registro se encontra na Bíblia que descreve a utilização de palha para reforços de tijolos de barro (BENTUR e MINDESS, 1990). Há evidências, do uso de fibras de asbesto para reforço de postes de argila há cerca de 5000 anos e de pelos de animais em argamassa de assentamento de tijolos (JOHNSTON, 2001).

As fibras atualmente comercializadas são produzidas a partir de dois grandes grupos de matéria-prima: vegetais e sintéticas. Do grupo das fibras vegetais podemos citar as fibras de coco, celulose e malva, e do grupo das fibras sintéticas, as fibras de carbono, vidro e polimérica (SILVA, 2006). Para Bentur e Mindess (1990), as fibras poliméricas são as mais atrativas para reforçar a matriz de cimento devido à sua não degradação: seja por microrganismo (o que acontece com a fibra vegetal), seja por corrosão (o que acontece com a fibra de aço), ou seja por meio alcalino (degradação que acontece com as fibras de vidro e vegetais em matrizes cimentícias).

A incorporação de fibras sintéticas em argamassas de revestimento é exemplo de um material que vem sendo empregado na busca pela maior qualidade e desempenho destas. Agapyan e John (2000) relatam que o efeito das fibras sintéticas adicionadas às argamassas de revestimento é dificultar a propagação de fissuras e trincas, e essas fibras ainda podem sofrer deformações, aumentar resistência e assim possibilitar a melhoria no desempenho da argamassa.

As fibras de polipropileno, foco deste estudo, são sintéticas (classificadas como fibras do tipo polimérica) e são materiais utilizados para melhoramento no desempenho de compósitos cimentícios, contribuindo para evitar o surgimento de patologias e, conseqüentemente, garantindo uma maior durabilidade das edificações. Diversos autores nacionais e internacionais (BENTUR e MINDESS (1990);

BALAGURU, (1994); CORTEZ, (1999); OLIVEIRA (2001); SILVA, (2006); SIQUEIRA (2006); SILVA (2011); MINARI (2018), entre outros) já utilizaram a fibras de polipropileno em suas pesquisas e observaram modificações positivas nas mais diversas propriedades dos compósitos cimentícios, tanto no estado endurecido, como no estado fresco.

Dessa forma, o presente estudo busca avaliar o uso das fibras de polipropileno, consideradas de fácil aquisição e baixo custo e que possuem características e propriedades inerentes que contribuem de forma significativa para o seu uso na construção civil. Para tal, serão realizadas as avaliações de algumas propriedades das argamassas produzidas, tais como: consistência, teor de ar incorporado, densidade da massa (estado fresco e endurecido), squeeze flow, absorção de água, resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial.

1.1 Objetivos

O objetivo geral e os específicos desta pesquisa são apresentados na sequência, nos itens 1.1.1 e 1.1.2, respectivamente.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em verificar a viabilidade de utilização de fibra de polipropileno em argamassas de revestimento com e sem areia de PET, através da análise de algumas de suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido.

1.1.2 Objetivos Específicos

Com o intuito de atingir o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Verificar as propriedades de argamassas (com e sem fibras de polipropileno (argamassa de referência)) no estado fresco, através dos ensaios de consistência, densidade de massa, ar incorporado e retenção de água;
- Verificar o desempenho mecânico de argamassas (com e sem fibras de polipropileno) através dos ensaios mecânicos de resistência à compressão axial e de resistência à tração na flexão;

- Verificar a durabilidade das argamassas (com e sem fibras de polipropileno), através do ensaio de absorção de água por capilaridade;
- Comparar o desempenho de argamassas (com e sem adição de polipropileno) no estado fresco e no estado endurecido.

1.2 Justificativa

Os problemas patológicos existentes na construção civil, em grande parte, estão relacionados aos materiais que são empregados nas edificações (OLIVEIRA, 2001). O que torna cada vez mais necessários estudos que contribuam de forma significativa para um maior conhecimento das propriedades físicas e mecânica destes materiais e para uma melhor aplicação e desempenho, permitindo a construção de edificações mais econômicas e seguras.

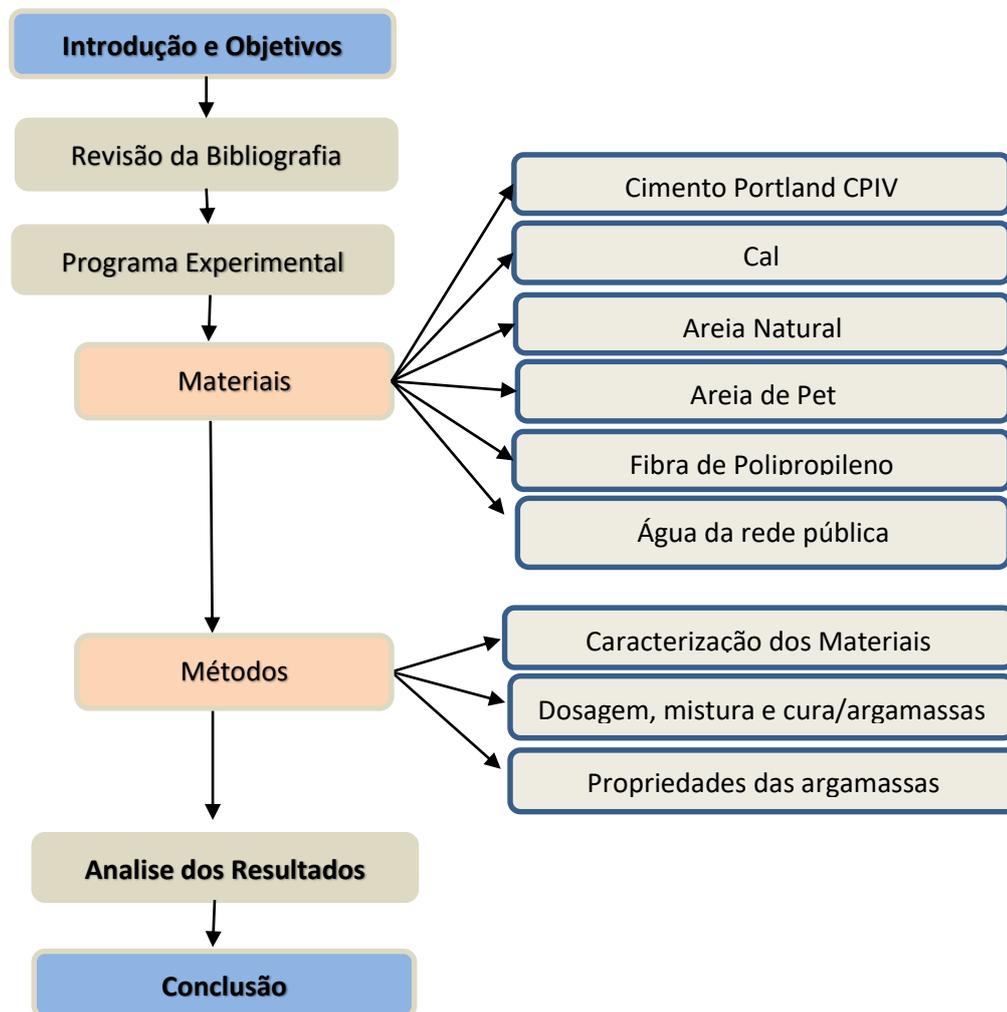
A inserção de areia PET em matrizes cimentícias resulta em benefícios ambientais e socioeconômicos. Da parte ambiental reduz a extração de areia, e com relação ao socioeconômico, a reciclagem tem importância social, pois cria oportunidade de renda por meio das cooperativas de reciclagem. Diversos autores (LOURENCI (2003); CANELLAS (2005); COELHO (2005), JARDIM (2016), DUÓ (2017), entre outros) têm observado resultados positivos com a incorporação desse material em compósitos cimentícios, mas alguns pesquisadores (FLORA *et al.* (2018) e JARDIM (2016)) fazem ressalvas quanto ao teor que deve ser utilizado em matrizes cimentícias (até 20% de substituição do agregado miúdo) para que as propriedades mecânicas dos compósitos não sejam prejudicadas.

O uso de fibras de polipropileno está relacionado com a compatibilidade mecânica, física e química existente entre a matriz cimentícia e as fibras, além do baixo custo e fácil disponibilidade; somando-se a isso tem o fato de que seu manuseio, tanto na fábrica como na obra, não oferece qualquer dano à saúde dos operários. A sua utilização possui o intuito de melhorar o desempenho de compósitos cimentícios e de minimizar as patologias, que são cada vez mais frequentes nas edificações. Além do exposto, a cidade de Alegrete/RS apresenta uma elevada amplitude térmica, tanto no inverno, quanto no verão, o que contribui de forma relevante para o surgimento de manifestações patológicas em revestimentos argamassados. Logo, o estudo de materiais que podem reduzir as manifestações patológicas é de suma importância e justifica o desenvolvimento deste trabalho.

1.3 Organização de trabalho

O trabalho está estruturado em 5 tópicos principais. O primeiro tópico apresenta a introdução do tema, bem como os objetivos gerais e específicos, e a justificativa da pesquisa. O segundo aborda uma revisão bibliográfica referente aos fundamentos básicos relacionados à fibra de polipropileno e a incorporação e aplicação desses conceitos na argamassa. O terceiro item descreve a metodologia empregada na pesquisa. Nessa etapa são abordados o planejamento, os materiais utilizados e os procedimentos experimentais. O quarto apresenta os resultados obtidos, a interpretação dos dados e as discussões sobre o tema estudado. No quinto tópico são abordadas as considerações finais e conclusões da pesquisa. E por fim, são apresentadas as sugestões de trabalhos futuros e as referências bibliográficas utilizadas para o embasamento da pesquisa. A Figura 1 apresenta o fluxograma da organização do trabalho.

Figura 1 - Fluxograma da organização do trabalho.



Fonte: Elaboração Própria.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contempla a revisão bibliográfica, e tem por objetivo apresentar fundamentos básicos relacionados à fibra de polipropileno e a incorporação e aplicação desses conceitos em matrizes cimentícias.

2.1 Fibras de Polipropileno – Características e Propriedades

O polipropileno é um material muito utilizado na indústria devido às suas qualidades: facilidade de produção, boas características mecânicas, devidas, em grande parte, a sua natureza semicristalina, e a sua inércia química, sendo possível a sua aplicação mesmo em meios corrosivos. (SANTOS, 2006)

Segundo Oliveira (2001), citado por Minari (2018), o polipropileno é um termoplástico derivado do monômetro propileno (C₃H₆), obtido pelo craqueamento do

petróleo, através da síntese de elementos orgânicos. A produção das fibras de polipropileno se deu em 1966, pela empresa Shell, que patenteou o processo. Na época as fibras tinham a forma de filmes fibrilados picotados, e a máxima adição possível para a utilização em concretos com a tecnologia aplicada era de 1% em volume do compósito. (TANESI e FIGUEIREDO, 1999).

O processo de produção das fibras sintéticas inicia-se com a transformação da nafta petroquímica, um derivado do petróleo, em benzeno, eteno, p-xileno e propeno. O polipropileno, por sua vez, é obtido pela polimerização do propeno (C₃H₆). Para a obtenção da fibra segue-se ao processo de extrusão que consiste em pressionar a resina, em forma pastosa, através de pequenos furos finíssimos em uma peça denominada fieira. As fibras tomam sua forma final através do processo de estiramento, que consiste em estirá-las durante o processo de solidificação e logo após estarem solidificadas. (SIQUEIRA, 2006).

Conforme Silva (2006), a fibra de polipropileno tem função de reforço nas matrizes de cimento, pois possuem um menor módulo de elasticidade comparado ao módulo da matriz cimentícia.

Para Figueiredo (2011), as fibras de polipropileno podem ser divididas em dois tipos básicos: macrofibras e microfibras. As macrofibras de base polimérica surgiram no mercado internacional nos anos 1990; posteriormente essa tecnologia chegou no Brasil. Ao contrário das fibras convencionais, as macrofibras foram concebidas para se obter um reforço estrutural, nos mesmos moldes que uma fibra de aço.

As microfibras, por sua vez, podem ser fornecidas em duas formas: monofilamento e fibriladas. As fibras de monofilamento consistem em fios cortados em comprimento padrão. Elas podem ser empregadas em concretos para a fabricação de estruturas pré-fabricadas, elementos pré-fabricados (como painéis de vedação), elementos estruturais (como parede de concreto), contrapiso, piso e pavimentos. Além das aplicações já citadas, também podem ser empregadas em argamassas de revestimento e em concretos convencionais, e projetados com a mesma finalidade (melhorar as propriedades dos compósitos de matriz cimentícias, tais como aumento de deformação e da tenacidade, maior resistência ao fogo, distribuição uniforme dos esforços internos de compressão e tração, e controle da fissuração durante o endurecimento).

As fibras fibriladas apresentam-se como uma malha de finos filamentos de seção retangular. Segundo Bentur e Mindess (1990), a estrutura desse tipo de fibra

promove um aumento na adesão entre a fibra e a matriz devido a um efeito de intertravamento. Conforme os autores, as fibras monofilamentadas e fibriladas possuem a mesma resistência e módulo de elasticidade, mas para o combate de fissuras são sugeridas as fibras monofilamentadas, mais efetivas do que as fibras fibriladas.

Conforme Figueiredo (2011), também podem ser encontradas, atualmente no mercado, fibras compostas, que mesclam microfibras e macrofibras de polipropileno. As fibras compostas foram produzidas com a intenção de propiciar ao concreto para pavimentos uma condição otimizada de controle de fissuração nas primeiras idades e de reforço no estado endurecido. Na Figura 2, são apresentados os tipos de fibras de polipropileno disponíveis no mercado.

Figura 2- Tipos de Fibras de Polipropileno - (1) Fibrilados, (2) Monofilamento, (3) Macrofibra e (4) Macrofibra mesclada com microfibra¹



Fonte: Neomatex¹, adaptado pelo autor.

Bentur e Mindess (1990) afirmam que as fibras individuais – curtas e dispersas aleatoriamente (Figura 2 – (1)) – são mais utilizadas como reforço de argamassa de revestimento. Os autores consideram fibras curtas as que possuem menos de 50 mm de comprimento.

Conforme Oliveira (2011), as fibras de polipropileno não absorvem a água utilizada na produção dos compósitos, ou seja, possuem uma superfície hidrófuga. Dessa forma, evitam problemas causados pelas fibras que absorvem água, como por exemplo, as vegetais. Em compósitos cimentícios, a absorção de água pelas fibras vegetais faz com que aumentem de volume. Posteriormente, com a evaporação e o consumo desta água pela matriz (para hidratação do cimento) as fibras reduzem seu volume, deixando um vazio na interface fibra/matriz.

¹ Disponível em < <https://www.neomatex.com.br/fibras-de-polipropileno-para-concreto-argamassa.html>> Acesso: 17 de abril de 2020.

Entre as características das fibras de polipropileno pode-se citar a flexibilidade e tenacidade. Taylor (1994) afirma que a grande flexibilidade e tenacidade das fibras de polipropileno podem ser atribuídas à composição desse polímero, que apresenta cadeias longas de alto peso molecular e desenvolvimento helicoidal, além de proporcionar um aumento substancial de resistência ao impacto nos materiais que são incorporados.

Ponikiewski e Szwabowski (2005) estudaram argamassas reforçadas com fibras de polipropileno (PP) nos teores de 0,1%, 0,3% e 0,5% em relação ao volume de argamassa. Os autores observaram, que um determinado comprimento da fibra afetava o valor de tensão de escoamento. Para comprimentos de fibras de 3mm e 6mm, os valores de tensão foram iguais. No entanto, quando o tamanho da fibra foi aumentado para 12mm, os valores aumentaram conforme foi subindo o teor de fibra de polipropileno, mesmo para as argamassas com baixos teores de fibras.

Segundo Silva (2006), o comprimento da fibra de polipropileno (PP) é considerado um fator de eficiência do reforço devido a sua relação com a resistência ao atrito, parâmetro importante para a condição pós-fissuração do compósito, uma vez que a transmissão de tensões por atrito fibra-matriz é o mecanismo que governa a transferência de esforços após a fissuração da matriz. Dessa forma, quanto maior a extensão de fibra inserida na matriz, maior será a resistência de atrito durante o seu arranchamento que está diretamente relacionada com a energia de fratura. Esse aumento de energia devido ao aumento do comprimento da fibra de polipropileno foi visto por Cortez (1999), que adicionou um teor de fibra de 500g/m^3 com diferentes comprimentos em argamassas para revestimento e testou seu comportamento quanto à resistência à tração na flexão. Os resultados desse estudo são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Energia específica e resistência à tração na flexão de argamassas reforçada com teor de fibras de polipropileno, de diferentes comprimentos na proporção de 500g/m³.

Comprimento da Fibra de Polipropileno (mm)	Energia Específica² (Kgf/cm)	Resistência à tração na flexão (MPa)
10	0,113	0,35
20	0,126	0,37
40	0,671	0,44

Fonte: Cortez, 1999.

Os resultados apresentados na Tabela 1, mostram que a energia específica e a resistência à tração na flexão das misturas estudadas, aumentaram proporcionalmente com a variação do comprimento das fibras de polipropileno.

De outra forma, quanto menor o comprimento da fibra inserida em compósitos cimentícios menor é a sua aderência na matriz, não oferecendo nenhum efeito de reforço. Para Silva (2006), isso ocorre devido à resistência de atrito proporcionada pela pequena extensão da fibra ser menor que sua resistência. Para uso em argamassas de revestimentos, os fabricantes recomendam o comprimento próximo de 6mm.

2.1.2 Contribuição das Fibras em Materiais a Base de Cimento

As fibras de polipropileno são consideradas um produto de múltiplas aplicações, fácil manuseio, não corrosivo e econômico, utilizado com reforço e para melhorar algumas propriedades dos materiais a base de cimento, como aumentar a resistência ao impacto e ao fogo e reduzir as fissuras.

Para Passini (2010), as adições de fibras a materiais de cimento resultam em um compósito (combinação de dois ou mais materiais), que apresenta propriedades que os materiais componentes desses compósitos não possuem. Eles são constituídos por duas fases, a matriz (concreto, e argamassa) e o reforço (fibras).

Quando comparadas com as fibras vegetais e metálicas, as poliméricas apresentam vantagens como reforço de concretos e argamassas, pois não são degradadas por bactérias, não sofrem processo corrosivo e tão pouco são atacadas pelo meio alcalino no cimento, e possuem uma temperatura de fusão relativamente alta (165°C); porém são sensíveis a radiação ultravioleta. No entanto, isso é

² A energia específica equivale à energia total absorvida durante o ensaio, dividida pela área de fratura do corpo de prova.

irrelevante quando a fibra é utilizada como reforço de uma matriz cimentícia, pois fica coberta pela matriz (BENTUR E MINDESS, 1990).

O uso das fibras de polipropileno, tem aumentado nos últimos anos em concretos e argamassas. Alhozaimy et alli. (1996) ressaltam a sua importância principalmente no controle da fissuração por retração e na melhora da tenacidade dos compósitos.

As fibras têm influência benéfica na redução da abertura e profundidade de fissuras em compósitos cimentícios. Balaguru (1994) realizou um estudo sobre retração plástica em argamassas sem e com adição de fibras de polipropileno de comprimento de 19mm. Foram estudados três traços (1:1,5 – em volume e $a/c=0,5$): um de referência (sem fibras), um com fibras na proporção de 900g/m³ e um outro traço com fibras na proporção de 1800g/m³. O autor observou que a incorporação das fibras reduziu a área total das fissuras. A argamassa de referência (sem fibra) apresentou uma área de fissuras de 6968mm². O traço com 900g/m³ de fibras (com área de fissuras de 6642 mm²) e o traço com adição de 1800 g/m³ (com área de fissuras de 3290 mm²).

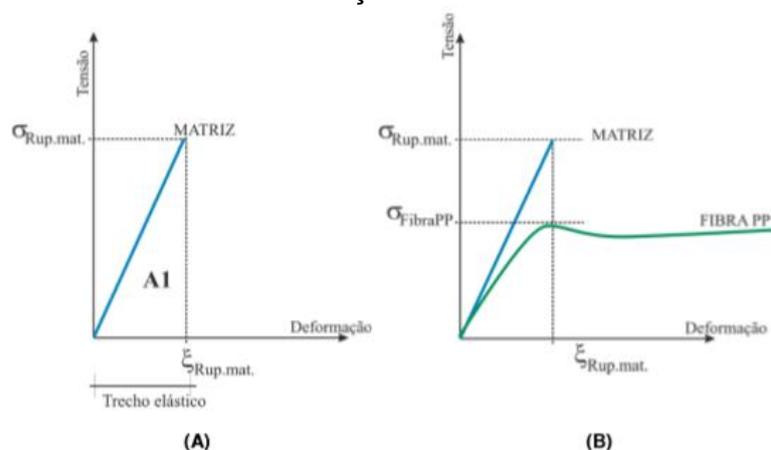
Segundo Taylor (1994), os materiais fibrosos desenvolvem o seu maior potencial no estado pós-fissuração, onde as fibras contribuem de forma mais efetiva na resistência do material, aumentando a capacidade de absorção da energia. O mesmo autor acredita que as fibras de polipropileno mantêm juntas as interfaces das suas fissuras, pois a deformação necessária para causar fissuras na matriz cimentícia é muito inferior à elongação das fibras.

Para Araújo (2005), o baixo módulo de elasticidade e a alta deformação na ruptura propiciados pelas fibras de polipropileno as tornam um material ideal para, por exemplo, argamassas de ligação de elementos pré-moldados, onde o acréscimo de desempenho promovido pelo aumento de deformidade é desejável.

A Figura 3 apresenta o perfil da curva tensão *versus* deformação em função da matriz de cimento com e sem fibras. Uma matriz de cimento sem fibras (Figura 3 – (A)), quando solicitada por um determinado esforço de tração, suportará a tensão originada, até uma tensão limite de ruptura, quando então se romperá, apresentando uma deformação de ruptura. Esse comportamento classifica o material como de ruptura frágil, possuindo somente o trecho elástico da curva. Quando são adicionadas fibras de polipropileno (Figura 3 - (B)), o material apresenta um novo comportamento, caracterizado por uma baixa resistência mecânica e uma elevada deformação final. O

compósito quando solicitado por um esforço de tração, apresentará tanto o trecho elástico (delimitado pela ruptura da matriz), como o trecho plástico, a partir do qual haverá a atuação da fibra, sendo denominado como um material “pseudo-ductil” (SILVA,2006).

Figura 3- Perfil da curva tensão em função da matriz de cimento.



Fonte: Figueiredo (2000), adaptado pelo autor.

Para Oliveira (2001), as fibras podem proporcionar uma melhor interação entre o agregado e a pasta de aglomerante, aumentando a coesão nas argamassas, podendo gerar melhorias relativas à qualidade e produtividade das alvenarias, além de influenciar na redução de perdas das argamassas.

As fibras de polipropileno apresentam elevada resistência à tração (250 MPa a 400 MPa), alongamento de 20% na ruptura e massa específica de 900kg/m³ (BENTES e VASCONSELLOS, 1993). Segundo os autores, essas fibras apresentam interessante emprego em peças de argamassa armada, sendo aplicadas também, em alguns casos, em substituição às armaduras especiais, geralmente tela soldada, colocadas para combater o efeito da retração em compósitos cimentícios.

