



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS PALMAS

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANA LUÍSA BIDO GELLEN

**OTIMIZAÇÃO DE MISTURAS CIMENTÍCIAS COM VIDRO MOÍDO
PARA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO A PARTIR DO DELINEAMENTO
COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL: impacto da variação do teor de água e de fibra
de polipropileno na performance.**

PALMAS

2023

ANA LUÍSA BIDO GELLEN

**OTIMIZAÇÃO DE MISTURAS CIMENTÍCIAS COM VIDRO
MOÍDO PARA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO A PARTIR DO
DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL: impacto da variação
do teor de água e de fibra de polipropileno na performance.**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil
do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Palmas.

Orientador: Dr. Adriano dos Guimarães
de Carvalho.

PALMAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

- G318o Gellen, Ana Luísa Bido
Otimização de misturas cimentícias com vidro moído para argamassa de revestimento a partir do delineamento composto central rotacional : impacto da variação do teor de água e de fibra de polipropileno na performance / Ana Luísa Bido Gellen. – Palmas, TO, 2023.
54 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.
- Orientador: Dr. Adriano Dos Guimarães de Carvalho
1. argamassa. 2. fibra de polipropileno. 3. vidro moído. I. Carvalho, Adriano Dos Guimarães de. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ANA LUÍSA BIDO GELLEN

**OTIMIZAÇÃO DE MISTURAS CIMENTÍCIAS COM VIDRO MOÍDO
PARA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO A PARTIR DO DELINEAMENTO
COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL: impacto da variação do teor de água e de fibra
de polipropileno na performance.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito para obtenção do título de
Bacharel do Curso Superior de Engenharia
Civil do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Palmas.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO DOS GUIMARAES DE CARVALHO**
Data: 14/12/2023 19:39:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho

Orientador

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO RAFAEL DE SOUZA ALVES BOSSO**
Data: 14/12/2023 20:20:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Antônio Rafael de Souza Bôso

Documento assinado digitalmente
 **PAULO DOS SANTOS BATISTA**
Data: 15/12/2023 08:17:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Paulo dos Santos Batista

RESUMO

O sucesso da integração de princípios sustentáveis associados à frequente busca por misturas de alta performance na indústria da construção civil tem sido objeto de interesse crescente devido às implicações ambientais e socioeconômicas. Nesse sentido, a motivação subjacente desta pesquisa se fundamentou na análise de influência da adição de pó de vidro e fibras de polipropileno (teores acima do recomendado pelo fabricante) nas propriedades das argamassas de revestimento de painéis de alvenaria. O programa experimental se baseou na substituição parcial da areia natural por partículas de vidro na proporção de 15%, apresentando como variáveis avaliativas a quantidade de água e teor de fibras de polipropileno. A pesquisa prosseguiu através da otimização das misturas a partir da teoria do Delineamento Composto Central Rotacional. Dessa forma, foi realizado um estudo comparativo entre argamassa de referência 1:6:2 (cimento, cal, areia mista) e argamassas com variadas combinações de água e fibra em teores acima dos usuais indicado pelo fabricante, com intuito de avaliar as propriedades no estado endurecido de tração na flexão, na compressão e de consistência no seu estado fresco. Os resultados demonstraram que a incorporação de fibra acima do sugerido pelo fabricante não traz benefícios aos resultados de performance, considerando os materiais e teores utilizados neste estudo. Se observou que os resultados suscitados, indicam que os pontos otimizados para compressão e tração na flexão aproximaram-se das percentagens de teores de fibra preconizadas pelo fabricante.

Palavras-chave: argamassa; fibra de polipropileno; pó de vidro

ABSTRACT

The success of integrating sustainable principles associated with the frequent pursuit of high-performance blends in the construction industry has been the subject of growing interest due to environmental and socioeconomic implications. In this context, the underlying motivation of this research was based on analyzing the influence of adding glass powder and polypropylene fibers (above the recommended levels by the manufacturer) on the properties of mortar for masonry panel coatings. The experimental program involved partially replacing natural sand with glass particles at a ratio of 15%, with the evaluative variables being the amount of water and the polypropylene fiber content. The research proceeded by optimizing the blends using the theory of Rotatable Central Composite Design. A comparative study was conducted between reference mortar 1:6:2 (cement, lime, mixed sand) and mortars with various combinations of water and fiber at levels above those recommended by the manufacturer, aiming to evaluate properties in the hardened state, including flexural tensile strength, compressive strength, and consistency in the fresh state. The results demonstrated that incorporating fiber above the manufacturer's recommendation did not bring benefits to performance outcomes, considering the materials and levels used in this study. It was observed that the optimized points for compression and flexural tensile strength approached the percentage of fiber content recommended by the manufacturer.