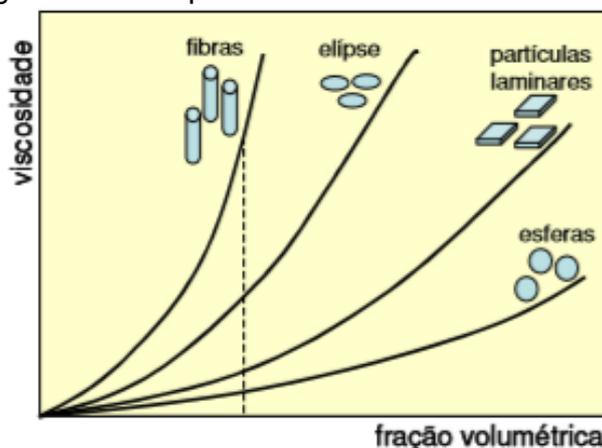
Silva (2006) afirma que a adição de fibras em argamassas contribui para o aumento de tensão de escoamento e da viscosidade. Para o autor, o efeito da fibra na tensão de escoamento e na viscosidade, está relacionado a três principais razões:

- O formato da fibra é mais alongado do que do agregado, logo sua área é mais elevada;
- A concentração e a aleatoriedade das fibras contribuem para diferentes e grandes quantidades de contato entre as partículas sólidas, seja com grão de cimento, agregado ou com a própria fibra;

- As fibras rígidas têm o potencial de modificar o arranjo estrutural da granulométrica dos grãos da matriz, sendo uma barreira à sua movimentação, enquanto que as fibras flexíveis têm o potencial de se dobrar, preenchendo o espaço entre os grãos.

Silva (2006), ainda enfatiza que independente da fração volumétrica utilizada, a fibra tem mais impacto na viscosidade do compósito cimentício do que qualquer outra geometria de partícula (Figura 4).

Figura 4 – Efeito da geometria da partícula na viscosidade.



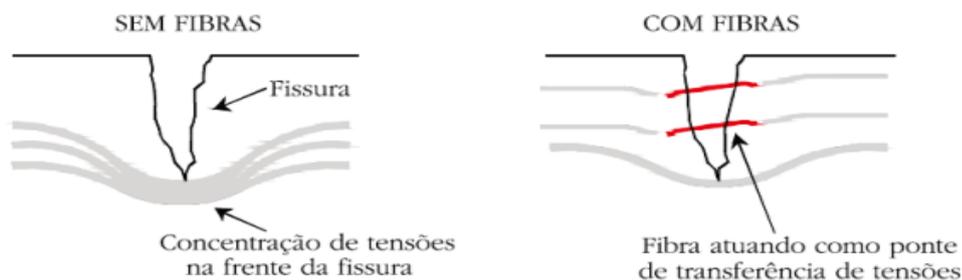
Fonte: Silva, 2006.

Segundo Figueiredo (1999), a adição de fibras de polipropileno em compósitos cimentícios reduz a exsudação, consequência de o fato das fibras formarem uma malha que estabiliza a matriz, prevenindo o assentamento e a segregação dos materiais mais pesados da mistura.

Johnston (1992) afirma que as fibras quando adicionadas a uma matriz cimentícia, tendem a reforçar o compósito sobre todas as formas de carregamento que induzem a tensões de tração, flexão e cisalhamento.

Tanesi e Agopyan (1997) afirmam que em compósitos sem fibras, o aparecimento da primeira fissura e sua abertura progressiva levam ao colapso da peça. Porém, quando os compósitos são reforçados com fibras, a fratura é um processo progressivo onde as pontes de transferência oferecidas pelas mesmas promovem a múltipla fissuração. Nesses compósitos a fratura é decorrente de um processo heterogêneo de progressivo descolamento e arrancamento das fibras e não pela sua ruptura. A Figura 5 apresenta a concentração de tensões em compósitos com e sem fibras.

Figura 5 - Mecanismos de Reforço da fibra atuando como ponte de transferência de tensões.



Fonte: Nunes e Agopyan, 1998.

Bentur e Mindess (1990) afirmam que a eficiência das fibras em melhorar as propriedades mecânicas de matrizes cimentícias frágeis é controlada pelos processos em que o carregamento é transferido da matriz para as fibras, e pelo efeito “ponte” das fibras (através das fissuras da matriz), o que ocorre em estágios mais avançados de carregamento.

Há que se considerar dois casos para os efeitos de transferência de tensões: pré-fissura e o pós-fissura da matriz cimentícia. No caso da pré-fissura, a transferência de tensão elástica é dominante e os deslocamentos longitudinais da fibra e da matriz, na interface, são geometricamente semelhantes. A tensão desenvolvida na interface é uma tensão de cisalhamento que obriga a distribuição do carregamento externo entre as fibras e a matriz (módulos de deformação diferentes), de forma que as deformações desses dois componentes, na interface, permanecem iguais. Em estágios mais avançados de carregamento, geralmente ocorre a perda de aderência na interface. Ocorre o deslocamento relativo entre a fibra e a matriz e as tensões são transferidas através do atrito fibra-matriz. O mecanismo de transferência por atrito é o predominante na etapa pós-fissuração, onde o gasto energético, para o arrancamento da fibra, é muito elevado, o que caracteriza a alta tenacidade dos compósitos com fibras. Propriedades como as máximas resistência e deformação são controladas por esse tipo de transferência de tensão (BENTUR E MINDESS, 1990).

Tanesi e Figueiredo (1999) relatam ainda que o efeito de ponte de transferência de tensões promove tanto o aumento da deformação para o aparecimento da primeira fissura, como da deformação até a ruptura do compósito, uma vez que o mesmo

continua suportando carregamento e se deformando durante os processos de descolamento e arrancamento das fibras.

Para Silva (2006), as fibras presentes em uma microfissura em propagação servem como uma barreira, e para que seja mantida a continuidade da propagação dessa fissura é necessário que ocorra o carregamento da fibra, ou o desvio da fissura pelo contorno da fibra, ou ainda a ruptura da fibra. Segundo o autor, essas três situações requerem um elevado nível de energia.

2.2 Produção de argamassas com fibras de polipropileno

Silva (2006) afirma que para a produção das argamassas reforçadas com fibras, a ordem de colocação dos materiais e o tempo de mistura, são parâmetros essenciais e singulares para a homogeneidade da argamassa, e está fundamentada em duas necessidades de grande importância: a baixa incorporação de ar e a melhor distribuição da fibra. O autor também relata que para ter uma baixa incorporação de ar o tempo de mistura deve ser curto, e contrariamente, o tempo de mistura deve ser elevado para que haja uma adequada homogeneidade na distribuição das fibras (ter a mesma quantidade em todo o volume de material). Segundo o autor, o maior tempo de mistura é propício para que sejam evitados os chamados “nódulos de fibras” (fibras de polipropileno aglomeradas dentro da argamassa), que podem não ser completamente envolvidas pela matriz, desfavorecendo o mecanismo de aderência fibra-matriz e provocando um aumento da porosidade.

Bentur e Mindess (1990) afirmam que a adição de fibra exige alterações no procedimento de mistura em compósitos cimentícios, devido sobretudo à estrutura física e química da fibra de polipropileno (PP). Na estrutura física, o processo de mistura do compósito pode ser um limitador da quantidade de material a ser introduzido. A introdução de fibras curtas na matriz de cimento, utilizando um misturador convencional, tais como betoneira e argamassadeira, faz com que o teor de fibras seja limitado. Na estrutura química, fibras de polipropileno são hidrofóbicas em relação à matriz de cimento, o que leva à redução da adesão do cimento na superfície das fibras, afetando sua dispersão na matriz.

Atualmente, no Brasil, não existe uma normalização específica em vigência que padronize o preparo de argamassas com fibras de polipropileno. Nos últimos anos, diversos autores (Bauer e Cortez (2001), Silva (2006), Siqueira (2006), Monte, Silva e Barros (2009), Silva (2011), Minari (2018), entre outros), utilizaram diferentes

procedimentos para a produção de argamassas com fibras de polipropileno em suas pesquisas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Procedimentos das Misturas de argamassa com Fibra de Polipropileno.

Autor	Procedimento da Mistura
Bauer e Cortez (2001)	1ª- Preparar uma pasta de cal (cal e uma parte de água) na argamassadeira durante 2 minutos; 2ª- Misturar previamente a areia, o cimento e a fibra, a fim de homogeneizar o traço; 3ª- Adicionar os componentes (passo 2) e outra fração de água à pasta de cal. Misturar durante 3 minutos; 4ª- Adicionar o restante de água, se necessário; 5ª- Misturar por mais 2 minutos.
Silva (2006)	1ª- Colocar a quantidade total de areia no misturador desligado; 2ª- Ligar o misturador e acrescentar as fibras, deixando misturar durante 5 segundos; 3ª- Após esse tempo, adicionar 5% da água calculada para argamassa intermediária ³ e deixar misturar por 175 segundos. (Completando assim 180 segundos); 4ª- Com o misturador ligado, adicionar a cal (durante o período de 180 segundos); 5ª- Nos próximos 5 segundos, com misturador sempre ligado, adicionar o restante de água para a argamassa intermediária (despejar a uma velocidade constante) e deixar misturar por mais 50 segundos (totalizando 235 segundos); 6ª- Após os 235 segundos, desligar o misturador e verificar se há material aderido ao fundo; 7ª- Religar o misturador até completar 270 segundos; 8ª- Retirar a argamassa e deixar em repouso por 24 horas, sem perda de água por evaporação; 9ª- Após 24 horas colocar a argamassa no misturador desligado; 10ª- Ligar o misturador e após 5 segundos do início da 2ª etapa de produção da argamassa, colocar o cimento, e após 20 segundos colocar água com ³ velocidade constante e deixar misturando por mais 50 segundos; 11ª- Desligar o misturador e passar a espátula no fundo; 12ª- Misturar até completar 200 segundos e finalizar a mistura.
Siqueira (2006)	1ª- Misturar na argamassadeira, durante 30 segundos, a areia (100%), a cal (100%) e a água (18% em relação à massa de areia e cal); 2ª- Adição do cimento; misturar durante 90 segundos; 3ª- Adição do restante da água; misturar por 60 segundos; 4ª- Adição manual e heterogênea da fibra de polipropileno, com misturador desligado; 5ª- Adição extra de água – necessária para atingir a consistência desejada (205 ± 10 mm) – e prosseguir a mistura por 60 segundos.

³ A produção da argamassa de cimento, cal e areia consiste em duas etapas: produção da argamassa intermediária e produção final da argamassa.

Autor	Procedimento da Mistura
Monte, Silva e Barros (2009)	1ª- Adição da areia e da fibra na cuba do misturador. Adicionar uma fração de água e misturar durante 5 segundos; 2ª- Misturar por mais 180 segundos; adicionar cimento e cal; 3ª- Com o misturador ligado, nos próximos 5 segundos adicionar o restante de água (até o tempo de 185 segundos); 4ª- Misturar até completar o tempo de 270 segundos.
Silva (2011)	1ª- Colocar material seco dentro da cuba da argamassadeira e realizar a homogeneização por 30 segundos na velocidade baixa; 2ª- Com a argamassadeira ligada na velocidade baixa, adicionar água de modo contínuo até 20 segundos e permanecer misturando pelo período de 90 segundos.
Minari (2018)	1ª- Misturar o cimento e as fibras de polipropileno em um saco plástico para garantir a homogeneidade da mistura; 2ª- Colocar toda a quantidade de água no misturador, adicionando o cimento e as fibras, e misturar na velocidade baixa por 30 segundos; 3ª- Adicionar areia de maneira gradual sem paralisação do misturador dentro de um período de 30 segundos; 4ª- Após colocar a areia, mudar a velocidade do misturador para a rápida e misturar os materiais por mais 30 segundos; 5ª- Desligar o equipamento durante 1 minuto e 30 segundos; 6ª- Raspar a superfície interna do recipiente e da pá durante 15 segundos; 7ª- Durante os próximos 1 minutos e 15 segundos, a argamassa deve ficar em repouso; 8ª- Após o término do tempo, ligar o equipamento e misturar por mais de 1 minuto em velocidade alta.

Fonte: Elaboração Própria

Silva, Barros e John (2006) analisaram qual seria o melhor método de mistura para argamassa com fibras de polipropileno. Os autores concluíram que para a melhor distribuição das fibras nos compósitos, a melhor mistura é aquela que se faz na condição seca, com agregado seco e fibras secas. Em relação ao tipo de mistura foi observado que a mecânica tem a melhor dispersão das fibras. Para os misturadores, concluíram que os de eixo horizontal (por ter um volume maior) proporcionam uma melhor dispersão e homogeneização das fibras.

2.2.1 Teor de fibras de polipropileno em argamassas

Segundo Silva (2006), o maior teor de fibras de polipropileno já utilizado em argamassas de revestimento correspondeu a 3% do volume da argamassa. Conforme o mesmo autor, com a necessidade de aplicabilidade da argamassa para

revestimento, os fabricantes de fibras e trabalhos científicos nacionais têm recomendado o uso de 0,045 a 0,09% do volume de argamassa.

O teor de fibra também pode ser estimado pela massa de cimento da mistura. Centofante e Dagostini (2014) determinaram em suas pesquisas as quantidades (mínima, ótima e máxima) de fibra de polipropileno que podem ser adicionadas nas misturas em relação ao peso do cimento. Concluíram que o percentual de 0,2 da massa de cimento corresponde à quantidade mínima recomendada, 0,4% da massa de cimento corresponde ao teor ótimo e 0,6% do peso do cimento corresponde ao teor máximo recomendado.

Bentur e Mindess (1990) destacam que aumentando a quantidade de fibras por unidade de área do compósito, pode ocorrer nas argamassas um aumento na tenacidade, e o uso de baixos teores de fibras não proporciona uma capacidade resistente do compósito. Segundo os autores, a utilização de fibras de polipropileno em teores acima de 3% do volume de argamassa, podem aumentar a capacidade resistente do material.

Sajuan e Moragues (1997) concluíram em sua pesquisa, que a adição de fibra com teores entre 0,3% e 0,5% do volume de argamassa, pode favorecer o controle e a redução da fissuração por retração plástica, aumentar a capacidade de deformação e a tenacidade e resistência por impacto nas argamassas.

Silva (2006) relata que, dentre as propriedades estudadas, as argamassas reforçadas com fibras de polipropileno, apresentaram como benefício apenas o aumento da tenacidade. O autor associa esse resultado, às propriedades mecânicas da fibra (baixa resistência e módulo de elasticidade), e ao uso de baixos teores de fibra (500g/m^3 , 1000g/m^3 , 1500g/m^3 e 2500g/m^3), que, segundo ele, não proporcionaram uma capacidade resistente ao compósito.

As tabelas 3 e 4 apresentam, respectivamente, os teores de fibras de polipropileno em função da massa de cimento e do volume total de argamassa, que estão sendo utilizados por pesquisadores em seus trabalhos.

Tabela 3 – Teores de Fibras de Polipropileno em função da massa de cimento do compósito.

Autores	Teor de Fibras (%)	Investigação
Oliveira <i>et al.</i> (2001)	0,05; 0,15; 0,30	Influência da adição de fibra na argamassa.
Oliveira <i>et al.</i> (2003)	0,05; 0,15; 0,30	Caracterização mecânica da argamassa.
Silva (2011)	0,1; 0,2; 0,3	Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica.
Centofante e Dagostini (2014)	0,2; 0,4; 0,5; 0,6	Propriedades de argamassas de revestimento com adição de fibras de polipropileno.
Minari (2018)	1; 1,5	Argamassa de revestimento.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4 – Quantitativos de Fibras de Polipropileno em função do volume de argamassa.

Autores	Teor de Fibras	Investigação
Cortez (1999)	500; 1500; 3000 (g/m ³)	Revestimento de argamassa.
Toledo Filho <i>et al.</i> (1999)	0,1; 0,2; 0,5 (%) ⁽⁴⁾	Caracterização de argamassa
Bauer e Cortez (2001)	500; 1500; 3000 (g/m ³)	Compósitos à base de fibras sintéticas em argamassa para revestimento.
Costa <i>et al.</i> (2005)	0,1; 0,2 (%) ⁽⁴⁾	Verificar a ocorrência e evolução de fissuras em argamassas cimentícias.
Siqueira (2006)	0,25; 0,50 (%) ⁽⁴⁾	Argamassa de revestimento de alvenaria.
Monte, Silva e Barros (2009)	500, 1000, 1500 (g/m ³)	Avaliação da influência de fibras de polipropileno na resistência de aderência de revestimento de argamassa.
Silva (2015)	0,05; 0,10, 0,20 (%) ⁽⁴⁾	Influência da adição de fibra na argamassa com nanotitânia.
Antunes e Tiscoski (2016)	500; 1000; 1500 (g/m ³)	Análise do efeito da adição de fibras de polipropileno em argamassa de revestimento.
Fernandes (2017)	10; 20; 30 (%) ⁽⁴⁾	Efeitos da adição de fibras de polipropileno em argamassa de cimento Portland.
Colombo, Antunes (2017)	500 ;900; 1300 (g/m ³)	Análise das propriedades físico-mecânica de argamassa de revestimento.

(4) Quantitativo de fibras de polipropileno em função do volume total da argamassa.

Fonte: Elaboração Própria.

2.3 Características e Propriedades de Argamassas com Fibra de Polipropileno

Passini (2010) diz que a adição de fibras de polipropileno influencia os materiais compósitos no estado fresco, e no comportamento mecânico no estado endurecido, devido a fatores relacionados às característica físicas (aumento da porosidade e densidade) e mecânicas (baixo módulo de elasticidade reduz a resistência da matriz) das fibras e também aos relacionados com a matriz cimentícia, como a composição e

as propriedades da mesma, além de fatores como o modo de produção e as condições ambientais.

Minari (2018) afirma que as argamassas com incorporação de fibra de polipropileno (PP) necessitam das mesmas propriedades que as argamassas utilizadas na construção civil para obterem um bom desempenho. Desse modo, a seguir destacam-se algumas das propriedades necessárias no estado fresco e no estado endurecido, abrangendo suas definições e resultados de pesquisas que utilizaram a adição de fibras de polipropileno em matrizes cimentícias.

2.3.1 Consistência

A consistência é definida por Carasek (2007) como uma propriedade pela qual a argamassa tem uma maior ou menor facilidade de deformar-se sob ação das cargas impostas.

Oliveira, Gleize e Roman (2003) estudaram as consistências de argamassas com relação água/cimento (a/c) de 0,79 e com percentuais de 0,05, 0,15 e 0,30 de fibras em relação a massa de cimento. Observaram que a incorporação das fibras promoveu uma redução no índice de consistência. Segundo os autores, isso ocorreu devido as fibras utilizadas na pesquisa, possuírem um baixo diâmetro, o que facilitou o aumento do número de fibras dispersas na matriz. O autor também concluiu que a redução da consistência é diretamente proporcional ao aumento do teor de fibras de polipropileno na mistura.

Siqueira (2006) atribuiu a diminuição da consistência das argamassas estudadas ao aumento da coesão proporcionada pela adição das fibras. Constatou, também, que a redução na trabalhabilidade das misturas não dificultou a aplicação das argamassas em blocos cerâmicos.

Para Pelisser (2002), as fibras de polipropileno têm dificuldade em se dispersar no compósito, agrupando-se em “chumaços”, o que facilita o aprisionamento de parte da água da mistura e, conseqüentemente, promove a diminuição da consistência.

Alves e Biscouto (2017) utilizaram as fibras de polipropileno moídas na substituição de parte da areia (nos teores de 2,5% e 5%) em argamassas e observaram que ocorreu uma perda da consistência desses traços em relação ao sem adição de fibras (traço de referência). Os autores atribuíram esse resultado ao fato da areia possuir grãos mais arredondados, diferentemente das fibras que visualmente

apresentam um formato mais anguloso, e por isso acabaram gerando maior travamento das partículas na mistura.

Silva (2011) estudou argamassas com incorporação de fibras de polipropileno nos teores de 0,10%, 0,20% e 0,30% em relação a massa de cimento. O autor concluiu que os teores de fibras utilizados não influenciaram no índice de consistência das argamassas, e atribuiu os resultados aos baixos teores de fibras de polipropileno utilizados.

Minari (2018) pesquisou a influência de distintos teores de fibras de polipropileno (1% e 1,5% em relação a massa de cimento) em argamassas com uma relação água/cimento (a/c) de 0,59. O autor notou uma diminuição da consistência das argamassas com a incorporação das fibras, e atribuiu esse comportamento à explicação de Pelisser (2002), que diz que o fato das fibras se agruparem em chumaços, parte da água da mistura fica aprisionada, o que acaba promovendo a diminuição da consistência das argamassas com essas adições.

Colombo e Antunes (2017) adotaram um teor de fibras de polipropileno de 500, 900 e 1300g/m³ em relação ao volume de argamassa e uma relação de água/cimento (a/c) de 0,67. Foi observado que com o aumento do teor de incorporação de fibras ocorreu uma redução de consistência das argamassas produzidas, justificada pelos autores por conta da dificuldade de dispersão das fibras.

Antunes e Tiscoski (2016) estudaram uma argamassa de revestimento no traço de 1:5 e introduziram fibras de polipropileno nos teores de 500g/m³, 1000g/m³ e 1500g/m³ em relação ao volume de argamassa. Os autores notaram um aumento da relação água/cimento em função do aumento do teor de fibras de polipropileno, indicando que haveria uma perda gradativa da consistência se não houvesse o aumento do volume de água nas argamassas com maior adição de fibras.

Centofante e Dagostini (2014) utilizaram teores de fibras de polipropileno de 0,2%, 0,4%, 0,5% e 0,6% em relação a massa de cimento em traços de argamassa. Os autores observaram uma perda gradativa da trabalhabilidade dessas misturas com a adição das fibras em relação ao traço sem adição (traço de referência). Também concluíram que a pequena quantidade de fibras de polipropileno (teor de 0,2%) já conseguiu promover uma diminuição da consistência da argamassa, e que este efeito aumentou proporcionalmente com o aumento do teor de fibra, mas tendem a se estabilizar depois da porcentagem de 0,4%.

2.3.2 Retenção de Água

A retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco de manter sua consistência, quando sujeita a situações que provocam perda de água por evaporação e sucção do substrato.

A retenção de água favorece o melhor contato da argamassa com o substrato, uma vez que ao garantir a trabalhabilidade é possível que se tenha maior extensão de aderência do revestimento, e isso auxilia na diminuição da retração da camada, diminuindo as tensões internas em curtas idades e, por conseguinte, minimiza a fissuração (SILVA, 2006).

Oliveira (2001) diz que, por apresentarem uma grande área específica, as fibras de polipropileno podem contribuir para o aumento da retenção de água das argamassas, devido ao efeito de parede entre matriz e a fibra, pois a água fica retida pelas forças capilares que se desenvolvem entre elas. Além disso, utilizar a fibra de polipropileno em argamassas mostra um aumento na retenção de água devido à grande superfície específica das fibras, e ocorre um aumento da área específica do compósito, gerando assim, uma melhoria na retenção de água. (OLIVEIRA,2001).

Siqueira (2006) pesquisou argamassas de revestimento de alvenaria com teores de fibras de polipropileno de 0,25% e 0,50% em relação ao volume de argamassa. O autor observou uma tendência de aumento da retenção de água nas argamassas com a incorporação das fibras. Contudo, como não foi utilizada uma quantidade constante de água nas misturas, não descartou a possibilidade de que a relação água/aglomerante variável tenha afetado o comportamento dos compósitos no que tange a essa propriedade.

Oliveira (2001) relata que para traços de argamassas com fibras de polipropileno, que não possuam cal como um de seus componentes, pode ser observada uma tendência de aumento da retenção de água à medida que ocorre o aumento do teor de fibra nas misturas. Segundo o autor, a cal inibe a atuação das fibras na retenção de água das argamassas. Nos traços que possuem cal a tendência é que ocorra uma redução dessa propriedade à medida que o teor de fibras for elevado.

Oliveira, Gleize e Roman (2003) estudaram a influência da cal no desempenho de compósitos com fibras de polipropileno. Para o estudo utilizaram dois tipos de argamassa, uma na proporção de 1:3 (cimento: areia – em volume e $a/c=0,79$) e outra

com proporção de 1:2:9 (cimento: cal: areia – em volume e $a/c = 2,12$). Os teores de fibras usados em ambas argamassas foram de 0,05%, 0,15% e 0,30% em relação a massa de cimento. Com os resultados obtidos foi possível verificar que a adição da fibra influenciou apenas nas misturas cujo único aglomerante foi o cimento. Ou seja, para a argamassa cimento, cal e areia (1:2:9) a atuação da fibra é anulada pela ação da cal, que possui características favoráveis à retenção de água. Para o traço 1:3, na medida que ocorreu o aumento do teor de fibras nas misturas foi observada uma melhoria na retenção de água dos compósitos.

Silva (2006) constatou em sua pesquisa que a adição de fibras de polipropileno em argamassas com cal influenciou na retenção de água das misturas. Observou que a adição de fibras no teor de 500g/m^3 reduziu os valores de retenção de água de 95,3% (argamassa de referência – sem fibras) para 81,9% (argamassa com fibras – 500g/m^3). Para as argamassas com a incorporação de fibras no quantitativo de 1000g/m^3 e 1500g/m^3 , observou-se uma redução de aproximadamente 78% em relação à mistura de referência, e para a mistura com teor de 2500g/m^3 de fibras de polipropileno, observou-se uma diminuição no teor de retenção de água de 80%. O autor faz uma observação que a condição de ensaio em que a argamassa foi submetida pode não ter sido significativa ou sensível o suficiente para avaliar esta propriedade.

Silva (2011) utilizou um traço de 1:1:6 (cimento, cal e areia quartzosa) e teor de fibras de polipropileno de 0,10%, 0,20%, e 0,30% em relação a massa de cimento. Segundo Silva (2011), as fibras não influenciam significativamente nos resultados de retenção de água, possivelmente devido ao baixo consumo de fibras de polipropileno utilizado nas misturas.

Centofante e Dagostini (2014) estudaram argamassas com fibras de polipropileno nos teores de 0,2% a 0,6% (em relação a massa de cimento) e com uma relação água/cimento (a/c) de 0,69. Os autores notaram um pequeno aumento da capacidade de retenção de água das argamassas com fibra de polipropileno, comparado ao traço sem adição (traço de referência). Para Centofante e Dagostini (2014) o aumento na capacidade de retenção de água é associado ao fato das fibras, no interior do compósito, dificultarem a saída da água servindo como barreira, e modificando a capacidade de retenção da argamassa.

2.3.3 Teor de Ar Incorporado

O teor de ar incorporado está relacionado com a densidade de massa relativa da argamassa no estado fresco e endurecido, dessa forma, com o seu aumento, as argamassas são menos densas. Para Silva (2006), sua presença afeta a capacidade das argamassas se deformarem, influencia diretamente na energia de lançamento e, por fim, nas propriedades mecânicas do revestimento. Segundo o autor, o aumento de ar incorporado está relacionado com os contatos entre as fibras e entre as fibras e os agregados, os quais diminuem o empacotamento das partículas.

Siqueira (2006) estudou dois traços de argamassas para revestimento com incorporação de fibras de polipropileno nos teores de 0,25% e 0,50% em relação ao volume de argamassa. Concluiu que a incorporação de fibras propiciou um aumento do teor de ar incorporado na mistura, chegando a valores de ordem de 16% para o traço com 0,50% de fibras de polipropileno em volume de argamassa. O mesmo autor supôs que o aumento do ar incorporado se justificava ao aprisionamento de certa quantidade de bolhas de ar entre as cerdas das fibras.

Monte, Silva e Barros (2009) estudaram o teor de ar incorporado em argamassas com adição de fibras de polipropileno nos quantitativos de 100g/m³, 200g/m³ e 300g/m³. Observaram um aumento do teor de ar incorporado e uma redução da consistência das misturas com o acréscimo no teor de fibras, e associaram o resultado ao fato da maior consistência da mistura dificultar a saída do ar aprisionado.

2.3.4 Propriedades Mecânicas – Resistência à compressão axial

Siqueira (2006) afirma que a resistência à compressão axial não é uma propriedade de extrema importância para argamassas de revestimento, devido a essas forças não causarem fissuração na matriz, não diretamente em um plano perpendicular à tensão como acontece nos esforços de tração. Cincotto *et al.* (1995), citado por Siqueira (2006), diz que é importante estudar essa propriedade em argamassas de revestimento devido às movimentações térmicas que podem gerar esforços de compressão ou tração, dependendo se esse movimento for de expansão ou retração.

Segundo Minari (2018), as fibras de polipropileno provocam uma redução na resistência à compressão axial das argamassas devido ao aumento da quantidade de

ar incorporado durante o seu processo de produção, implicando um aumento da sua porosidade e perda do seu desempenho mecânico.

Silva (2011) utilizou teores de fibras de 0,10%; 0,20%; e 0,30% em relação a massa de cimento em argamassas e avaliou o seu comportamento mecânico. Observou que nos teores estudados a adição de fibras de polipropileno não influenciou significativamente a resistência de compressão axial das argamassas. O autor associou o resultado obtido ao baixo consumo das fibras. Grochoski *et al.* (2003) também não constataram influência na resistência à compressão axial de argamassas (traço 1:3, cimento e areia – em volume) com adição de 300g/m³, 600g/m³ e 900g/m³ de fibras de polipropileno. Segundo os autores, o resultado obtido foi atribuído ao baixo consumo de fibras utilizadas.

Silva (2006) pesquisou três argamassas de revestimento com um traço padrão de 1:1:6 (cimento: cal: areia – em volume). Para cada traço produzido incorporou diferentes teores de fibras de polipropileno (500g/m³, 1000g/m³, 1500g/m³ e 2500g/m³) e utilizou diferentes teores de água para manter a trabalhabilidade necessária da argamassa de revestimento de 255 ± 10 mm. O autor concluiu que as adições de fibras nos teores estudados não influenciaram na propriedade de resistência à compressão axial.

Oliveira (2001) utilizou um traço de argamassa de 1:2:9 e incorporou teores de fibras de polipropileno de 0,05%, 0,15% e 0,30% (em relação a massa de cimento). O autor observou que a adição de fibras deixou a estrutura da matriz mais porosa, devido ao maior teor de ar incorporado durante a produção das argamassas (o que conseqüentemente provocou uma redução no desempenho mecânico do compósito). Oliveira (2001) justifica a redução de resistência à compressão axial ao aumento da incorporação de vazios provocado pela fibra durante a produção dos compósitos.

Centofante e Dagostini (2014) avaliaram a propriedade mecânica de compressão em argamassas com distintos teores de fibras de polipropileno (0,2%, 0,4%, 0,5% e 0,6%) em relação a massa de cimento. Os autores notaram que os resultados do rompimento dos corpos de prova à compressão axial não se mostraram eficientes para a análise dessa propriedade nas argamassas estudadas. O valor de resistência à compressão axial para o traço sem adição de fibra (traço de referência) foi de 2,8 MPa. Para a mistura com 0,2% de fibra, esse valor passou para 2,9 MPa. Para a mistura com 0,4% de fibra, a resistência à compressão axial caiu para 2,3 MPa, e para os traços com teores de 0,5% e 0,6% o valor se manteve constante em 2,4

MPa. Os autores associaram os resultados díspares a possíveis defeitos na moldagem dos corpos de prova ou de erros na hora do rompimento. Alguns corpos de prova, segundo Centofante e Dagostini (2014), podem ter ficado com maior concentração volumétrica de fibras, o que poderia mascarar os resultados.

2.3.5 Propriedades Mecânicas – Resistência à tração na flexão

Silva (2011) afirma que a adição de fibras de polipropileno não influencia significativamente a resistência à compressão axial e à tração na flexão, possivelmente devido ao baixo consumo de fibras que são incorporados aos compósitos cimentícios.

Veiga, (1997), citado por Silva (2011), concluiu que em argamassa de revestimento não se consegue aumento efetivo da resistência à tração na flexão com adição de fibras inferiores a 1% do volume total de argamassa.

Minari (2018) observou que as fibras de polipropileno, apesar de diminuírem a resistência à tração na flexão, proporcionaram aos corpos de prova uma melhora na forma de ruptura, apresentando uma deformação plástica até chegar à ruptura. Essa propriedade também foi observada pelos autores Oliveira, Gleize e Roman (2003). Segundo os autores, esse comportamento é decorrente do aumento da absorção de energia ocasionada pela alta capacidade de alongamento das fibras de polipropileno e pelo seu comprimento de ancoragem.

Segundo Oliveira (2001), a redução da resistência mecânica nas argamassas com a adição de fibras é ocasionada por uma maior incorporação de ar, que induz a um maior índice de vazios e promove uma redução da sua capacidade mecânica.

Antunes e Tiscoski (2016) utilizaram uma quantidade de fibras de polipropileno em argamassas de 500g/m³, 1000g/m³ e 1500g/m³. Observaram uma redução na resistência à tração na flexão com a variação da quantidade de fibras nas misturas, e associaram esse comportamento à incorporação de ar causadas pelas fibras. Segundo Silva (2006), a porosidade dos sólidos afeta a sua resistência porque nos vazios há uma elevada concentração de tensões quando o corpo está sob carga. Essa concentração de tensão não oferece resistência alguma, favorecendo o aparecimento de rupturas microscópicas que podem se transformar em fissuras prejudiciais ao desempenho do sólido.

Martins e Soares (2016) afirmam que a perda de resistência à tração na flexão ocorre devido a argamassa com fibra necessitar de mais água de amassamento para

obter uma boa trabalhabilidade, sendo assim, parte dessa água evapora e deixa vazios no interior da mistura.

Oliveira, Gleize e Roman (2003) utilizaram uma argamassa de 1:2:9 (cimento: cal: areia – em volume), com três diferentes teores de fibras de polipropileno (0,05%, 0,15% e 0,30%, em relação a massa de cimento), além de uma argamassa sem fibra (argamassa de referência). Observaram que a adição de fibra de polipropileno influenciou na redução da resistência à tração na flexão. Segundo os autores, provavelmente mais adição de fibras ocasionou uma maior incorporação de ar pelas argamassas reforçadas, provocando assim um maior índice de vazios e a redução da sua capacidade mecânica.

Siqueira (2006) diz que em qualquer argamassa cimento/cal há uma tendência à diminuição da resistência à tração na flexão com a incorporação da fibra, que pode ser ocasionada tanto pelas maiores relações água/aglomerante dos compósitos, quanto pelo aumento do teor de ar incorporado, ocasionado pelas fibras.

Puertas *et al.* (2003) utilizaram um teor de fibras de 0,5% e 1% em volume da argamassa e notaram que as fibras de polipropileno reduziram a resistência à tração na flexão. Segundo os autores, a incorporação de fibras nas misturas diminui sua trabalhabilidade, o que acaba afetando a compactação da argamassa. Oliveira (2001) também concluiu que a adição de fibras de polipropileno reduz consideravelmente essa propriedade, mas também observou que as fibras atuaram favoravelmente na forma de ruptura das argamassas reforçadas, onde apresentaram uma pequena deformação plástica até atingir a ruptura.

Centofante e Dagostini (2014), tendo como base a média da resistência à tração na flexão da argamassa sem adição de polipropileno (1,1 MPa), notaram que a incorporação de 0,2% e 0,4% de fibra (em relação a massa de cimento da mistura) não causou importantes ganho ou perda de resistência nas misturas. Para o traço com teor de fibra de polipropileno de 0,5%, os autores perceberam um aumento de cerca de 20% na resistência à tração na flexão em comparação ao traço sem fibras (referência), mas esse valor cai para menos de 8% quando o traço com teor de fibra 0,6% é comparado com o traço de referência.

2.4 Resumo de pesquisas com argamassas com fibra de Polipropileno

A Tabela 5 apresenta um resumo de pesquisas realizadas sobre o tema.

Tabela 5 – Estudos com uso de fibra de polipropileno em matrizes cimentícias.

Autor (a)	Tipo de substituição	Teor de fibra	Propriedades avaliadas
Oliveira (2001)	Massa de cimento	0,05%	Retenção de água
		0,15%	Absorção de água por capilaridade
		0,30%	Resistência à compressão axial
Bauer e Cortez (2001)	Volume de argamassa	500 g/m ³	Módulo de deformação
		1500g/m ³	Resistência à tração na flexão
		3000g/m ³	Resistência à compressão axial
Oliveira, Gleize e Roman (2003)	Massa de cimento	0,05%	Consistência
		0,15%	Retenção de água
		0,30%	Retração
			Resistência à compressão axial
Siqueira (2006)	Volume de argamassa	0,25%	Retenção de Água
		0,50%	Ar Incorporado
			Resistência de aderência à tração
Silva (2006)	Volume de argamassa	500 g/m ³	Retenção de água
		1000 g/m ³	Resistencia à Compressão
		1500 g/m ³	Squeeze Flow
		2500g/m ³	
Monte, Silva e Barros (2009)	Volume de argamassa	500 g/m ³	Teor de ar
		1000 g/m ³	Retração
		1500g/m ³	
Silva (2011)	Massa de cimento	0,10%	Consistência
		0,20%	Retração por secagem
		0,30%	Retenção de água
			Resistência à tração na flexão
			Resistência à compressão
Centofante, Dagostini (2014)	Massa de cimento	0,2%	Módulo de elasticidade
		0,4%	Consistência
		0,5%	Retenção de água
		0,6%	Densidade de Massa
			Resistência à compressão
Silva (2015)	Volume de argamassa	0,05%	Porosidade aberta
		0,10%	Absorção de água
		0,20%	Retração
Antunes e Tiscoski (2016)	Volume de argamassa	500 g/m ³	Resistência à compressão axial
		1000 g/m ³	Resistência aderência à Tração
		1500g/m ³	
Fernandes (2017)	Volume de argamassa	10%, 20%, 30%	Resistência à compressão axial
Alves e, Biscouto Giulia Seonato (2017)	Volume de agregado miúdo	2,5%	Consistência
		5%	Densidade (estado endurecido)
		7,5%	Acústico
			Resistência à tração na flexão
			Resistência à compressão axial
Colombo e Antunes (2017)	Volume de argamassa	1300 g/m ³	Módulo de elasticidade
		500 g/m ³	Consistência
		900 g/m ³	Absorção por capilaridade
			Módulo de elasticidade dinâmico e estático
			Resistência à tração na flexão

Minari (2018)	Massa de cimento	1% 1,5%	Consistência
			Absorção por imersão
			Resistência à compressão axial
			Resistência à tração na flexão

Fonte: Elaboração própria.

3 METODOLOGIA

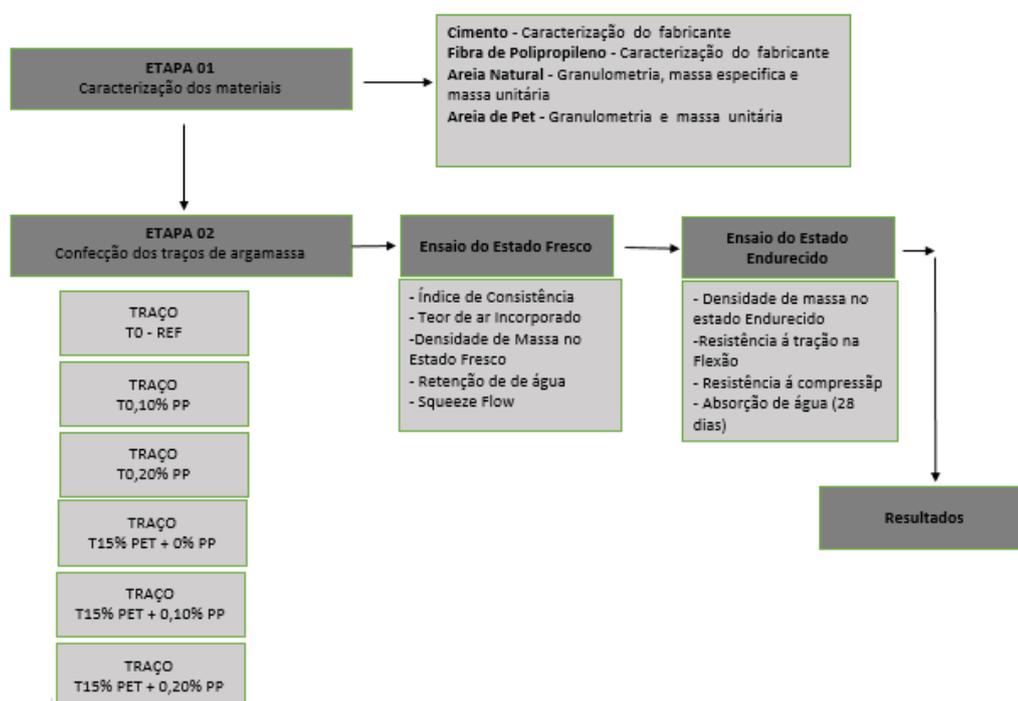
Neste capítulo serão apresentadas, de forma detalhada, as etapas que compõem o desenvolvimento desta pesquisa e os materiais selecionados para o seu desenvolvimento. Inicialmente será apresentado o programa experimental e suas etapas (dosagem das argamassas, mistura, moldagem e cura dos corpos de prova). Na sequência são mostrados os materiais selecionados para o desenvolvimento do trabalho e suas caracterizações, e por fim são apresentados os ensaios de controle das argamassas investigadas.

3.2 Programa Experimental

O programa experimental desta pesquisa é apresentado na Figura 6, e está dividido em duas etapas distintas. A primeira compreende a seleção e a caracterização dos materiais utilizados. A segunda etapa abrange a dosagem, mistura, moldagem e cura das argamassas, e posterior caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido, respectivamente.

Para os ensaios de caracterização dos materiais, confecção e determinação das propriedades das argamassas foi utilizado o Laboratório de Construção Civil da UNIPAMPA, localizado no campus Alegrete/RS.

Figura 6 - Fluxograma do programa experimental.



Fonte: Elaboração própria.

3.1 Materiais

Os materiais selecionados para a confecção das argamassas foram os seguintes:

- Cimento Portland CP IV;
- Areia natural;
- Areia de Pet;
- Fibra de Polipropileno;
- Água proveniente da rede pública;
- Cal Hidratada.

Na pesquisa foi empregado um cimento pozolânico tipo CP IV (classe 32), por ser recomendado para a produção de argamassas, além de facilmente encontrado na região. A cal hidratada, do tipo CH II (em pó), foi adquirida comercialmente na cidade de Alegrete/RS. A areia natural será proveniente de Manoel Viana/RS e a areia Pet, da empresa de reciclagem PETCEU/ Paraná-PR. A fibra de polipropileno que foi utilizada é do tipo monofilamento com 12 mm de comprimento.

Antes da composição das argamassas foram realizados os ensaios de caracterização dos materiais selecionados. Algumas das caracterizações foram obtidas com o fabricante, como o caso do cimento Portland CPIV, cal e fibras de polipropileno; outras foram realizadas em laboratório. A Tabela 6 apresenta um resumo das caracterizações dos materiais.

Tabela 6 - Ensaio de caracterização dos materiais que compõem as argamassas.

Material	Propriedades	Obtenção	Norma Regulamentadora
Cimento Portland	Físicas, químicas e mecânicas	Fabricante	-
Cal	Físicas, químicas e mecânicas	Fabricante	-
Agregado miúdo	Granulometria	Ensaio Laboratoriais	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
	Massa Específica		NBR NM 52 (ABNT, 2009)
	Massa Específica Aparente		NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Fibra de Polipropileno	Físicas, e química	Fabricante	-

Fonte: Elaboração Própria.

3.1.1 Caracterização do Cimento Portland

O cimento Portland utilizado na produção das argamassas foi o CP IV - 32, produzido pela empresa Votoran. A caracterização físico-química e mecânica do material foi fornecida pelo fabricante e estão apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 – Propriedades físico-química e mecânica do cimento Portland CPIV-32.

Finura			Tempo de Pega (min.)		Resistência à Compressão (MPa)		
Blaine (cm ³ /g)	#200(%)	#325(%)	Início	Fim	03 Dias	07 Dias	28 Dias
4690	0,1	-	350	440	19,3	23,2	38,2
MgO (%)		SO3 Média (%)	Perda ao Fogo (%)		Resíduo Insolúvel (%)		
4,4		1,7	2		29,3		
pH em solução Aquosa		Massa Específica Absoluta (g/cm ³)	Solubilidade em água (g/L)		Massa Específica Aparente (g/cm ³)		
12 ≤ pH ≤ 14		2,8 ≤ Y _a ≤ 3,2 a 20°C	Até 1,5 a 20°C		0,9 a 1,2 a 20°C		

Fonte: Dados disponibilizados pelo fabricante.

3.1.2 Caracterização da Cal Hidratada

A cal utilizada na confecção das argamassas foi do tipo CH-II. A composição química do aglomerante foi fornecida pelo fabricante e está apresentada na tabela 8.

Tabela 8 – Composição Química da Cal Hidratada CH-II.

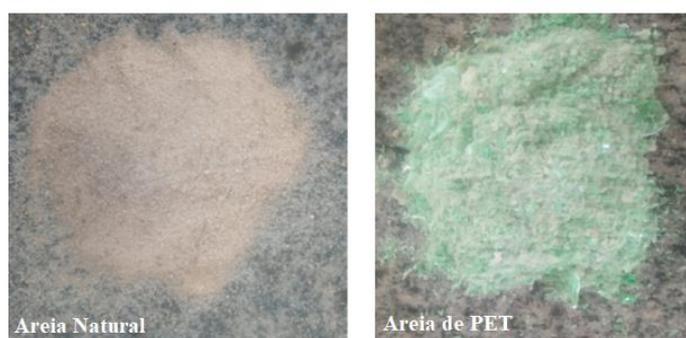
Composição Química	
Densidade	571g/L
Perda ao Fogo	21,70%
Resíduo Insolúvel	8,60%
CO ₂	3,59%
Óxidos Totais (na base não voláteis)	88,93%
Óxidos Totais não Hidratados	14,69%
CaO (Óxido de Cálcio)	43,33%
MgO (Óxido de Magnésio)	26,30%
Umidade	0,46%
Granulometria ABNT 30 (0,6 mm)	0,00%
Granulometria ABNT 200 (0,075 mm)	13,85%

Fonte: Dados disponibilizados pelo fabricante.

3.1.3 Caracterização do Agregado Miúdo

Como agregado miúdo foi utilizada areia natural e areia de resíduo PET, conforme apresentado na figura 7.

Figura 7 – Areias utilizadas nas argamassas.



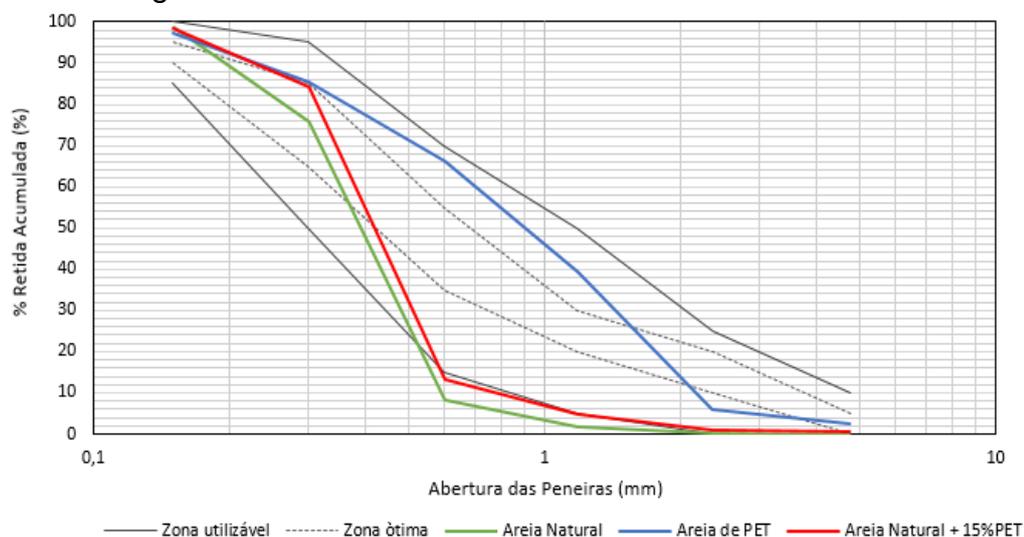
Fonte: Elaboração Própria

3.1.3.1 Composição Granulométrica

Para a caracterização tanto da areia natural como na areia de resíduo PET, foram de acordo com os procedimentos recomendados pelas normas brasileiras NBR NM 248 (ABNT, 2003): Agregados – Determinação da composição granulométrica. Para realização desse ensaio foram utilizados os seguintes materiais: Balança, estufa, peneira, bandejas, pincel e fundo avulso de peneira.

O gráfico 1 apresenta a curva granulométrica das areias utilizadas na confecção das argamassas.

Gráfico 1 – Curva granulométrica das areias.



Fonte: Elaboração Própria.

A granulometria do agregado miúdo natural (Gráfico 1) resultou em um diâmetro máximo de 1,18 mm e um módulo de finura de 1,85, dados que caracterizam o agregado natural como uma areia fina de acordo com NM 248 (ABNT, 2003). Nota-se que a curva granulométrica da areia natural não se encontra em sua totalidade dentro da zona utilizável, recomendada por norma NM 248 (ABNT, 2003).

Para o agregado reciclado de PET, o diâmetro máximo obtido foi de 4,75 mm e o módulo de finura de 2,96 caracterizando uma areia média, de acordo na NM 248 (ABNT, 2003). A curva granulométrica do agregado de PET, se comporta de maneira parecida ao agregado natural, visto no gráfico 1 que a mesma se posiciona dentro da zona utilizável, e em partes fora da zona ótima estipulada pela norma.

A substituição parcial do agregado miúdo natural pelo agregado reciclado de PET, foi realizada em volume de porcentagens de 15%. A sua granulometria foi executada conforme a NM 248 (ABNT, 2003) e esta apresentada no gráfico 1. A mistura com a composição das areias apresentou um diâmetro máximo de 4,75 mm e o módulo de finura de 2,02. Os dados de acordo com Bauer (2000) caracterizam o material como uma areia fina (módulo de finura de 1,71 a 2,85).

3.1.3.2 Determinação da massa unitária

O ensaio foi realizado seguido as prescrições da NBR NM 45 (2006), sendo utilizados os seguintes equipamentos: balança, haste de adensamento, recipiente cilíndrico, pá, placa de calibração e estufa.

Os resultados obtidos na determinação da massa unitária, tanto no estado compactado (Método A) como no estado Solto (Método C), estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Massa Unitária da Areia Natural no Estado Compactado.

Material	Massa Unitária no Estado Compactado	Massa Unitária no Estado Solto
Areia Natural	1017,03 kg/m ³	968,57 kg/m ³
Areia de PET	423,71 kg/m ³	369.35 kg/m ³

Fonte: Elaboração Própria.

3.1.3.3 Determinação da Massa específica

A massa específica da areia natural foi determinada seguindo as prescrições da NM 52 (ABNT, 2009), apresentando um valor de 2,635g/cm³. Para o agregado reciclado de PET foi adotado o valor de 1,34g/cm³, de acordo com Flora et al. (2018).

3.1.4 Caracterização da Fibra de Polipropileno

A fibra de polipropileno utilizada no experimento foi do tipo monofilamento de 12 mm de comprimento. O tipo de fibra utilizado e a sua caracterização física e mecânica (fornecida pelo fabricante) está apresentada na tabela 10.

Tabela 10- Característica físico-química da fibra de polipropileno.

	Característica Física e Mecânica	
	Densidade	0.93g/cm ³
Seção	Circular 18μm	
Alongamento	80%	
Resistencia a Tração	300 MPa	
Temperatura de Fusão	160°C	
Resistencia ao Álcalis	Excelente	
Comprimento	12 mm	



Fonte: Dados disponibilizados pelo fabricante.

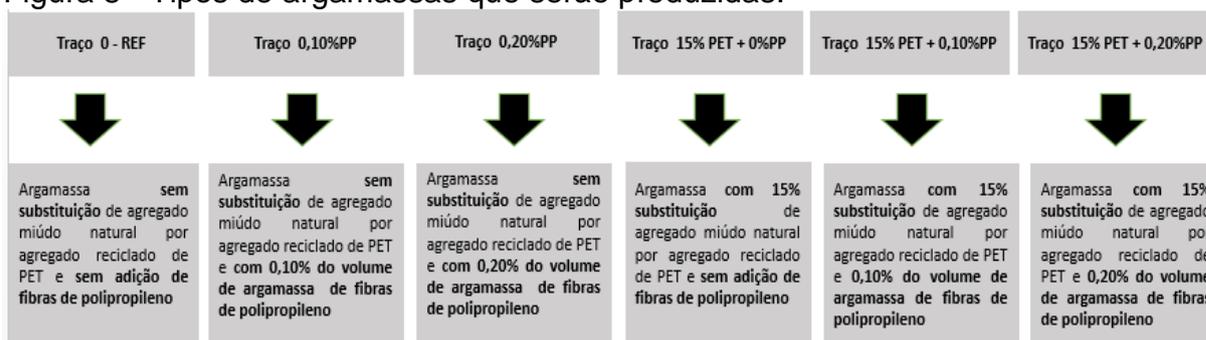
3.2 Dosagem das Argamassas

As argamassas foram elaboradas nas proporções de 1:4 (cimento e cal: areia – em volume), sendo o traço adquirido do trabalho de Machado (2019).

Para o desenvolvimento da pesquisa foram confeccionados quatro tipos de argamassas (Figura 8): uma de referência (com 100% de areia natural e sem fibra de polipropileno); outra com substituição parcial em volume de 15% de areia natural por areia de PET (e sem fibra de polipropileno), e duas argamassas com areia de PET e diferentes teores de fibras de polipropileno (0,10% e 0,20% de fibras de polipropileno em relação ao volume de argamassa). O uso dos teores de fibras de polipropileno de 0,10% e 0,20% em relação ao volume de argamassa foram escolhidos por serem alguns dos teores mais estudados no meio científico (Silva (2015), Fernandes (2017), Costa *et al* (2005), Toledo Filho *et al.* (1999), entre outros).

A proporção dos materiais constituintes das argamassas tem influência significativa nas suas propriedades, torna relevante a metodologia utilizada para medição dos materiais, e as fibras de polipropileno podem inicialmente ser medidas em volume, e, posteriormente, convertidas em massa (CALHAU, 2000).

Figura 8 - Tipos de argamassas que serão produzidas.



Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 11 apresenta os traços em volume que serão desenvolvidos, sendo que para cada traço serão executadas seis (6) corpos de prova, totalizando 24 amostras.

Tabela 11 - Traços em volume - Dosagem 1:4.

Identificação Traço	Cimento	Cal	Areia	PET	PP
T0 - REF	0,75	0,25	4	0	0
T 0,10%PP	0,75	0,25	4	0	0,10% ⁽¹⁾
T 0,20%PP	0,75	0,25	4	0	0,20% ⁽¹⁾
15%PET + 0%PP	0,75	0,25	3,4	0,6	0
15%PET+0,10%PP	0,75	0,25	3,4	0,6	0,10% ⁽¹⁾
15%PET+0,20%PP	0,75	0,25	3,4	0,6	0,20% ⁽¹⁾

⁽¹⁾ em relação ao volume total da argamassa.

Fonte: Elaboração Própria.

Para determinar a relação água/cimento será fixado o índice de consistência para o traço de referência (0%PET+0%PP), onde o resultado deverá ser igual a 250 ± 10 mm. Para os demais traços, a partir do índice de consistência será estabelecida uma relação de água/cimento que atenda esse parâmetro. Poderão ocorrer alterações na relação a/c dos traços para o atendimento do parâmetro da consistência, sendo que essas alterações podem ter correlação direta com outros fatores, como o teor de fibras de polipropileno e o teor de PET nas misturas, e as variações de temperatura e umidade ambiente nos dias das dosagens.

3.2.1 Procedimento de mistura, moldagem e cura

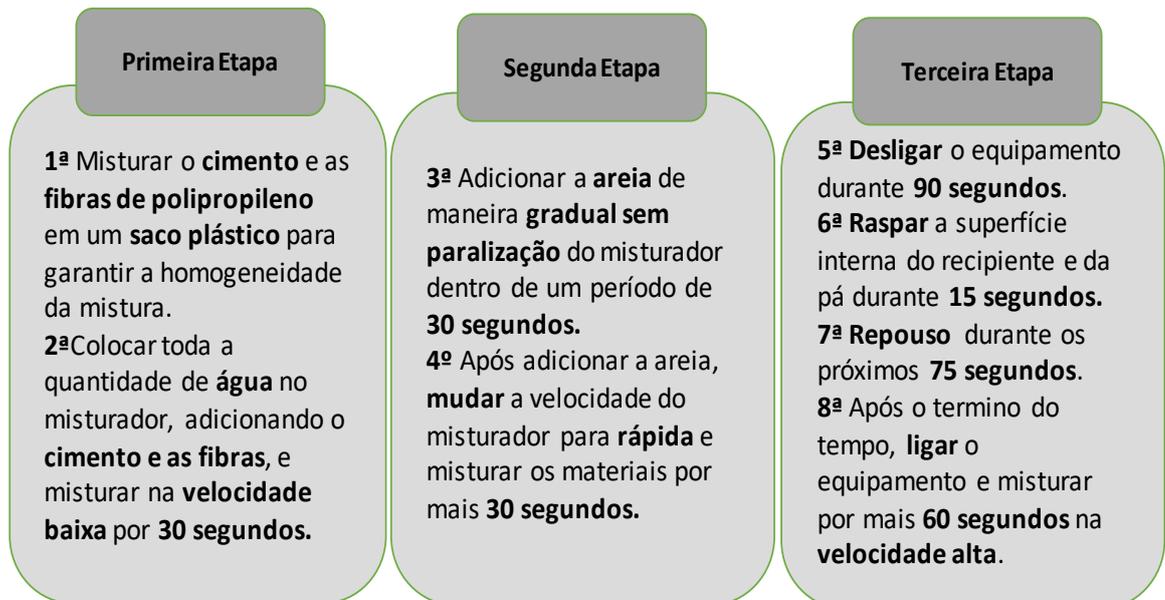
Conforme já informado, todas as atividades práticas desta pesquisa foram desenvolvidas no Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil.

Para os procedimentos de mistura e moldagem das argamassas foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) balança;
- b) misturador mecânico;
- c) proveta;
- d) cronômetro;
- e) espátula.

O procedimento de mistura dos traços de argamassas está ilustrado na figura 9 e seguirá as recomendações de Minari (2018). A escolha se justifica por se tratar de um procedimento simples e rápido, e que permite uma boa dispersão das fibras, garantindo uma mistura homogênea.

Figura 9 - Procedimento de execução dos Traços de Argamassa.



Fonte: Elaboração Própria.

Para os ensaios de resistência à compressão axial, tração na flexão e ensaio de capilaridade da água foram moldados corpos de prova prismáticos com dimensões de 4x4x16cm (Figura 10). A moldagem das argamassas seguirá as prescrições da NBR 13279 (ABNT, 2005).

Figura 10 – Moldes prismáticos utilizados na moldagem das argamassas e os corpos de prova após a desmoldarem.



Fonte: Elaboração Própria.

Após a moldagem, os corpos de prova foram mantidos nos moldes por (48 ± 24) , então, foram desmoldados e mantidos em condição de cura úmida até serem ensaiados.

3.3 Ensaios de Caracterização das Argamassas no Estado Fresco

Para melhor compreender os processos que ocorrem nas argamassas, é necessário caracterizá-las tanto em seu estado fresco, quanto no endurecido. A Tabela 12 mostra os ensaios selecionados para a caracterização das argamassas no seu estado fresco e as suas respectivas normas.

Tabela 12 - Ensaios de caracterização de argamassas no Estado Fresco.

Ensaio	Norma Regulamentadora
Índice de Consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)
Densidade de massa e teor de ar incorporado	NBR 13278 (ABNT, 2005)
Retenção de Água	NBR 13277 (ABNT, 2005)
Squeeze Flow	NBR 15839 (ABNT, 2010)

Fonte: Elaboração Própria.

3.3.1 Índice de consistência

O ensaio para determinação do índice de consistência das argamassas foi executado segundo as recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2016): Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos – Preparo da Mistura e Determinação do Índice de Consistência.

Para a realização do ensaio foi utilizada uma mesa de consistência, um molde cônico, um soquete metálico, uma régua metálica e um paquímetro, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2019). Os equipamentos e o procedimento do ensaio estão representados na figura 11.

Figura 11- Procedimentos do ensaio de Índice de consistência.



Fonte: Elaboração Própria.

Para o desenvolvimento do trabalho, conforme já informado, a consistência foi fixada em 250 ± 10 mm, e a partir disso a quantidade de água nas misturas foi determinada para atender esse parâmetro.

3.3.2 Ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado

O ensaio de teor de ar incorporado foi determinado conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 13278 (ABNT, 2005): Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. A Figura 12 apresenta os equipamentos necessários para a execução do ensaio e os procedimentos do ensaio.

Figura 12 – Equipamentos e procedimentos para execução do ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado.



Fonte: Elaboração Própria.

A densidade de massa foi calculada através da Equação 2.

$$d = \frac{mc - mv}{vr} 1000 \quad (1)$$

Sendo:

mc é a massa do recipiente contendo argamassa, em gramas;

mv é a massa do recipiente vazio, em gramas;

vr é o volume do recipiente, em centímetros cúbicos.

O teor de ar incorporado na argamassa foi obtido pela seguinte equação:

$$A = 100. \left(1 - \frac{d}{dt}\right). \quad (2)$$

Onde:

D é o valor da densidade de massa da argamassa, em gramas por cm³;

Dt é o valor da densidade de massa teórica da argamassa, em gramas por cm³.

3.3.3 Ensaio de Retenção de Água

O ensaio de retenção de água foi realizado seguindo as prescrições da NBR 13277 (ABNT, 2005) – Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.

Os materiais utilizados no ensaio foram: Funil de Buchner com bomba de vácuo, disco de papel filtro, espátula, régua, balança e cronometro. A figura 13 representa os equipamentos e os procedimentos do ensaio.

Figura 13- Equipamentos e procedimentos do ensaio de Retenção de água.



Fonte: Elaboração Própria.

A determinação da retenção de água (R_a) ocorreu através da expressão 3 e o fator água/ argamassa fresca através 4:

$$R_a = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF(m_a - m_v)} \right] \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (4)$$

Onde:

R_a = Retenção de água expressa em (%);

AF = Fator água/argamassa fresca;

M_a = Massa do conjunto com argamassa em gramas (g);

M_s = Massa do conjunto com argamassa após a sucção em gramas (g);

M_v = Massa do conjunto vazio em gramas (g);

M_w = Massa total de água acrescentada na mistura em gramas (g);

M = Massa de argamassa industrializada ou soma dos componentes anidros no caso de argamassa dosada em obra, em gramas (g).

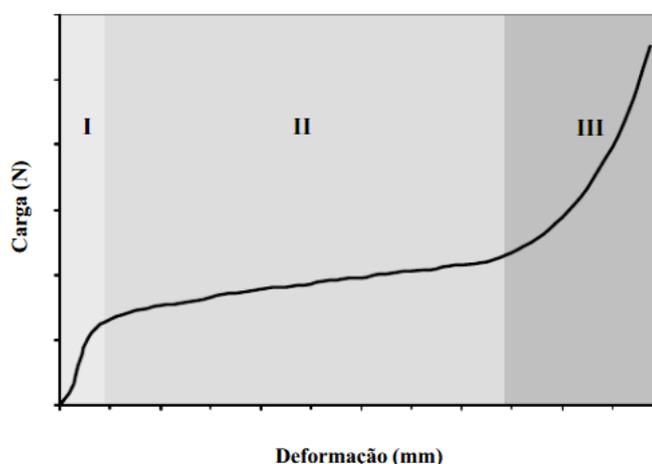
3.3.4 Ensaio Squeeze Flow

O ensaio Squeeze Flow é uma técnica de avaliação das características reológicas da argamassa executada conforme a norma NBR 15839 (ABNT 2010) – Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos - Caracterização reológica pelo método squeeze-flow. O ensaio consiste em medir o esforço necessário

para que a argamassa, no seu estado fresco, se deforme por um esforço de compressão axial. Para a execução do procedimento é necessária uma máquina universal de ensaio (prensa) e ferramentas básicas, como base de aço robusta, placa inferior e superior, gabaritos, moldes e espátula.

A ABNT NBR 15839/2010 normatiza o ensaio do Squeeze Flow, e seus resultados expressam um gráfico com um comportamento que contém três estágios definidos, conforme mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Perfil típico de carga versus deslocamento de um ensaio de squeeze flow.



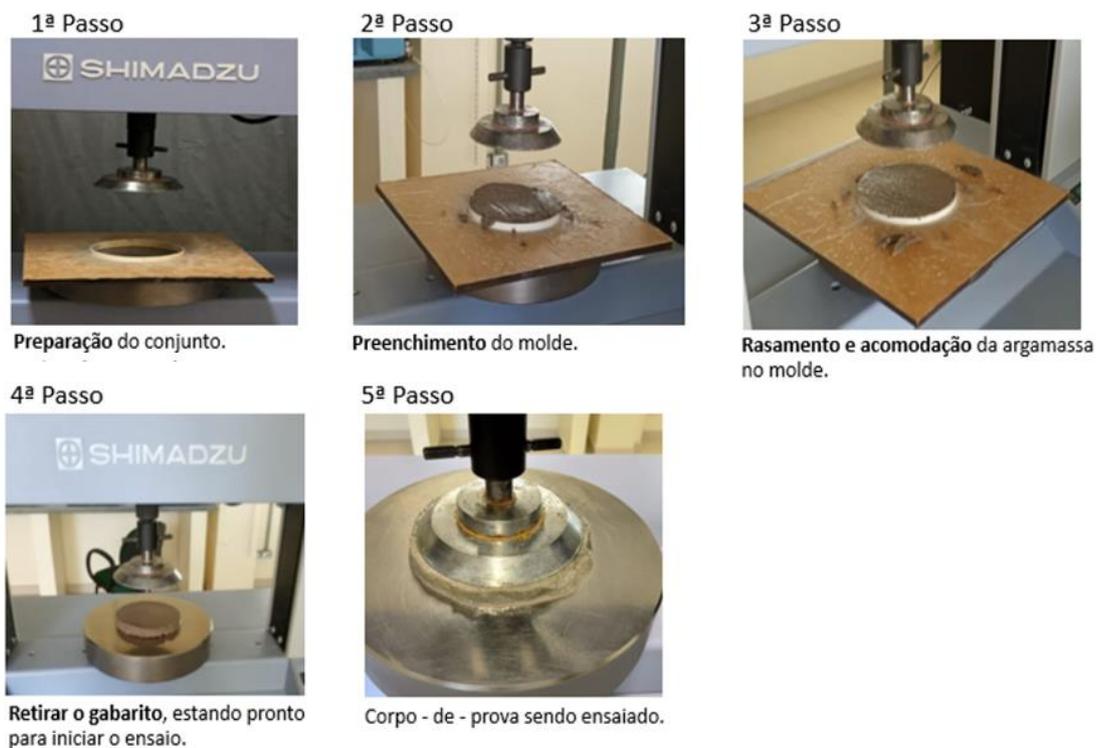
Fonte: Cardoso, Pileggi e John (2005)

Cardoso *et al.* (2005) define que o comportamento de uma amostra de argamassa ensaiada pode apresentar três estágios distintos (Figura 13). O primeiro estágio (deformação elástica), que se caracteriza por um pequeno deslocamento. O segundo estágio (estágio intermediário), que representa o processo de deformação plástica e/ou fluxo viscoso. Nessa etapa, os autores afirmam que o material é capaz de se deformar sem aumento significativo da força empregada. Por fim, o terceiro estágio, que compreende um grande deslocamento da argamassa. Nessa fase, ocorre um enrijecimento do material por deformação, o que acaba dificultando a sua aplicação. Cardoso *et al.* (2005) ressaltam que a intensidade dos estágios e a deformação podem ser variáveis, uma vez que dependem de alguns fatores como a composição dos materiais, a granulometria e a presença de aditivos na mistura. Ainda, segundo os autores, pode ocorrer uma variação de comportamento da argamassa em função da configuração adotada para o ensaio.

Nesta pesquisa, o ensaio para avaliação reológica de argamassas (*squeeze flow*) foi realizado em uma prensa Shimadzu, utilizando uma velocidade de

deslocamento de 0,1mm/s, conforme prescreve a norma NBR 15839 (ABNT, 2010). Os equipamentos e os procedimentos para a realização dos ensaios estão demonstrados na figura 15.

Figura 15 – Procedimentos do ensaio *Squeeze Flow*.



Fonte: Elaboração Própria.

3.4 Caracterização da argamassa no estado endurecido

Para a caracterização da argamassa no estado endurecido serão realizados quatro ensaios: densidade de massa no estado endurecido, ensaio de absorção por capilaridade, ensaio de tração na flexão e compressão axial. A Tabela 13 apresenta a descrição dos ensaios e as respectivas prescrições normativas que os regem.

Tabela 13 - Ensaio de caracterização de argamassas no Estado Endurecido.

Material	Ensaio	Norma Regulamentadora
Argamassa no estado endurecido	Densidade de massa no estado endurecido	NBR 13280 (ABNT,2005)
	Absorção por Capilaridade	NBR 9779 (ABNT, 2012)
	Tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005)
	Compressão Axial	

Fonte: Elaboração Própria.

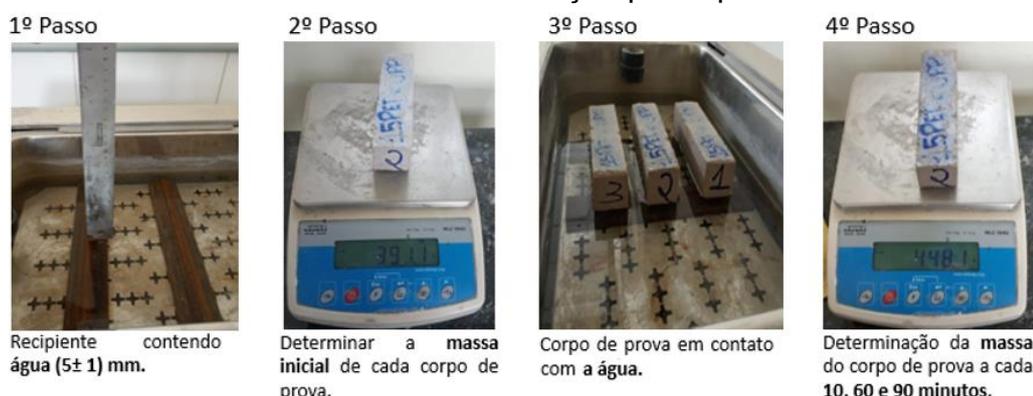
3.4.1 Densidade de massa no estado endurecido

O ensaio de determinação da densidade de massa no estado endurecido foi executado aos 28 dias em três corpos de provas por traço, de acordo com as diretrizes normativas da NBR 13280 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido (ABNT, 2005).

3.4.2 Ensaio de absorção por capilaridade

O ensaio de determinação da absorção de água, através da ascensão capilar, seguiu as recomendações da NBR 9779 (ABNT 2012). Foram ensaiados três corpos de prova prismáticos (com dimensões de 4x4x16cm) por tipo de argamassa, na idade de controle de 28 dias (Figura 16). Para realizar o ensaio foram utilizados os seguintes equipamentos: estufa, recipiente, suportes e balança.

Figura 16 – Procedimento do ensaio de Absorção por capilaridade.



Fonte: Elaboração Própria.

3.4.3 Ensaio de tração na flexão e à compressão axial

A norma NBR 13279 (ABNT, 2005): Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, indica o procedimento experimental para determinar a resistência à tração na flexão e à compressão axial. Para a realização do ensaio foi utilizado a prensa modelo EMIC DL 20000, com capacidade de carga de 200 KN, e a velocidade empregada para aplicação do carregamento foi de 3mm/mim, atendendo os padrões da NBR 13279 (ABNT, 2005). Os materiais e equipamentos utilizados foram: moldes prismáticos misturador mecânico, soquete metálico, máquina para ensaio de compressão e tração na flexão, câmara úmida, paquímetro, e capeador de enxofre.

Foram moldados três corpos de prova prismáticos de 4x4x16cm por traço, os quais foram desmoldados após 48h e submetidos ao processo de cura por 28 dias, após esse período, as amostras foram rompidas para a determinação de suas propriedades mecânicas (Figura 17).

Figura 17 – Procedimentos para execução dos ensaios de tração na flexão (1) e de resistência de compressão axial (2).



1. Procedimento de ensaio de Resistência de tração na flexão.



2. Procedimento de ensaio de Resistência de Compressão Axial.

Fonte: Elaboração Própria

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesse tópico serão apresentados os resultados obtidos quanto ao comportamento das argamassas em seu estado fresco e endurecido, bem como a discussão desses resultados acerca de cada ensaio realizado.

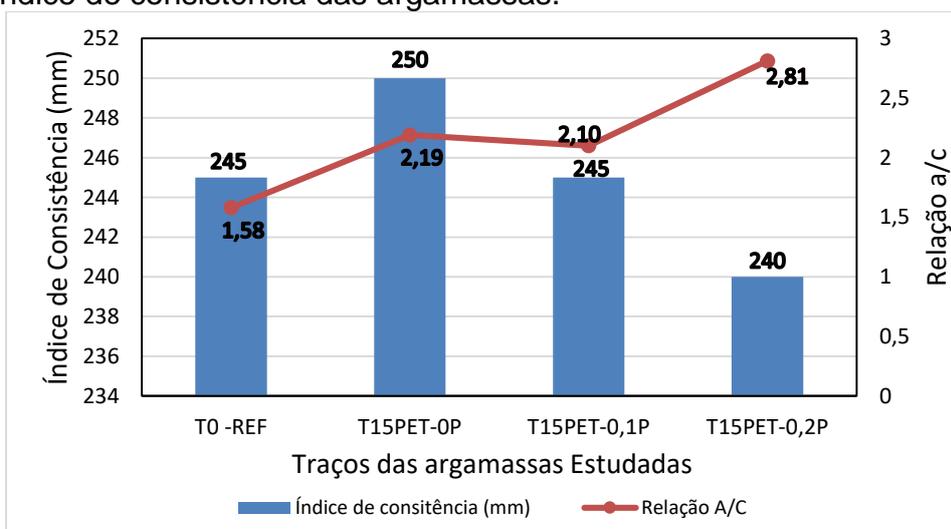
4.1 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos através dos ensaios no estado fresco (índice de consistência, teor de ar incorporado, densidade de massa e *Squeeze Flow*), determinados logo após o processo de mistura.

4.1.1 Determinação do Índice de Consistência

O gráfico 2 apresenta os índices de consistência dos quatro traços estudados e a variação da relação água/cimento (*a/c*) utilizada em cada mistura. Todas as argamassas apresentaram índices de consistência dentro do parâmetro estabelecido no Programa Experimental (250 ± 10 mm). Os resultados foram obtidos através da média de três determinações do diâmetro da amostra, conforme recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2016) e estão apresentados na figura 18. Na tabela 14, são mostradas as condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar (UR) nos dias dos ensaios.

Gráfico 2 - Índice de consistência das argamassas.



Fonte: Elaboração própria

Tabela 14 – Condições Ambientais

Traço	T (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)
T0 -REF	30,4	56
T15PET-0P	29,8	67
T15PET-0,1P	29,7	58
T15PET-0,2P	28,6	55

Fonte: Elaboração própria

Figura 18 – Determinação do índice de consistência das argamassas.



Fonte: Elaboração própria

O gráfico 2 mostra que houve uma variação da relação a/c para manter o índice de consistência dos traços dentro do parâmetro estabelecido. A utilização de areia reciclada de PET (T15PET-0P) implicou em um aumento da relação água/cimento (a/c) para a manutenção da trabalhabilidade, quando comparada com o traço de referência (T0-REF). A análise do gráfico 2 também indica que a redução da consistência dos traços estudados foi diretamente proporcional ao aumento do teor de fibras nas misturas, e que este parâmetro também pode ter sofrido influência das condições ambientais do laboratório no momento do ensaio (variação da temperatura e da umidade relativa).

4.1.2 Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado

Para cada traço estudo foi realizado um ensaio de densidade de massa e de teor de ar incorporado, seguindo os procedimentos estabelecidos conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005). Os resultados obtidos quanto a essas propriedades estão na tabela 15.

Tabela 15 - Resultados do ensaio de Densidade.

Parâmetros	T0 REF	T15PET - 0PP	T15PET-0.1PP	T15PET -0.2PP
Densidade de Massa (g/cm ³)	2,23	1,89	1,86	1,83
Teor de Ar Incorporado (%)	1,98	2,72	4,62	1,41
Classificação NBR 13281/2005	D6	D4	D4	D4

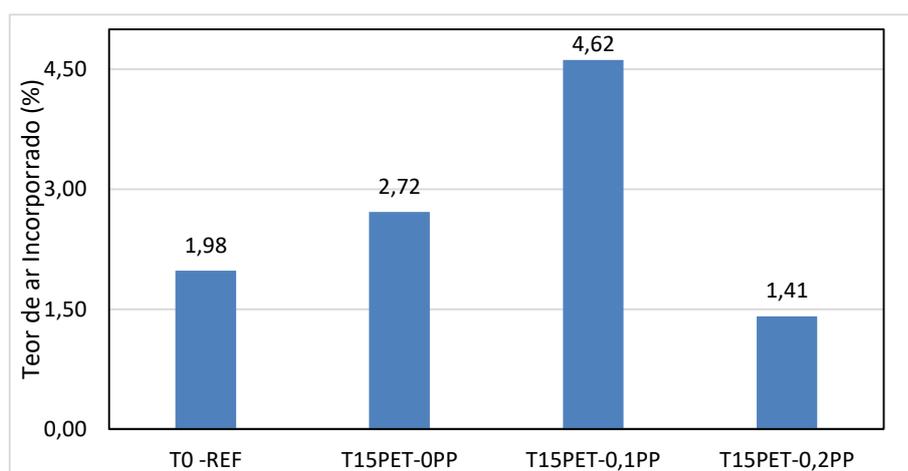
Fonte: Elaboração Própria

A tabela 15 mostra que a incorporação de areia PET e fibras de polipropileno nas argamassas promoveram uma redução na densidade de massa dessas misturas. Segundo Centofante e Dagostini (2014) e Silva (2011), essa redução é explicada pelo fato de as fibras e a areia PET serem matérias leves, o que auxilia na redução do peso das argamassas.

As argamassas estudadas foram classificadas conforme a NBR 13281 (ABNT,2005), e de acordo com a norma, apenas a argamassa de referência se enquadrou com D6, com densidade de massa maior que 2,00g/cm³. As argamassas com areia PET e fibras de polipropileno se enquadraram na classe D4, com densidade entre 1,60g/cm³ a 2,00g/cm³.

O gráfico 3 apresenta os resultados obtidos do teor de ar incorporado em cada traço de argamassa estudado.

Gráfico 3 – Teor de ar Incorporado.



Fonte: Elaboração Própria.

Através do gráfico 3 podemos notar um aumento de 37% no teor de ar incorporado para a argamassa com areia PET (T15PET-0PP) em relação a argamassa referência (T0-REF). Conforme Vaz (2016), esse aumento é explicado devido as argamassas com areia PET apresentarem uma superfície mais porosa. Com a adição de fibras de polipropileno nas misturas com areia de PET também houve um aumento no teor de ar (T15PET-0,1PP) e em seguida uma diminuição (T15PET-0,2PP), fato que também foi constatado pelo Cortez (1999). O autor relata que essa diferença de ar incorporado pode estar relacionada com as mais diversas formas de incorporação de ar na mistura, ou seja, através de microbolhas ou de vazios

intersticiais. Silva (2006) afirma que o aumento do teor de ar incorporado em argamassas com fibras pode estar relacionado com os contatos entre fibras e fibras e agregados. O arranjo estrutural formado por essas interações, segundo o autor, formará um empacotamento baixo de partículas sólidas, ou seja, uma elevada quantidade de vazios na estrutura granular. Para Siqueira (2006) o aumento no teor de ar incorporado está relacionado com o aprisionamento de bolhas de ar entre as cerdas das fibras.

A diminuição do teor de ar incorporado em argamassas com percentuais de fibras mais elevado é explicado por Silva (2006). Para o autor, o aumento no teor de fibras na mistura proporciona inúmeros entrelaçamentos entre as fibras e inadequada dispersão, que conferem uma redução de energia na mistura e consequência a redução do teor de ar incorporado durante esse processo.

4.1.3 Determinação da retenção de água

A retenção de água foi determinada seguindo a norma NBR 13277 (ABNT, 2005). A tabela 16 apresenta os resultados obtidos nesse ensaio, bem como a umidade relativa do ar, a temperatura ambiente e a classificação das argamassas conforme a norma prescrita.

Tabela 16 – Resultados do ensaio de retenção de água das argamassas.

Traço	Ra (%)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Relação a/c	Classe NBR 13277
T0-REF	87	56	30.4	1,58	U3
T15PET-0PP	86	67	29.8	2,19	U3
T15PET-0.1PP	85	58	29.7	2,10	U3
T15PET-0.2PP	80	55	28.6	2,81	U2

Fonte: Elaboração Própria.

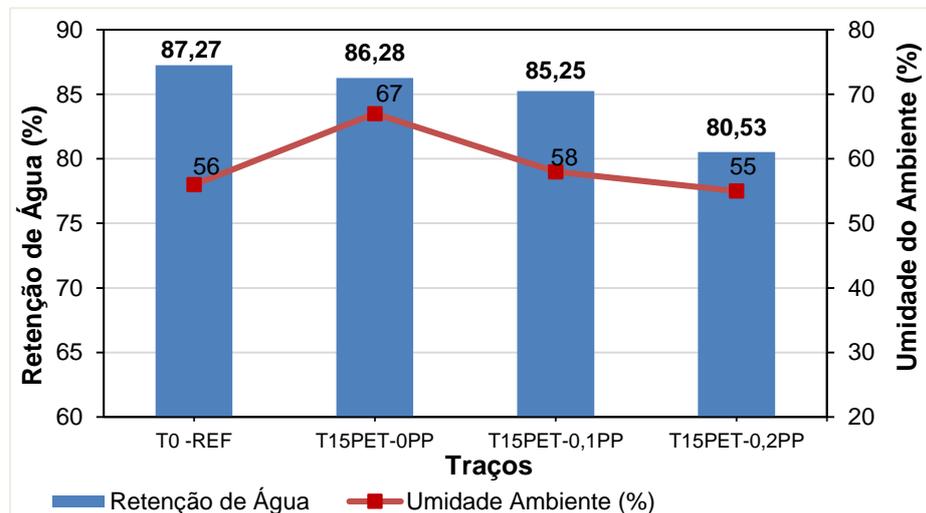
A tabela 16 mostra que todas as argamassas estudadas apresentaram uma redução na retenção de água quando comparadas com a argamassa de referência (T0-REF). Segundo Oliveira (2001) isso ocorre devido a cal anular a influência das fibras que possui característica favoráveis a retenção de água por causa da sua elevada área específica.

Analisando ainda a tabela 16, observa-se que o aumento da relação água/cimento (a/c) nas misturas, implicou na redução da retenção de água em

comparação com o traço de referência. Esse comportamento também foi evidenciado por Silva (2006), que descreveu em seu experimento que quanto maior era a quantidade de água utilizado no traço, maior era a quantidade de água retirada pelo ensaio, provocando uma diminuição na retenção de água.

Sabendo que este ensaio é sensível às condições ambientais de temperatura e umidade, o gráfico 4 mostra como se comportaram os resultados diante das condições que as argamassas foram expostas durante o ensaio. Como pode ser observado (gráfico 4) nenhum dos ensaios foi realizado com a umidade relativa do ar (UR) abaixo dos padrões normativos ($UR=60 \pm 5\%$).

Gráfico 4 – Comportamento dos resultados do ensaio de retenção de água em função da umidade do ar.

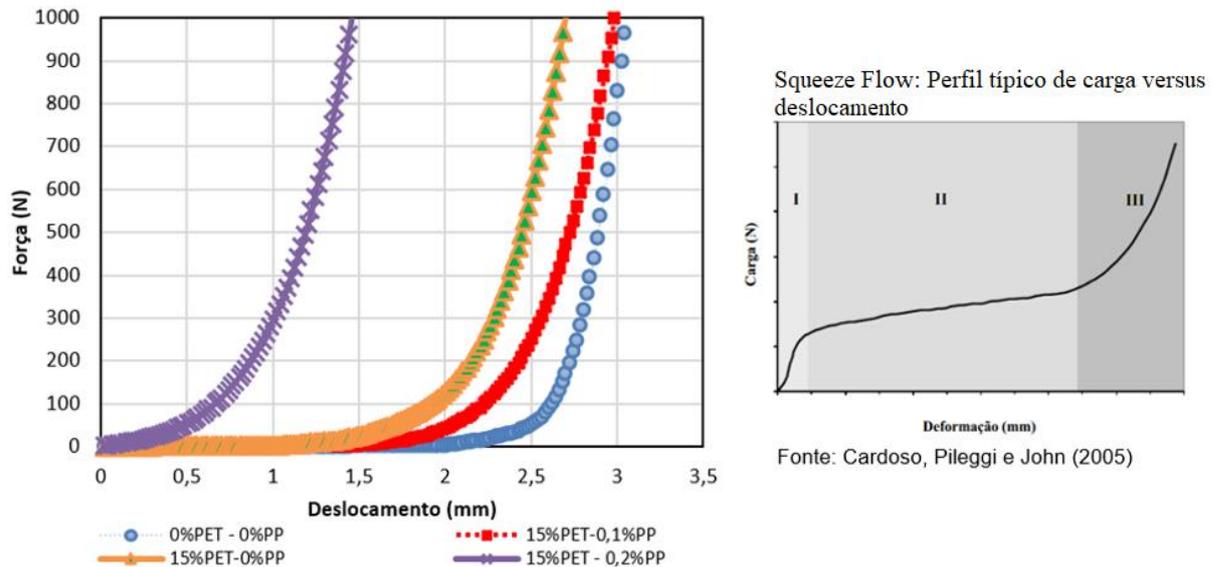


Fonte: Elaboração Própria.

4.1.4 Avaliação da reologia pelo método do Squeeze Flow

A avaliação da reologia das argamassas pelo método do *Squeeze Flow* (gráfico 5) foi realizada nas argamassas com areia de PET e fibras de polipropileno (T15PET-0,1%PP e T15PET-0,2%PP). Para parâmetro de comparação foi utilizado os dados obtidos da argamassa de referência (0%PET-0%PP).

Gráfico 5 - Avaliação Reológica através do *Squeeze Flow* e perfil típico de cargas versus deslocamento.



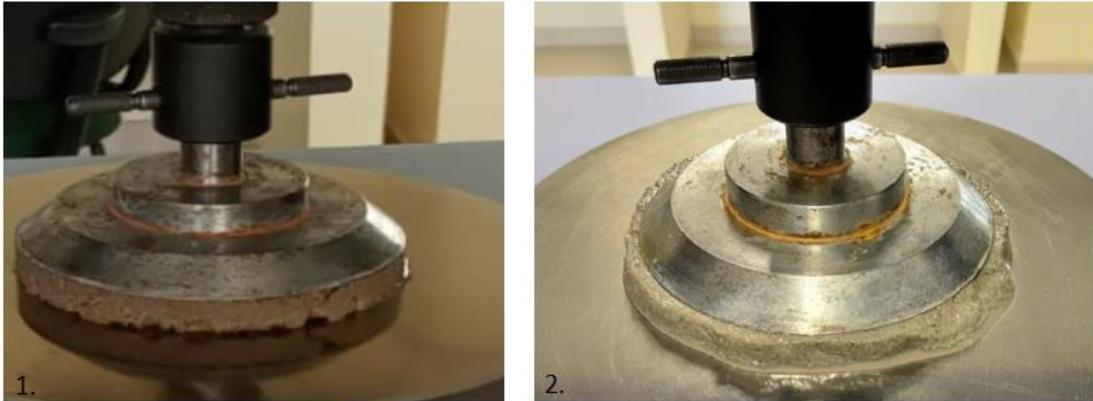
Fonte: Elaboração Própria.

No gráfico 5 podemos observar o comportamento das argamassas ensaiadas. Em geral as misturas não apresentaram uma fase elástica (Estágio I), e na sequência já apresentaram um enrijecimento por deformação (Estágio III), ou seja, não exibiram a fase plástica (Estágio II).

Entre as misturas investigadas, a argamassa com 0,2% de fibras de polipropileno (15%PET-0,2PP) apresentou um maior enrijecimento por deformação e um menor deslocamento que as demais argamassas, indicando que o seu uso implicaria em uma maior dificuldade de aplicação. Também foi evidenciado por Silva (2006), que quanto maior quantidade de fibras maior a dificuldade de deformar o compósito.

Durante a realização do ensaio de *Squeeze Flow* foi observado que conforme acontecia a variação da carga aplicada nas argamassas com fibras de polipropileno, ocorria a liberação de parte da água do traço (Figura 19). Para as demais argamassas (sem adição de fibras) isso não ocorreu. Esse fato, conforme Oliveira (2001), pode ser explicado pela dificuldade de dispersão das fibras, o que pode ocasionar a formação de chumaços, que aprisiona parte de água da mistura. Quando a argamassa é pressionada, como no ensaio de *Squeeze flow*, essa água é liberada.

Figura 19 – Argamassas durante o ensaio *Squeeze Flow*.



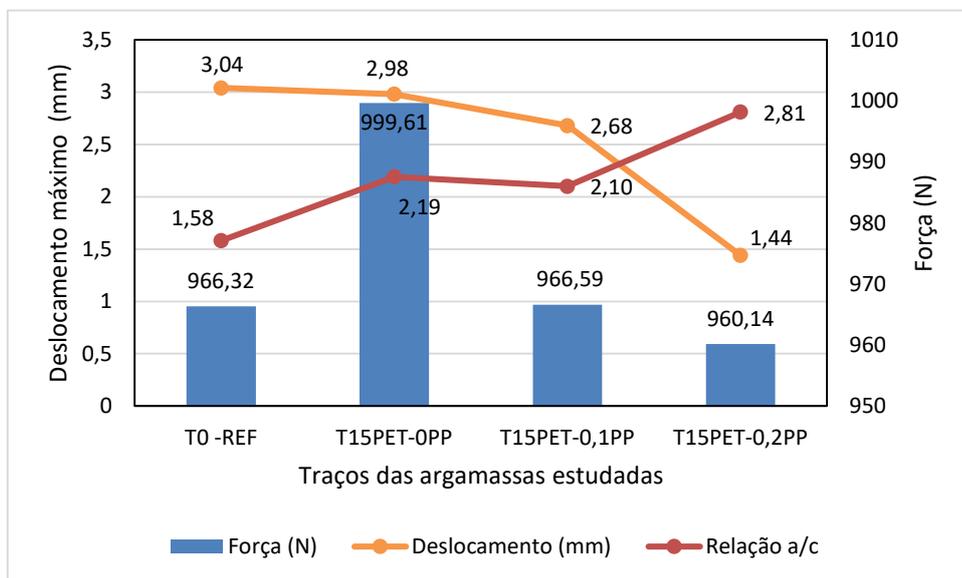
1. Argamassa sem adição de Fibras de Polipropileno

2. Argamassas com Fibras de Polipropileno

Fonte: Elaboração Própria.

O gráfico 6 apresenta os deslocamentos máximos das argamassas investigadas em função da carga máxima aplicada por meio do ensaio de *Squeeze Flow* e da relação água/cimento do traço (definida para atender a consistência padrão).

Gráfico 6 – Deslocamento máximo, relação água/cimento e carga máxima.



Fonte: Elaboração Própria.

O gráfico 6 mostra que a variação do teor de fibras de polipropileno nas argamassas implicou em um aumento da relação a/c para manter a consistência dos traços e na diminuição da força máxima aplicada nos ensaios de *Squeeze Flow*. Observa-se também, que a variação do teor de fibra de polipropileno nos traços

implicou em uma redução no deslocamento máximo. Esse fato também foi evidenciado por Silva (2006), que percebeu que ao aumentar o teor de fibras, aumentava a quantidade de água, e ocorria uma redução no valor de carga máxima aplicada, que é a energia necessária para deformar a argamassa.

Notou-se que entre os traços investigados, o traço T15PET-0PP (traço com areia PET e sem fibras de polipropileno) apresentou a maior força aplicada (999,61N), e um deslocamento de 2,98 mm, apresentando uma redução de 1,97% do deslocamento em relação ao traço de referência (T0-REF). Para os traços com fibras de polipropileno, a variação do teor de fibra implicou em uma redução do deslocamento.

Por fim, o comportamento das argamassas no ensaio do *Squeeze Flow* demonstra qual será a facilidade de aplicação das argamassas, o estágio desejável é estágio II (plástico). Foi verificado que as argamassas estudadas trariam dificuldade de aplicação com baixa produtividade por causa do pouco deslocamento plástico, conforme Cardoso *et al.* (2005), o recomendado para argamassas de revestimento é um deslocamento em torno de 9 mm.

4.2 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido

Nesse tópico são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido (densidade de massa, absorção por capilaridade, resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial). Os ensaios estavam inicialmente previstos no Programa Experimental para serem realizados na idade de controle de 28 dias. No entanto, devido ao agravamento da pandemia e devido à restrição de acesso aos laboratórios da UNIPAMPA, a caracterização das argamassas no estado endurecido foi realizada na idade de 70 dias.

4.2.1 Densidade de massa aparente no estado endurecido

As médias dos resultados obtidos para a densidade de massa aparente no estado endurecido estão apresentadas na Tabela 17.

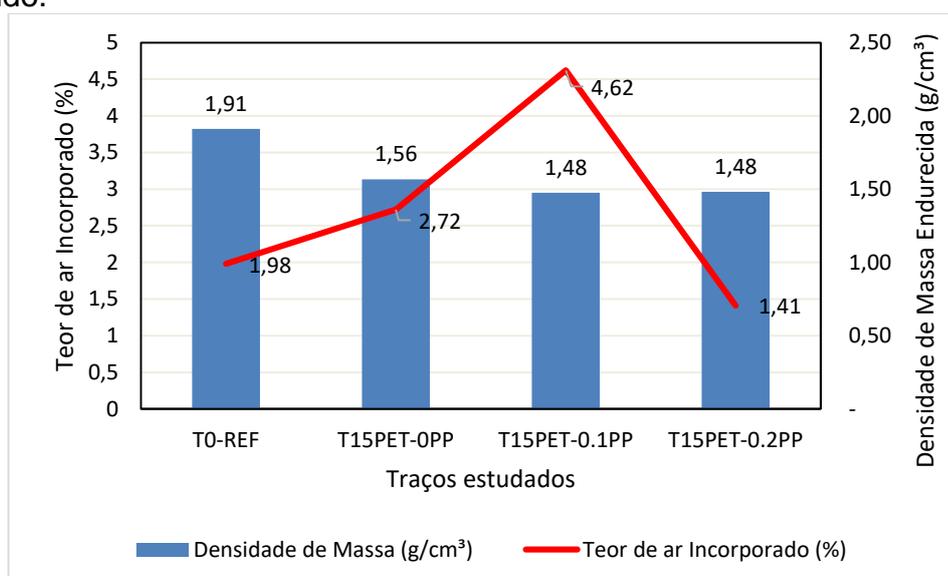
Tabela 17 – Resultados do ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido.

TRAÇO	Densidade (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)	Coefficiente de Variação (%)	Classe
T0-REF	1,91	0,011	0,6	M6
T15PET-0PP	1,57	0,020	1,3	M4
T15PET-0.1PP	1,48	0,011	0,8	M4
T15PET-0.2PP	1,48	0,074	5,0	M4

Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 17 mostra uma redução da densidade dos traços com incorporação de fibra de polipropileno e PET em relação ao traço referência (T0-REF), essa tendência também foi observada no ensaio de densidade de massa no estado fresco. Para Centofante e Dagostini (2014) isso ocorre porque as fibras são feitas de material leve e quanto maior a quantidade dessas fibras mais leve fica a argamassa. Para Silva (2011) a redução de densidade pode estar relacionada com a incorporação de ar. Segundo o autor, quanto maior a incorporação de ar na mistura, menor vai ser a densidade de massa da argamassa no estado endurecido. Essa constatação fica no gráfico 7, com exceção do traço T15PET-0,2PP que apresentou uma baixa densidade de massa, porém a incorporação de ar ficou inferior à da mistura de referência (sem a incorporação de fibras de polipropileno e PET).

Gráfico 7 – Relação do teor de ar incorporado com a densidade de massa no estado endurecido.



Fonte: Elaboração Própria.

A classificação das argamassas foi determinada seguindo as prescrições da norma NBR 13281 (ABNT, 2005). De acordo com esta norma, o traço referência (T0-REF) se enquadraram na classe M6 (densidade $>1800\text{Kg/m}^3$), e os demais traços se enquadraram na classe M4 (densidade na faixa de 1400 a 1800kg/m^3).

Na tabela 18, temos a densidade de massa aparente no estado endurecido para o traço referência (T0-REF) e para os traços com fibras de polipropileno (T15PET-0,10PP e T15PET-0,2PP), com idade de 28 dias.

Tabela 18 - Resultados do ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecidos em 28 dias.

TRAÇO	Densidade (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)	Coeficiente Variação (%)	Classe NBR 13281
T0-REF	1,89	0,010	0,5	M6
T0,10PP	1,57	0,009	0,6	M4
T0,20PP	1,59	0,020	1,3	M4

Fonte: Elaboração Própria.

4.2.2 Determinação da absorção por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade seguiu as prescrições da NBR 15259 (ABNT, 2005). A NBR apresenta que as medições de absorção devem ser realizadas nos tempos de 10 e 90 minutos, porém, para um entendimento melhor do comportamento das amostras, fez-se uma medição aos 60 minutos. Os resultados médios obtidos neste ensaio são apresentados na Tabela 19 e no Gráfico 8.

Tabela 19 - Coeficientes de Capilaridade (C90-10) das argamassas.

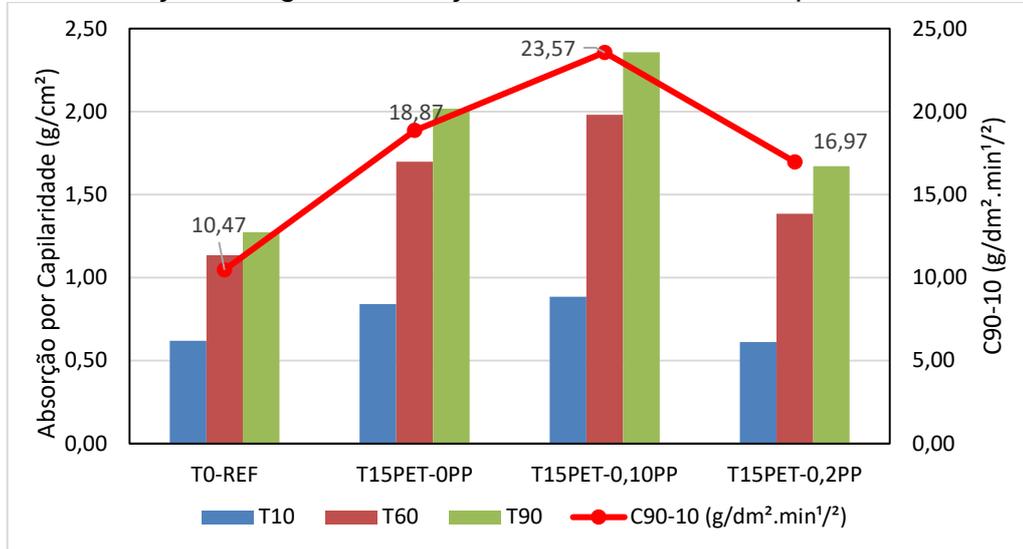
TRAÇO	C90-10 (g/dm ² .min ^{1/2})	Desvio Padrão (g/dm ² .min ^{1/2})	Coef. De Variabilidade (%)	Classificação NBR 13281
T0-REF	10,47	0,15	1,5	C6
T15PET-0PP	18,87	1,45	7,67	C6
T15PET-0.1PP	23,57	1,50	6,37	C6
T15PET-0.2PP	16,97	0,55	3,25	C6

Fonte: Elaboração Própria.

Os resultados apresentados na Tabela 19 mostram que, entre as misturas investigadas, o traço de referência foi o que menos absorveu água. Durante a execução dos ensaios foi observado que o aumento do coeficiente de capilaridade das argamassas, estava diretamente relacionado com a variação do teor de ar incorporado nas misturas, ou seja, quanto maior o teor de ar incorporado, maior a

absorção de água. Segundo Minari (2018) isso ocorre devido aos índices de vazios elevados nas argamassas com maior teor de ar incorporado.

Gráfico 8 - Absorção de água em relação ao coeficiente de capilaridade.



Fonte: Elaboração Própria.

O gráfico 8 permite concluir que a absorção capilar é diretamente proporcional ao tempo, essa tendência de comportamento também foi observada por Oliveira (2001) em seus experimentos. Com relação ao teor de fibras nas argamassas, observou-se que a variação do teor de 0,1 para 0,2 % promoveu uma redução da absorção capilar.

Cortez (1999) relata que a elevada absorção de água está ligada à quantidade, a forma de distribuição dos poros capilares, condutos necessários à entrada de água, que se relaciona com a relação a/c, a idade da amostra e as condições de exposição das argamassas. Segundo o autor, quando mais severas essas condições, maior poderá ser a absorção das argamassas.

4.2.3 Resistência à tração na flexão

A verificação das resistências à tração na flexão ocorreu seguindo as prescrições da NBR 13279 (ABNT, 2005) A análise da Tabela 20 nos permitem observar que a incorporação de areia de PET e de fibras de polipropileno promoveu uma redução da resistência na flexão.

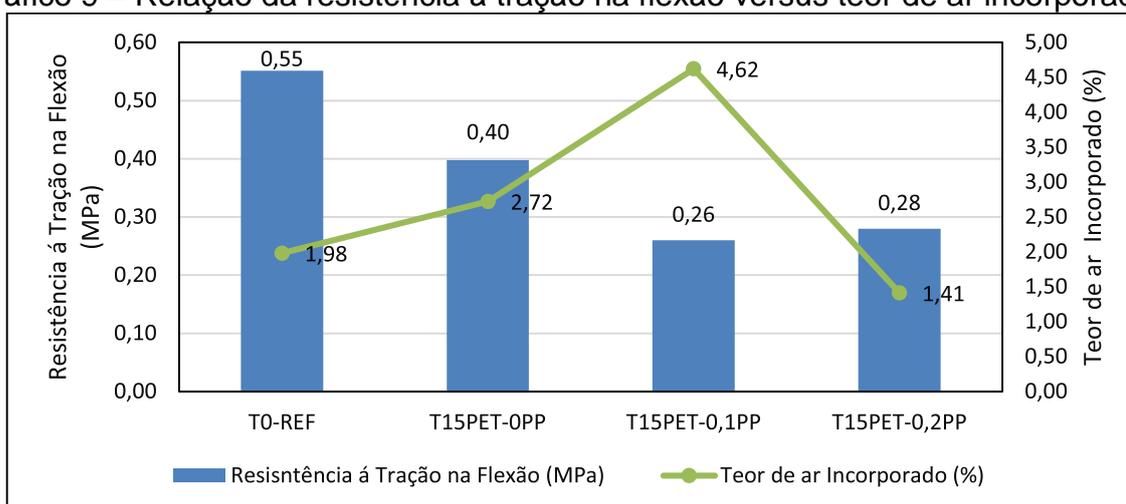
Tabela 20- Resultados da resistência a tração na flexão.

TRAÇO	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)	Ganho/Perda	Classificação NBR 13281
T0-REF	0,55	0,010	1,65	-	R1
T15PET-0PP	0,40	0,032	8,00	-27,27	R1
T15PET-0,1PP	0,26	0,018	7,07	-52,73	R1
T15PET-0,2PP	0,28	0,040	14,29	-50,91	R1

Fonte: Elaboração Própria.

Os resultados obtidos na Tabela 20 mostram que a adição de areia PET, e areia PET mais fibra de polipropileno influenciaram na redução da resistência a tração na flexão das misturas produzidas. Os dados podem ter sido influenciados pela maior incorporação de ar durante a confecção destes traços, conforme mostrado no gráfico 9.

Gráfico 9 – Relação da resistência à tração na flexão versus teor de ar incorporado.



Fonte: Elaboração Própria.

É notório (Gráfico 9) que o maior índice de vazios (teor de ar incorporado) corroborou para perdas na capacidade mecânica das argamassas, esse fato também foi evidenciado por Oliveira (2001). Em comparação aos estudos realizados por Oliveira (2001), Silva (2006) e Antunes e Tiscoski (2016), as argamassas com fibras de polipropileno (Gráfico 9) obtiveram a mesma tendência dos resultados obtidos pelos autores, apesar da utilização de teores de fibras diferentes, ou seja, houve redução da resistência à tração na flexão.

Durante a execução dos ensaios mecânicos foi notado que as incorporações das fibras nas argamassas proporcionaram uma melhora na forma de ruptura dos corpos de provas. Foi observado que as amostras com incorporação de fibra de polipropileno proporcionaram uma ruptura menos frágil, apresentando uma pequena

deformação plástica antes de colapsar. Oliveira (2001) ressalta que esse comportamento ocorre devido a absorção de energia provocada pela elevada capacidade de alongamento das fibras de polipropileno e pelo seu comprimento de ancoragem.

4.2.4 Resistência à Compressão Axial

Após o ensaio de resistência à tração na flexão, as sobras das barras de argamassas foram ensaiadas quanto à resistência à compressão axial, seguindo as prescrições da NBR 13279 (ANBT, 2005). Os resultados obtidos para cada um dos traços estudados correspondem a média de seis resultados, apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Resultados do ensaio de Resistencia a Compressão Axial.

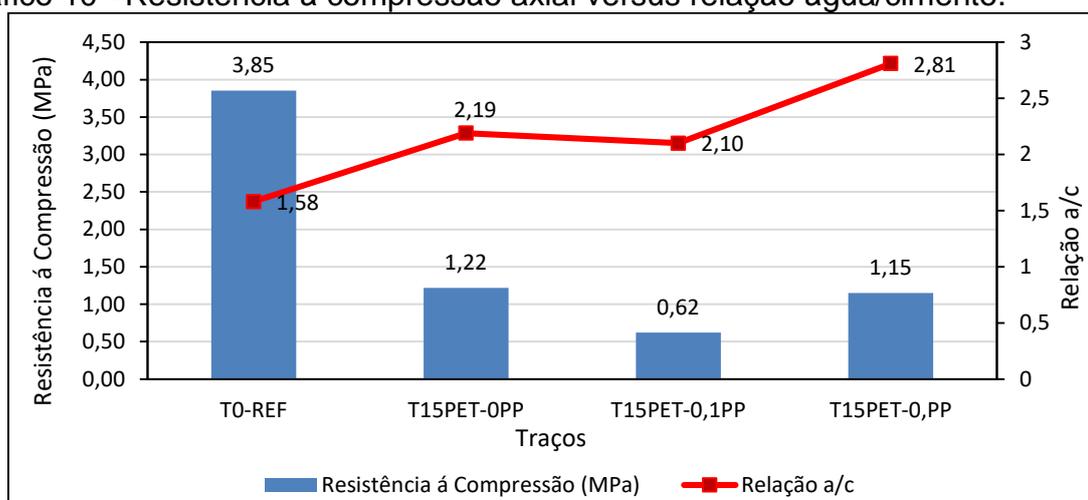
TRAÇO	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)	Ganho/Perda	Classificação NBR 13281
T0-REF	3,85	0,57	14,87	-	P3
T15PET-0PP	1,22	0,13	11,02	-68,31	P1
T15PET-0,1PP	0,62	0,06	9,85	-83,89	P1
T15PET-0,2PP	1,15	0,22	19,44	-70,13	P1

Fonte: Elaboração Própria.

Com base na tabela 21, podemos observar que adição de areia PET e fibras de polipropileno promoveram uma redução na resistência à compressão axial nas argamassas estudadas. Para Oliveira (2003) a redução de propriedades mecânicas de argamassas com fibras de polipropileno pode estar associado à sua maior porosidade, devido ao ar incorporado durante a sua produção. Para Alhozaimy *et al.* (1996), o motivo para a redução da resistência a compressão axial é o baixo módulo de elasticidade das fibras de polipropileno que varia de 4 a 15 GPa, valor bem inferior quando comparados com outros materiais como as fibras de vidro (70GPa) e de carbono (30 a 390 GPa).

O gráfico 10 apresenta os resultados de resistência à compressão axial dos traços investigados e a relação água/cimento utilizada para cada mistura.

Gráfico 10 – Resistência à compressão axial versus relação água/cimento.

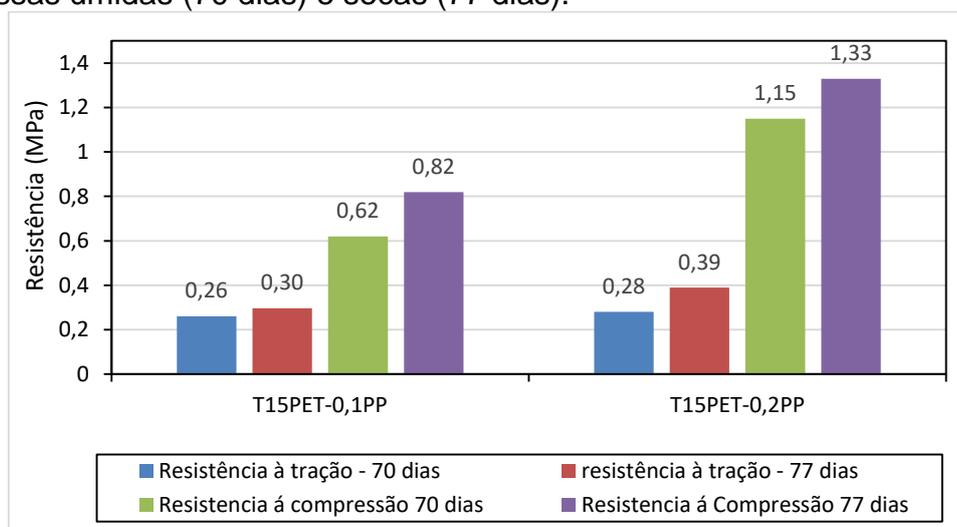


Fonte: Elaboração Própria.

O gráfico 10 mostra que, com exceção do traço referência, para as demais argamassas a maior quantidade de água na mistura contribuiu para melhorar o comportamento mecânico destas argamassas, esse fato também foi verificado por Silva (2006). Silva (2006), relata que a água nos compósitos com baixos teores de fibras, não é a responsável pela redução de resistência, sendo isso, causado pela incorporação de ar proporcionado pelas adições de fibras. O autor ainda reforça que a água reduz os “defeitos internos” dos corpos de prova que possivelmente ocorram com as argamassas com fibras, por deficiência na moldagem.

O gráfico 11 mostra a comparação das resistências obtidas nos ensaios de tração na flexão e resistência a compressão axial, para as argamassas com areia PET e fibras de polipropileno ensaiadas úmidas (após o ensaio de absorção de água e com idade de 70 dias) e em amostras secas com idade de 77 dias.

Gráfico 11- Comparação das resistências à compressão axial e à tração na flexão em argamassas úmidas (70 dias) e secas (77 dias).



Fonte: Elaboração Própria.

O gráfico 11 mostra que os dois traços apresentaram uma resistência maior tanto na resistência a compressão como na tração na flexão para as argamassas secas. Deve-se considerar também que o fator idade pode ter contribuído positivamente para os resultados alcançados. Durante a realização do ensaio de compressão axial (realizado com as sobras das amostras rompidas no ensaio de tração na flexão de acordo com a NBR 13249), foi observado que os corpos de prova secos, apresentaram resistência mecânica superior as amostras úmidas.

A Classificação das argamassas para a resistência à tração na flexão, foi realizado conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005), e todas as argamassas se enquadraram na classe R1 ($\leq 1,5$ MPa). Para a resistência à compressão axial, todos os traços se enquadraram na classe P1 ($\leq 2,0$ MPa). Os resultados obtidos corroboraram com os resultados obtidos.

4.3 Etapa 2 - Caracterização das Argamassas convencionais com incorporação de fibras de polipropileno

Em função dos resultados encontrados na Etapa-1 do Programa Experimental, que mostraram que as argamassas com incorporação de areia de PET e fibras de polipropileno perderam desempenho mecânico com a variação do teor de fibras nas misturas, foi realizado um novo experimento.

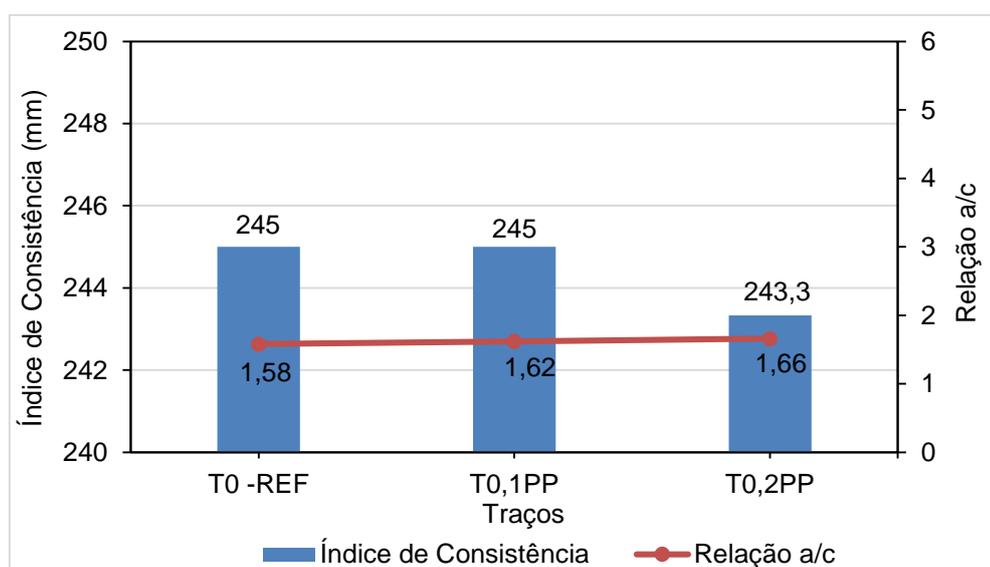
Com o objetivo de validar os resultados encontrados na primeira etapa desse trabalho, foram moldadas novas argamassas utilizando-se o traço de referência e incorporando fibras de polipropileno nesses traços, nos mesmos teores utilizados anteriormente para as argamassas com incorporação de areia de PET.

A elaboração da segunda etapa experimental permitiu verificar o comportamento mecânico de argamassas convencionais (sem agregado miúdo de PET) frente a incorporação das fibras de polipropileno nos mesmos teores já estudados na Etapa-1 dessa pesquisa. Foi estabelecido que a idade de controle dos ensaios mecânicos seria de 28 dias, devido às restrições de acesso ao Laboratório da Unipampa em função da Pandemia, e também em função da incerteza do acesso ao laboratório se manter contínuo e sem interrupções durante a execução do experimento.

4.3.1 Etapa-02 - Caracterização das Argamassas no Estado Fresco

Para o controle das argamassas no estado fresco foram mantidos os mesmos parâmetros de consistência adotados na etapa-1 (250 ± 10 mm). O gráfico 12 e a Figura 20 mostram o índice de consistência das argamassas produzidas na Etapa-2, e a Tabela 22 apresenta as condições ambientais no momento da dosagem das argamassas.

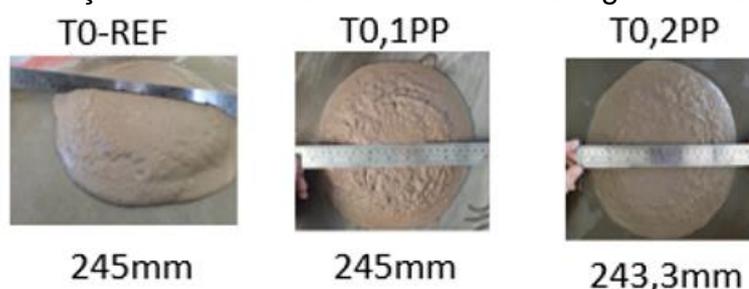
Gráfico 12 - Índice de consistência das argamassas- Etapa-02.



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 12 mostra que a incorporação de fibras de polipropileno promoveu um aumento da relação água/cimento dos traços para a manutenção da consistência das misturas. Essa tendência de comportamento também foi observada na primeira etapa do experimento.

Figura 20 – Determinação do índice de consistência das argamassas.



Fonte: Elaboração própria

Tabela 22 – Condições Ambientais durante as moldagens.

Traço	T (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)
T0 -REF	30,4	56
T 0,10%PP	24,8	54
T 0,20PP	25,2	54

Fonte: Elaboração própria

Para cada traço estudado, após a sua dosagem e determinação dos parâmetros de consistência, foram realizados ensaios para a determinação de densidade de massa no estado fresco e de teor de ar incorporado. Os ensaios seguiram os procedimentos estabelecidos na NBR 13278 (ABNT, 2005). Os resultados obtidos para essas propriedades estão apresentados na tabela 23 e no gráfico 13.

Tabela 23 - Resultados do ensaio de Densidade – no estado fresco

Parâmetros	Traços		
	T0 REF	T - 0,1PP	T -0,20PP
Densidade de Massa (g/cm ³)	2,23	2,11	2,08
Teor de Ar Incorporado (%)	1,98	3,19	4,99
Classificação NBR 13281/2005	D6	D5	D5

Fonte: Elaboração Própria

Ao analisar a tabela 23, podemos perceber que ocorre uma redução na densidade de massa das argamassas quando se utiliza fibras de polipropileno nas misturas. Os resultados apontam para a mesma tendência de comportamento observada na Etapa-01.

No estado fresco, as argamassas também foram ensaiadas quanto à retenção de água. A tabela 24 apresenta os resultados obtidos para esse ensaio, bem como o registro da umidade relativa do ar e da temperatura ambiente, e a classificação das argamassas conforme a norma prescrita.

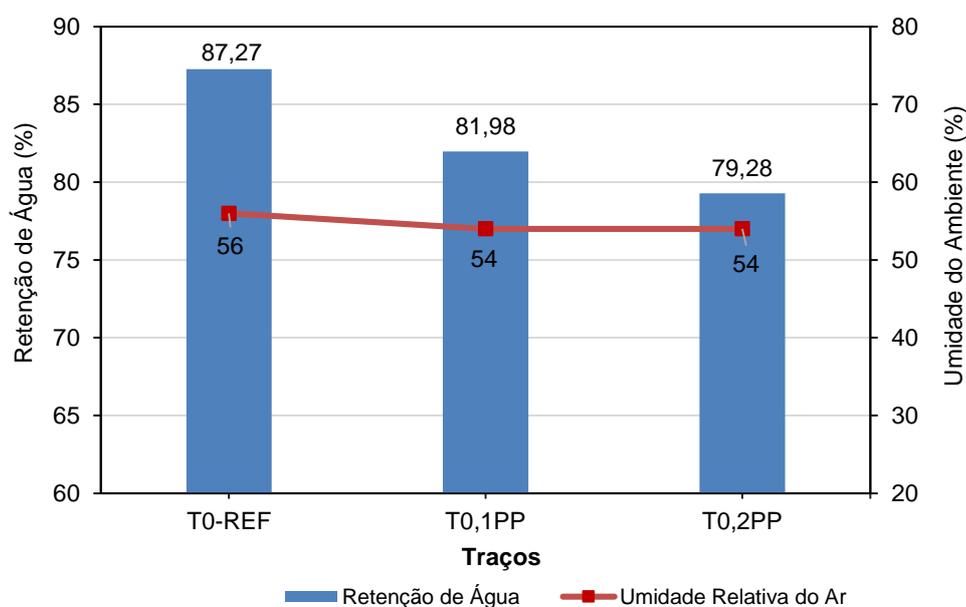
Tabela 24 – Resultados do ensaio de retenção de água das argamassas.

Traço	Ra (%)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Relação a/c	Classe NBR 13277
T0-REF	87	56	30,4	1,58	U3
T -0,1PP	82	54	24,8	1,62	U2
T -0,2PP	79,3	54	25,2	1,66	U2

Fonte: Elaboração Própria.

A tabela 24 e o gráfico 13 mostram que todas as argamassas estudadas nessa etapa apresentaram uma redução na retenção de água quando comparadas com a argamassa de referência (T0-REF), corroborando com os resultados encontrados na Etapa-01. Conforme já citado na Etapa-01, Oliveira (2001) justifica esse comportamento em função da cal anular a influência das fibras, que possui característica favoráveis a retenção de água por causa da sua elevada área específica.

Gráfico 13 – Dados de retenção de água e da umidade relativa ambiente.



Fonte: Elaboração Própria.

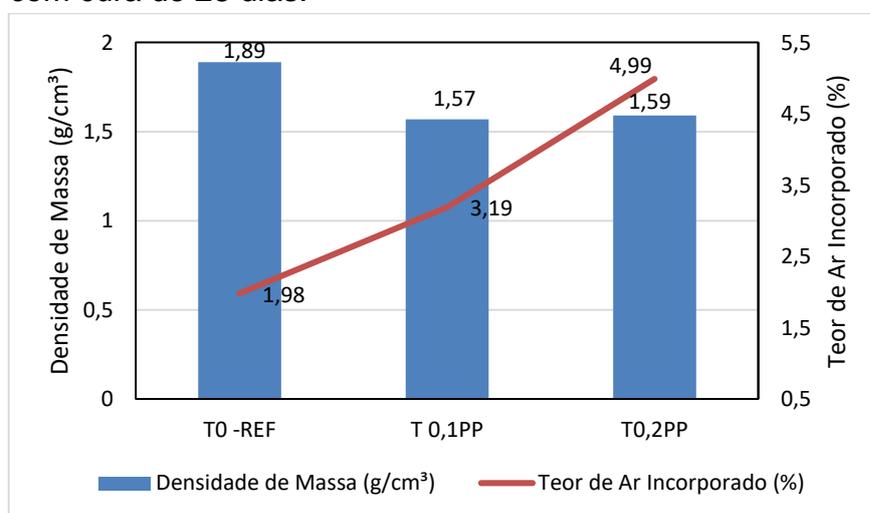
O gráfico 13 mostra que os traços T0,1PP e T0,2PP apresentaram umidade relativa do ar (UR) abaixo dos padrões normativos (UR=60 ± 5%).

4.3.2 Etapa-02 - Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido

No estado endurecido, as argamassas produzidas na Etapa-02 foram ensaiadas quanto a sua densidade de massa e absorção de água por capilaridade. As propriedades mecânicas (resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão) também foram determinadas e são apresentadas neste tópico.

O gráfico 14 mostra a relação da densidade com o teor de ar incorporado para as misturas investigadas aos 28 dias, idade de controle dos ensaios.

Gráfico 14- Relação do teor de ar incorporado com a densidade de massa no estado endurecido com cura de 28 dias.



Fonte: Elaboração Própria.

Como na primeira etapa do programa experimental (argamassas com e sem agregados de PET e fibras de polipropileno), foi observado no Gráfico 14 uma redução da densidade das argamassas com a variação do percentual de fibras de polipropileno nas misturas. O gráfico 14 também mostra que a variação do teor de fibra de polipropileno nas misturas proporcionou um aumento na incorporação de ar nas argamassas, como observado na Etapa 1 do Programa Experimental. Essa maior incorporação de ar também contribuiu para a redução da densidade de massa das misturas com fibras em comparação à mistura de referência (T0-REF).

No estado endurecido, após cura de vinte e oito dias (28 dias), as argamassas foram ensaiadas quanto a absorção de água (Tabela 25 e Gráfico 15) e posteriormente tiveram suas propriedades mecânicas determinadas (resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial).

Tabela 25 - Coeficientes de Capilaridade (C90-10) das argamassas com cura de 28 dias.

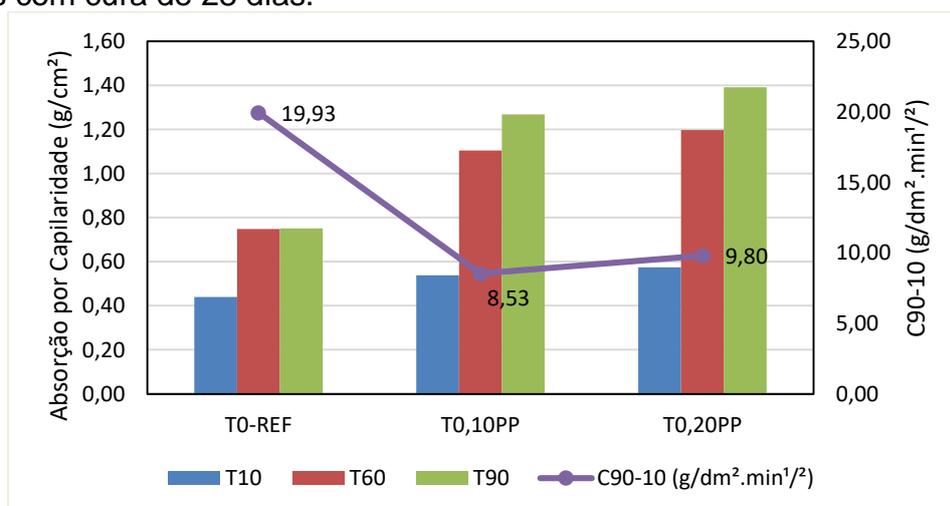
TRAÇO	C90-10 (g/dm ² .min ^{1/2})	Desvio Padrão (g/dm ² .min ^{1/2})	Coef. De Variabilidade (%)	Classificação NBR 13281/2005
T0REF	19,93	1,02	5,1	C6
T0,10PP	8,53	0,40	4,74	C5
T0,20PP	9,80	0,17	1,77	C5

Fonte: Elaboração Própria.

Observa-se na tabela 25 que a argamassa de referência foi a que mais absorveu água, sendo que na primeira etapa do Programa Experimental a argamassa de referência foi a que menos absorveu água. Acredita-se que os resultados da primeira etapa, possam estar associados ao fato de que as misturas com incorporação de areia PET junto as fibras de polipropileno tenham gerado uma matriz mais porosa, e com um maior número de vazios, produzindo argamassas mais permeáveis. Minari (2018) relata que o aumento na absorção de compósitos com areia de PET ocorre porque a incorporação de fibras junto com areia PET provoca um aumento de incorporação de ar nas misturas, gerando um índice de vazios mais elevados quando comparado com as argamassas convencionais com fibras de polipropileno.

O gráfico 15 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água e os coeficientes de capilaridade para argamassas investigadas, na idade de controle de 28 dias.

Gráfico 15 - Absorção de água em relação ao coeficiente de capilaridade para argamassas com cura de 28 dias.



Fonte: Elaboração Própria.

O gráfico 15 mostra que o traço de referência (T0-REF) manteve a absorção constante no tempo de 60 e 90 minutos, nos demais traços houve aumento da absorção com a variação do tempo. Os traços com fibras de polipropileno apresentaram absorção por capilaridade superior ao da mistura de referência para os tempos de ensaio (T10; T60 e T90). Para os traços com fibra de polipropileno, observou-se que o coeficiente de capilaridade (C90-10) é diretamente proporcional a variação do teor de fibras na mistura, ou seja, quando maior o teor de fibra, maior o coeficiente de capilaridade (C90-10).

Na primeira etapa da pesquisa, a absorção por capilaridade dos traços com areia PET e fibras de polipropileno foram superiores ao das argamassas de referência (T0-REF e T15PET-0PP). No entanto, na segunda etapa, a absorção das argamassas com incorporação de fibras de polipropileno (T0,1PP e T0,2PP) foi menor que a argamassa referência (T0-REF). Para Silva (2006), isso ocorre devido a estrutura interna da matriz das argamassas com areia de PET e fibras de polipropileno serem constituídas por diferentes sólidos, o que contribui para deixar a estrutura mais porosa, se comparada com argamassas convencionais (T0-REF) e argamassas convencionais com fibras de polipropileno (T0,10PP e T0,20PP), facilitando a absorção de água. Silva (2006) também ressalta que a porosidade da matriz e a absorção de água também estão diretamente relacionadas a relação água/cimento (a/c) utilizada na produção das argamassas.

Após o ensaio de absorção de água, as argamassas foram ensaiadas quanto as suas propriedades mecânicas. Inicialmente foi realizado o ensaio de resistência a tração na flexão (Tabela 26) em três amostras por traço (corpos de prova prismáticos de 4x4x16cm), como detalhado no item 3.4.3.

Tabela 26 – Resultados da Resistência à tração na flexão com cura de 28 dias.

TRAÇO	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)	Ganho/Perda	Classificação NBR 13281/2005
T0REF	1,01	0,13	12,87	-	R1
T0,1PP	0,68	0,024	3,53	-32,67	R1
T-0,2PP	0,79	0,081	10,25	-21,78	R1

Fonte: Elaboração Própria.

As argamassas convencionais com fibras de polipropileno (Tabela 26) mantiveram a mesma tendência de comportamento observado na Etapa 1 (para os traços com areia de PET e fibra de polipropileno), mostrando redução de resistência a tração na flexão em relação à amostra de referência. No entanto, na Etapa 1 foi

observado uma redução maior das propriedades mecânicas, se comparado com os dados da Etapa 2. Segundo Siqueira (2006), os resultados podem estar relacionados a maior relação de água/cimento das misturas. Vale ressaltar, ainda, que não se pode afirmar que essa variação é significativa, pois os dados não foram analisados estatisticamente.

Na tabela 27 são apresentados os resultados do ensaio de resistência a compressão axial dos traços estudados. A resistência média por traço foi obtida da média de seis amostras, como detalhado no item 3.4.3.

Tabela 27 – Resultados do ensaio de resistência a compressão axial com cura de 28 dias.

TRAÇO	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)	Ganho/Perda	Classificação NBR 13281
T0REF	3,59	0,23	6,41	-	P3
T0,1PP	2,48	0,138	5,56	-30,92	P2
T-0,2PP	2,70	0,207	7,67	-24,79	P3

Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 27 mostra que a incorporação das fibras nos teores estudados promoveu uma redução da resistência à compressão em relação à mistura de referência, corroborando com o observado na Etapa 1 (argamassas com areia de PET e fibras de polipropileno). Com relação aos traços com fibras (T0,1PP e T0,2PP), constata-se que a variação no teor de fibras promoveu um incremento na resistência à compressão axial (Tabela 27). Esse comportamento também foi observado na Etapa 1.

Os dados obtidos na segunda etapa do Programa Experimental apresentaram menores variações, se comparados com os resultados da primeira Etapa do Programa Experimental. Silva (2006) associa uma maior dispersão de resultados a porosidade mais elevada de matrizes cimentícias. Segundo o autor, a combinação da areia PET e da fibra de polipropileno promovem matrizes mais porosas, o que acaba refletindo nas propriedades mecânicas das argamassas. Oliveira (2001) também relata que a redução da resistência de compressão ocorre devido ao aumento da incorporação de vazios provocados pela fibra durante a produção dos compósitos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo verificar a viabilidade de utilização de fibras de polipropileno e substituição parcial de areia natural por areia PET em argamassas de revestimentos. Foram produzidas na primeira etapa quatro argamassas distintas, sendo uma de referência para servir como parâmetro de comparação e três argamassas com substituição parcial do agregado miúdo por areia de PET, e com distintos teores de fibras de polipropileno. As argamassas (T15PET-0PP, T15PET-0,1PP e T15PET-0,2PP) foram produzidas com substituição parcial do agregado miúdo (areia natural) por areia de PET (15% de substituição), e nessas argamassas também foi incorporado fibras de polipropileno, nos teores de 0,10% e 0,20% do volume total da argamassa produzida. Na segunda etapa foi produzido três traços, com o objetivo de verificar a influência da fibra de polipropileno nas propriedades de argamassas convencionais (sem areia de PET). Foram moldados referência (T0-REF) e os demais (T0,10PP e T0,2PP) foram produzidas com teores de 0,10 e 0,20% de fibras de polipropileno em relação ao volume de argamassa.

As argamassas foram avaliadas no estado fresco e no estado endurecido, e as considerações obtidas com a pesquisa são apresentadas na sequência.

- **Índice de consistência** - foi possível observar que a utilização de fibras de polipropileno e substituição de areia PET, elevou o consumo de água nas misturas, aumentando a relação água/cimento (a/c). Como as fibras atuam nos compósitos com a função de melhorar a coesão das matrizes, o que resulta numa diminuição da trabalhabilidade e do índice de consistência, essas reduções foram proporcionais ao teor de fibra utilizado.
- **Densidade de massa** - tanto do estado fresco como no endurecido, as fibras de polipropileno e a areia de PET contribuíram para a redução da densidade das argamassas, tornando-as mais leves.
- **Teor de ar incorporado** - influenciou nas propriedades no estado endurecido. A maior incorporação de ar em algumas das misturas investigadas mostrou-se desfavorável às propriedades mecânicas (resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão), e também contribuiu para reduzir a densidade das argamassas.

- **Avaliação reológica das argamassas através do *Squeeze flow*** - Os resultados obtidos nesse ensaio mostraram que os traços produzidos com areia de PET e fibras de polipropileno apresentariam dificuldade de utilização como argamassas de revestimentos.
- **Absorção por capilaridade** – nas argamassas com areia PET e fibras de polipropileno ocorreu uma elevada absorção comparada com a argamassa de referência. O coeficiente de capilaridade está diretamente relacionado com a variação do teor de ar incorporado nas misturas, o que ocorre devido ao grande número de índice de vazios. Nos traços com apenas fibras de polipropileno houve uma redução da absorção e do coeficiente de capilaridade comparada com o do traço de referência.
- **Resistência à tração na flexão** – a areia PET e as fibras de polipropileno não elevaram o desempenho mecânico das argamassas para essa propriedade, porém as fibras atuaram positivamente na forma de rupturas das argamassas reforçadas, onde passam a apresentar uma pequena deformação plásticas até atingir a ruptura.
- **Resistência a compressão axial** - as argamassas com fibras de polipropileno e areia de PET apresentam redução dessa propriedade em relação à mistura de referência. Observou-se que a redução foi diretamente proporcional a variação do teor de fibras de polipropileno nas misturas. No entanto, as propriedades mecânicas são-influenciadas por vários fatores como, a natureza dos materiais utilizados, relação fibra/cimento e água/cimento, método de cura, entre outros.
- **Acabamento dos corpos de provas** - foi constatado diferença visual entre as argamassas de referência e as argamassas com fibras de polipropileno e com a areia PET. As argamassas com areia de PET e fibras de polipropileno apresentaram superfícies mais ásperas, e com mais rugosidades. Esse aspecto físico pode até ser benéfico, promovendo maior aderência no caso da aplicação de outros elementos sobre esse revestimento.

Em relação à interação da areia PET com as fibras de polipropileno, a análise dos resultados mostra que não houve compatibilidade relevante na formação de uma matriz ideal. Vale ressaltar que a investigação desta composição é complexa e precisa

de uma análise mais aprofundada, como por exemplo, o estudo da microestrutura da matriz através do ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura por elétrons secundários (MEV).

Para as argamassas com fibras de polipropileno (T0,1PP e T0,2PP), do ponto de vista das propriedades das argamassas no estado fresco, observou-se que não há comprometimento relevantes de suas propriedades, o que torna possível a utilização desse material. Nas propriedades do estado endurecido houve perda das propriedades mecânicas (resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial) em relação às misturas de referência. Apesar disso, observou-se que, as fibras de polipropileno atuaram favoravelmente na forma de rupturas das argamassas com incorporação desse material. As argamassas com fibras de polipropileno apresentaram uma pequena deformação plástica antes da ruptura, o que provoca uma ruptura menos frágil e sua fratura depende dos mecanismos de propagação de trincas, o que resulta numa propagação lenta à medida que comprimento da fenda aumenta, enquanto que na ruptura frágil as rachaduras se propaga rapidamente.

Conclui-se que o uso de argamassas com fibras de polipropileno em matrizes cimentícias já é consolidado na indústria da Construção Civil, sendo as suas aplicações mais comuns são em contrapiso, pisos e pavimentos, em concretos convencionais e em argamassas de revestimento. No entanto, acredita-se que a validação comercial do uso de argamassas com fibras de polipropileno e areia de PET dependerá de novos estudos científicos. Apesar dos resultados dessa pesquisa não se apresentarem totalmente promissores, ainda há muito o que ser pesquisado. Além disso, não é prudente inviabilizar um novo produto antes que se explorem todas possibilidades de pesquisa sobre o mesmo. Para o fechamento do trabalho, no item 5.1 são apresentadas algumas sugestões de temas que podem ser explorados por outros pesquisadores, e que poderão contribuir cientificamente para a validação ou não validação do uso desse tipo de argamassa na indústria da construção civil.

5.1 Sugestões para trabalhos

Afim de contribuir com a presente pesquisa, são listadas algumas sugestões de novos estudos:

- Reproduzir os traços dessa pesquisa utilizando menor relação a/c e aditivos químicos, objetivando avaliar o ganho das propriedades mecânicas e a manutenção da trabalhabilidade das misturas no estado fresco.
- Reproduzir os traços dessa pesquisa utilizando menores teores de substituição de areia de PET (5%, 10%, e 20%) por areia natural;
- Reproduzir os traços desta pesquisa e realizar a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV).
- Realizar os ensaios de retração e módulo de deformação de argamassas com incorporação de areia de PET e fibras de polipropileno.
- Analisar a influência das fibras com a areia PET na interface argamassa/substrato.
- Reproduzir novos traços utilizando diferentes teores de fibras de polipropileno e de areia PET, baixa relação a/c e aditivos químicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. 1 ed. Rio de Janeiro, 2016. 2 p.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. 1 ed. Rio de Janeiro, 2005. 4 p.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão. 1 ed. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. 1 ed. Rio de Janeiro, 2010. 11 p.

_____. **NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. 1 ed. Rio de Janeiro, 1997. 78 p.

_____. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. 1 ed. Rio de Janeiro, 2016. 2 p.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2005. 11 p.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: Abnt, 2019. 12 p.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. 1 ed. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 8

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. 1 ed. Rio de Janeiro, 2009. 6 p.

AGAPYAN, V.; JOHN, V.M. **Introdução a materiais reforçados com fibras e a tecnologia de CRV**. Simpósio Internacional – componentes pré-moldados em cimento reforçados com fibras de vidro, 2000.

ALVES E BISCOUTO. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE POLIPROPILENO MOÍDO EM ARGAMASSAS COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL À AREIA.** 2017. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná. 2017. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/75287874-Universidade-federal-do-parana-andressa-fatima-alves-giulia-cristine-quint-seronato-biscouto.html> > Acessado em 24 de abril de 2020

ALHOZAIMY et alli. M.; SOROUSHIAN, P.; MIRZA, F. **Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials.** Cement & Concrete Composites, 1996.

ANTUNES E TISCOSKI. **ANÁLISE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO.** 2016. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná. 2016. Disponível em: < <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/4237/1/Bruna%20de%20Luca%20Tiscoski.pdf> > Acessado em 25 de abril de 2020.

ARAÚJO, C. T. F. **Estudo do Comportamento de Juntas de Argamassa Reforçadas com Fibras de Polipropileno.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

BALAGURU P. **Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period.** ACI Materials Journal, 1994.

BAUER, Falcão. **Materiais de construção.** Volume 1. 5.ed. Uberlândia - MG: LTC. 2000. 447p.

BAUER, Elton; CORTEZ, Ieda. **Compósitos à base de fibras sintéticas em argamassas para revestimento na prevenção da fissuração.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas,4. Brasília: Antac, 2001.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites. United Kingdon. Barking,** Elsevier, 1990.

BENTUR E MINDESS. **Fibre Reinforced Cementitious Composites.** Modern Concrete Technology Series. Taylor e Francis. 2ª ed.2007.

BENTES, R. F.; VASCONCELLOS, L. A. E., **O reforço das fibras.** Técnica, São Paulo, v. 1, n. 3, 28-30, mar./abr. 1993.

CALHAU, E. L. **Argamassas de revestimento com aditivo incorporador de ar - propriedades e recomendações.** 2000.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

CARDOSO, Fábio A.; PILEGGI, Rafael G.; JOHN, Vanderley M. Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow. **ANAIS, Florianópolis, VI SBTA,** p. 121-143, 2005.

CARDOSO, A.F; PILEGGI.G.R; JOHN.M.V. **Squeeze-flow aplicado a argamassas de revestimento: Manual de utilização.** Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2010.

CANELLAS, S. S. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas.** Dissertação de mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005

CASAREK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo, IBRACON, 2007.

CENTOFANTE E DAGOSTINI. **Análise das propriedades de argamassas de revestimento com adição de fibras de polipropileno.** São Paulo, 2014.

COELHO, R. T. **Contribuição ao estudo da aplicação de materiais alternativos nos compósitos à base de cimento Portland: uso de grãos de polipropileno reciclado em substituição aos agregados do concreto.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

COLOMBO , ANTUNES. **ANALISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICA DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM A INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO E NYLON.** 2017. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2017. Disponível em: < <http://repositorio.unesc.net/handle/1/5887> > Acesso dia 24 de abril de 2020.

CORTEZ, I.M.M. **Contribuição ao estudo dos sistemas de revestimento á base de argamassa com incorporação de fibras sintéticas.** Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília-Dissertação (mestrado). Brasília, 1999.

COSTA, F.L.; SCHMIDR, M.V.; GLEIZE, P.J.P.; GOMES, L.A. **Metodologia para verificar a ocorrência e evolução de fissuras em argamassas cimentícias.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassa, Florianópolis – Brasil, 2005.

DUÓ, D. **ESTUDO DA ADERÊNCIA E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM AGREGADOS RECICLADOS DE PET EM SUBSTRATOS DE BLOCOS CERÂMICOS.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, UNIPAMPA, Alegrete. 2017

FERNANDES. O. **EFEITOS DA ADIÇÃO DE POLIPROPILENO TRITURADO EM ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND.** 2017. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Paraíba. 2017. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/14989/1/PDF-%20Ot%C3%A1vio%20Fernandes.pdf>>. Acesso dia 24 abril de 2020.

FIGUEIREDO, A. D. **Rheological Behavior of Dry-Mix Shotcrete.** In: II International Conference on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures. ACI/CANMET and UFRGS/UFSC/USP. Proceedings. Gramado, Brazil, June 1-4, 1999.

FIGUEIREDO, A.D. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo. Concreto, ensino, pesquisa e realizações – Editora Geraldo Cechella – Ibracon, 2005.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras**. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2011.

FLORA, D.P.D.; MOURA, N.B.; DUTRA, A.I.F.; VENQUIARUTO, S.D.; TEMP, A.L.; **Estudo do comportamento mecânico e de durabilidade de concretos convencionas confeccionados com politereftalato de etileno (PET)**. In: 60º Congresso Brasileiro do Concreto, 2018, Foz do Iguaçu, PR. Anais 60º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: IBRACON, 2018.

JARDIM, Rosieli Ribeiro. **Estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de pet em concretos convencionais**. 2016. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Alegrete, 2016. Disponível em: < <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/riiu/1896> > Acessado em 04 de julho de 2020.

JOHNSTON, C.D. **Fibre-reinforced cement and concrete**. In: V. M. MALHOTRA. Advances in Concrete Technology. 2ª edition. Ottawa: V. M. Malhotra, 1992.

JOHNSTON, C. D. **Fiber-reinforced cements and concretes**. Canada: V. M. Malhotra, 2001.

LOURENCI, S. **Caracterização de Argamassas de Revestimento Fabricadas com Materiais Alternativos**. Dissertação de mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Centro de Ciências Tecnológicas. Joinville, 2003.

MACHADO, Bruna de Moura. **INFLUÊNCIA DE ADITIVO INCORPORADOR DE AR EM ARGAMASSAS MISTAS COM AGREGADO RECICLADO DE PET**. 2019. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019. Disponível em < <http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riiu/4855/1/Bruna%20de%20Moura%20Machado%20-%202019.pdf> > Acessado em 18 de abril de 2020.

MARTINS E SOARES. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA COM FIBRAS DE PAPEL KRAFT PROVENIENTES DE EMBALAGENS DE CAL**. 2016. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia 2016. Disponível em: < https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/AVALIA%C3%87%C3%83O_DO_DESEMPENHO_DE_REVESTIMENTOS_DE_ARGAMASSA_COM_FIBRAS_DE_PAPEL_KRAFT_PROVENIENTES_DE_EMBALAGENS_DE_CAL.pdf > Acessado em 20 de abril de 2020.

MINARI P. **Adição de fibras de vidro e polipropileno em argamassas de revestimento**. 2018. Tese (mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto 2018. Disponível em: < https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/14351/1/DM_PedroMinariJr_2018_MEC.pdf > Acesso dia 25 de abril de 2020.

MONTE, SILVA E BARROS. **Avaliação da influência de fibras de polipropileno na resistência de aderência de revestimento de argamassa.** São Paulo. 2009.

NUNES, N. L.; AGOPYAN, V. **A influência do fator de forma da fibra na tenacidade à flexão do concreto reforçado com fibras de aço.** São Paulo: EPUSP, 1998

PASSINI. **Comportamento Mecânico de Grampos com Fibra de Polipropileno.** 2010. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: < <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/mestrado/2010-2/1303-larissa-de-brum-passini> > Acessado em 20 de abril de 2020.

PELISSER, Fernando - **Avaliação do Desempenho de Concreto Reforçado com Fibras de Polietileno Tereftalato (PET).** 2002. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2002. Disponível em: < <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/84218> > Acessado em 26 de abril de 2020.

PONIKIEWSKI, T.; SZWABOWSKI, J. **Effects of fibres on the rheological and mechanical properties of reinforced mortar.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005

PUERTAS; AMANY; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ; VÁZQUEZ. . **Mechanical and durable behaviour of alkaline cement mortars reinforced with polypropylene fibres.** Cement and Concrete Research, 2003.

OLIVEIRA, Maria Luiza Lopes de - **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas.** 2001. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2001. Disponível em: < <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82155> > Acessado em 23 de abril de 2020.

OLIVEIRA, L.A.P; ALVES, P.C.P; DIAS, S.M.M. **Desempenho de argamassas reforçadas com fibras acrílicas.** Covilhão – Portugal: Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura – Universidade da Beira Interior. 2007.

OLIVEIRA, M.L.L; GLEIZE, P.J.P; ROMAN, H.R. **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS. 5., São Paulo. 2003.

SANJUAN, M.A.; MORAGUES, A. **Polypropylene-fibre-reinforced mortar mixes: optimization to control plastic shrinkage.** Composites Science and Technology Mechanics, 2002.

SANTOS, A. M. dos. **Estudo de Compósitos Híbridos de Polipropileno / Fibras de Vidro e Coco para Aplicação em Engenharia.** 2006. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: < http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_078_alexandresantos.pdf > Acessado em 25 de abril de 2020.

SCHERER, Cibeli Beatriz. **Avaliação de desempenho de argamassas modificadas com agregados finos de vidro**. 2019. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019. Disponível em: < <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/riu/4858> > Acessado dia 30 de abril de 2020.

SILVA, Rosiany da Paixão da - **Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo comportamento reológico e mecânico**. 2006. Tese (mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-17112006-141646/publico/rosianyedicaorevisadadadissertacao19julho.pdf> > Acessado em 25 de abril de 2020.

SILVA. **Avaliação da Retração e da Fissuração em Revestimento de Argamassa na Fase Plástica**. 2011. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/95497> > Acessado em 25 de abril de 2020

SILVA, Julio César da. **A INFLUENCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO E VERMICULITA EXPANDIDA EM ARGAMASSAS COM NONOTITÂNIA**. 2015. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/157140> > Acessado dia 25 de abril de 2020.

SILVA, R. P.; BARROS, M. M. S. B. ; JOHN, V. M. **Influência do método de mistura na produção de argamassas com fibras**. In: VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2007, Recife. VII SBTA.

SIQUEIRA, José Eduardo Lobato de - **Utilização de fibras naturais e sintéticas em argamassas de revestimento de alvenaria: estudo comparativo de desempenho**. 2006. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: < <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/88330> > Acessado dia 26 de abril de 2020.

TANESI, J.; AGOPYAN, V. **Compósitos reforçados com fibras plásticas para construção civil**. ENCONTRO TECNOLOGIA DE SISTEMAS PLÁSTICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, H, 1997.

TANESI, J. & FIGUEIREDO, A. **Materiais com fibras de polipropileno para construção civil**. Congresso Internacional de não tecidos e tecidos técnicos. Anais. 1999.

TAYLOR, G. D. **Construction Materials**. Longman Scientific & Technical, 1994.

TOLEDO FILHO, R.D.; SANJUÁN, M.A.; **Effect to low modulus sisal and polypropylene fibre on the free and restrained shrinkage of mortar at early age**. Cement and Concrete Research. 1999.

VAZ, C. E. **Avaliação de Desempenho de Argamassa Modificada: Com Fibra de PET**. 2006. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019. Disponível em: < <http://dspace.unipampa.edu.br/handle/rii/1893> > Acessado dia 01 de março de 2021.

APÊNDICES

Apêndice A – Resultados do Ensaio de Índice de Consistência.

Tabela 28 – Resultados completos do índice de consistência.

Traço	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	Índice de Consistência (mm)
T0 -REF	24,5	24,5	24,5	245,0
T15PET-0P	25	25	25	250,0
T15PET-0,1P	24,5	24,5	24,5	245,0
T15PET-0,2P	24	24	24	240,0
T 0,1PP	24,5	24,5	24,5	245,0
T0,2PP	24	24,5	24,5	243,3

Fonte: Elaboração Própria.

Apêndice B– Resultados do Ensaio de Densidade de Massa.

Tabela 29 – Resultados completos do ensaio de densidade de massa.

Traço	Mcheio (g)	Mvazio (g)	Vrecipiente (cm ³)	Densidade de Massa (g/cm ³)	Classificação NBR 13281
T0 -REF	1191,2	410,6	350	2,23	D6
T15PET-0P	1071,7	410,6	350	1,89	D4
T15PET-0,1P	1008,6	355,9	350	1,86	D4
T15PET-0,2P	1050,6	410,8	350	1,83	D4
T 0,1PP	1079,1	342,3	350	2,11	D5
T0,2PP	1125,5	396,2	350	2,08	D5

Fonte: Elaboração Própria.

Apêndice C – Resultados do Ensaio de Teor de Ar Incorporado.

Tabela 30 – Resultados completos do ensaio de teor de ar incorporado.

Traço	Densidade de Massa Traço (g/cm ³)	Densidade Teórica Traço (g/cm ³)	Teor de Ar Incorporado (%)
T0 -REF	2,230	2,187	1,98
T15PET-0P	1,889	1,942	2,72
T15PET-0,1P	1,865	1,955	4,62
T15PET-0,2P	1,828	1,854	1,41
T 0,1PP	2,105	2,175	3,19
T0,2PP	2,084	1,985	4,99

Fonte: Elaboração Própria.

Apêndice D – Resultados do Ensaio de Retenção de Água.

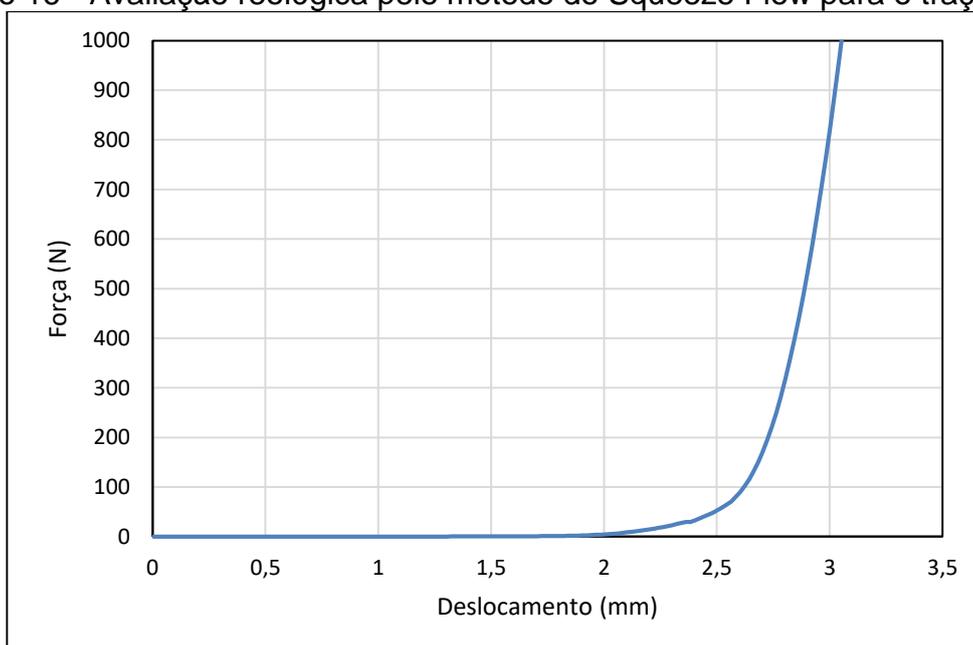
Tabela 31 – Resultados completos do ensaio de retenção de água.

Traço	Ma (g)	Ms (g)	Mv (g)	Mw (g)	m (g)	AF	Ra (%)	Classe
T0 -REF	2273,10	2247,10	753,20	575,02	3705,00	0,134	87,27	U3
T15PET-0P	1924,30	1894,60	753,90	801,12	3530,00	0,185	86,28	U3
T15PET-0,1P	1826,70	1798,50	755,00	767,00	3532,51	0,178	85,25	U3
T15PET-0,2P	1893,50	1843,70	754,60	1024,00	3535,02	0,225	80,53	U2
T 0,1PP	2085,90	2052,80	753,40	592,80	3707,51	0,138	81,98	U2
T0,2PP	2063,40	2025,60	754,20	600,60	3710,10	0,139	79,28	U2

Fonte: Elaboração Própria.

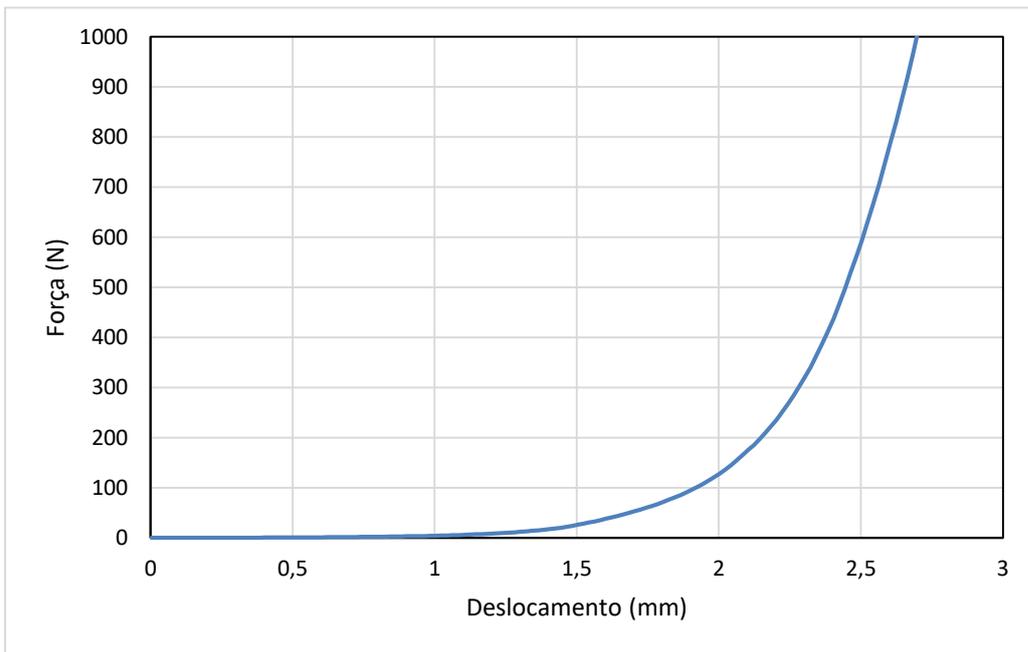
Apêndice E – Resultados Gráficos do Ensaio de Avaliação Reológica – Método do Squeeze Flow

Gráfico 16 - Avaliação reológica pelo método do Squeeze Flow para o traço T0-REF.



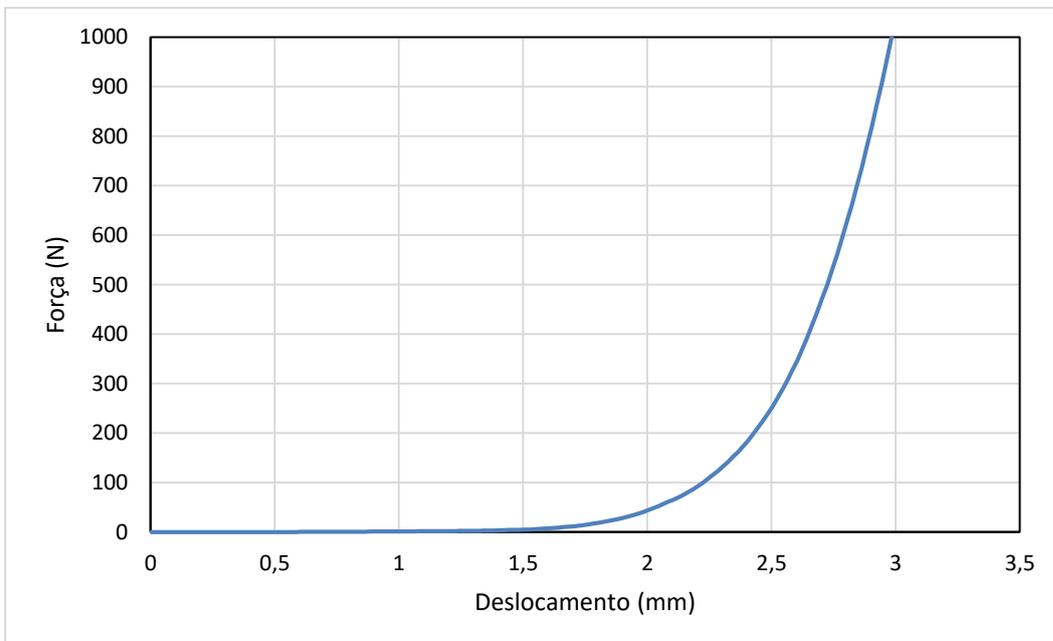
Fonte: Elaboração Própria.

Gráfico 17 - Avaliação reológica pelo método do Squeeze Flow para o traço T15-0PP.



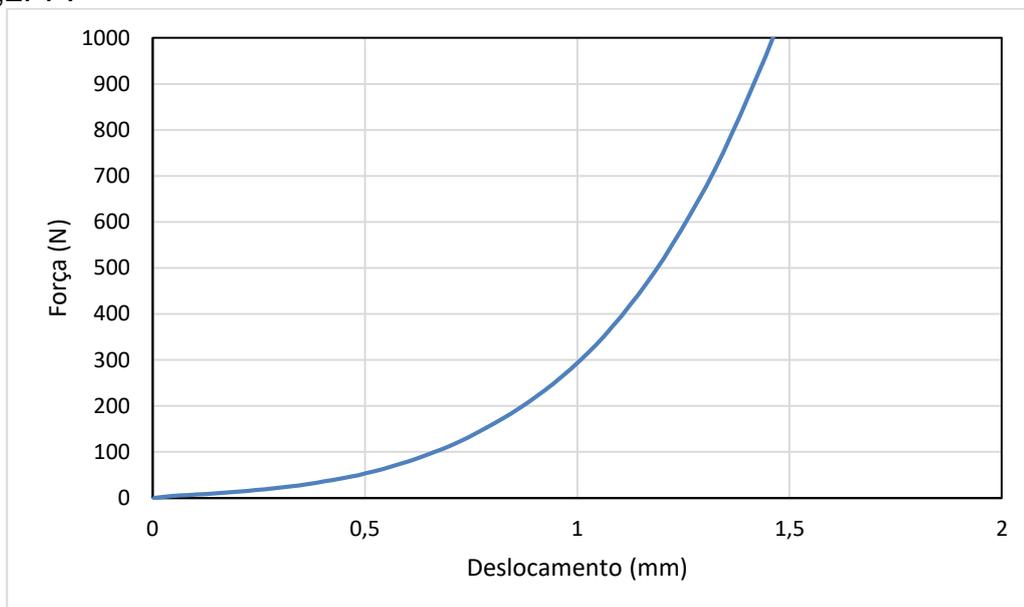
Fonte: Elaboração Própria.

Gráfico 18 - Avaliação reológica pelo método do Squeeze Flow para o traço T15-0,1PP.



Fonte: Elaboração Própria.

Gráfico 19 - Avaliação reológica pelo método do Squeeze Flow para o traço T15-0,2PP.



Fonte: Elaboração Própria.

Apêndice F – Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão Axial.

Tabela 32 - Resultados Completos do Ensaio de Resistência à Compressão Axial.

TRAÇO	CP	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
T0-REF	1	1600	6426	4,02	3,85	0,57	14,87
	2	1600	5083	3,18			
	3	1600	5327	3,33			
	4	1600	7193	4,50			
	5	1600	7193	4,50			
	6	1600	5781	3,61			
TRAÇO	CP	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
T15PET-0PP	1	1600	1914	1,20	1,22	0,13	11,02
	2	1600	2287	1,43			
	3	1600	1785	1,12			
	4	1600	2151	1,34			
	5	1600	1751	1,09			
	6	1600	1853	1,16			

TRAÇO	CP	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
T15PET-0,1PP	1	1600	998	0,62	0,62	0,06	9,85
	2	1600	828	0,52			
	3	1600	1133	0,71			
	4	1600	1025	0,64			
	5	1600	991	0,62			
	6	1600	1018	0,64			

TRAÇO	CP	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
T15PET-0,2PP	1	1600	1886	1,18	1,15	0,22	19,44
	2	1600	1479	0,92			
	3	1600	2002	1,25			
	4	1600	1493	0,93			
	5	1600	1785	1,12			
	6	1600	2429	1,52			

Fonte: Elaboração Própria.

Apêndice G – Resultados do Ensaio de Resistência a Tração na Flexão.

Tabela 33 – Resultados completos do ensaio de resistência a tração na flexão.

TRAÇO	CP	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
T0REF	1	1600	238	0,56	0,55	0,01	1,65
	2	1600	238	0,56			
	3	1600	231	0,54			

TRAÇO	CP	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
T15PET-0PP	1	1600	170	0,40	0,40	0,03	8,00
	2	1600	156	0,37			
	3	1600	183	0,43			

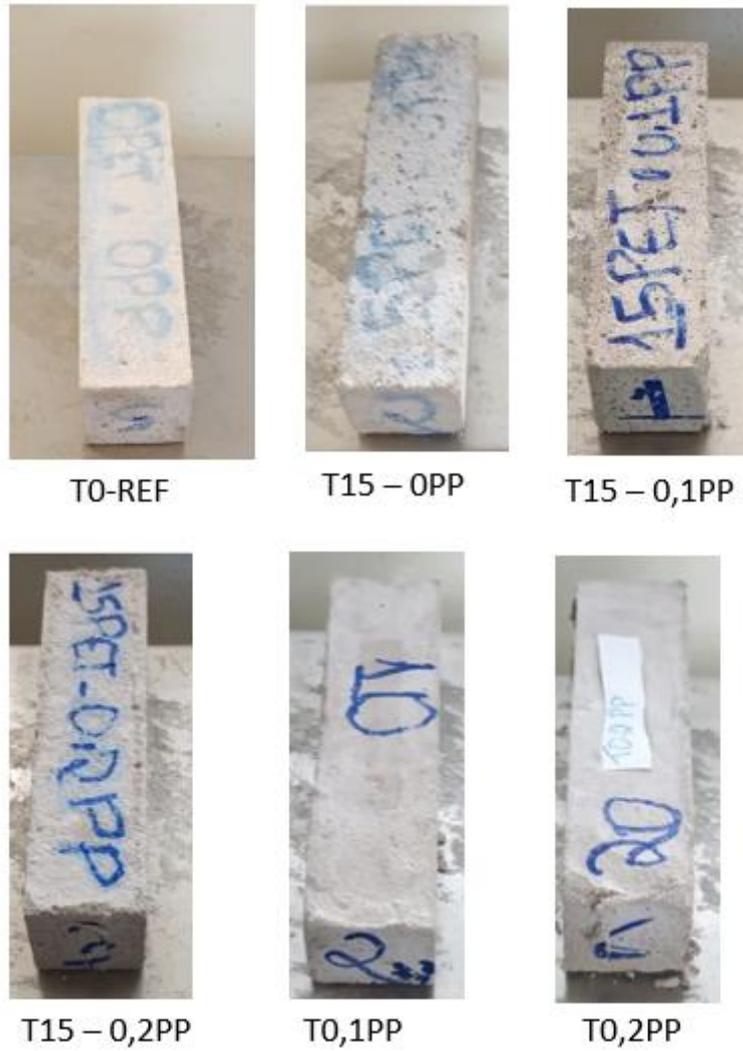
TRAÇO	CP	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
T15PET-0,1PP	1	1600	102	0,24	0,26	0,02	7,07
	2	1600	115	0,27			
	3	1600	115	0,27			

TRAÇO	CP	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
T15PET-0,2PP	1	1600	136	0,32	0,28	0,04	14,43
	2	1600	102	0,24			
	3	1600	122	0,29			

Fonte: Elaboração Própria.

Apêndice H – Imagens dos corpos de provas das argamassas.

Figura 21 – Corpos de prova de cada argamassa estudada.



Fonte: Elaboração Própria.