Keywords: mortar; polypropylene fiber; glass powder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da pesquisa	28
Figura 2 -Ensaio no estado fresco e endurecido da argamassa	32

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros avaliados no planejamento experimental _____	30
Tabela 2 - Desvio Padrão e Coeficiente Variância – Tração na Flexão _____	35
Tabela 3 - Desvio Padrão e Coeficiente Variância – Compressão _____	37
Tabela 4 -Análise de variância resistência à compressão _____	38
Tabela 5 - Análise de variância resistência à tração na flexão _____	39
Tabela 6 - Análise da regressão dos resultados experimentais obtidos pelo modelo fatorial empregado na produção dos traços de argamassa – compressão _____	40
Tabela 7 - Análise da regressão dos resultados experimentais obtidos pelo modelo fatorial empregado na produção dos traços de argamassa - Tração na flexão _____	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Índice de consistência _____	33
Gráfico 2 Resistência à Tração na flexão _____	34
Gráfico 3 -Resistência a compressão _____	36
Gráfico 4 -Superfície de resposta para resistência de tração na flexão 1/2 _____	41
Gráfico 5 - Superfície de resposta para resistência de tração na flexão 2/ _____	42
Gráfico 6 -Superfície de resposta para resistência a compressão 1/2 _____	42
Gráfico 7 -Superfície de resposta para resistência a compressão 2/2 _____	43

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIVIDRO	Associação Brasileira das Indústrias de Vidro
ABRESPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANAVIDRO	Associação Nacional de Vidraçarias
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
MMA	Ministério do Meio Ambiente
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul

LISTA DE SÍMBOLOS

R_c	Resistência à tração na compressão
R_f	Resistência à tração na flexão
F_c	Carga máxima aplicada
F_f	Carga axial inserida no centro do prisma
L	Distância entre os suportes

SUMÁRIO

1	<u>INTRODUÇÃO</u>	12
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.2.1	HIPÓTESE DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	15
2	<u>OBJETIVOS</u>	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	<u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	16
3.1	ARGAMASSA	16
3.2	PROPRIEDADES	18
3.3	INTRODUÇÃO A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: RESÍDUO DE VIDRO	21
3.3.1	VIDRO	22
3.3.2	VIDRO MOÍDO E ARGAMASSAS	23
3.4	FIBRA DE POLIPROPILENO	24
3.5	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	26
4	<u>METODOLOGIA</u>	27
4.1	MATERIAIS	28
4.2	PREPARO DO VIDRO	29
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	29
4.4	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	29
4.5	ENSAIO NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO	31
4.6	ANÁLISE DE DADOS	32
5	<u>RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	32
5.1	CARACTERÍSTICAS NO ESTADO FRESCO	32
5.2	CARACTERÍSTICAS NO ESTADO ENDURECIDO	34
5.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
6	<u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	44
7	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	46
ANEXO A -----		51

1 INTRODUÇÃO

O acentuado consumo de recursos naturais na construção civil apresenta-se como um fator preocupante, tornando indispensável a busca por propostas que auxiliem a redução de impactos no meio ambiente. Essa necessidade é reforçada por Silva et al. (2017) ao mencionar o termo “construção sustentável” como um conjunto que incentiva ações sustentáveis no ecossistema, garantindo a integridade dos recursos para o benefício das futuras gerações através do emprego de materiais e tecnologias harmoniosas que minimizam o impacto ambiental, desde a sua obtenção, produção e uso até o final de sua vida útil. O principal objetivo é construir uma edificação que não agrida o meio ambiente, oferecendo conforto humano, com uso consciente dos recursos naturais, tais como consumo da água e da energia, materiais de construção, buscando sempre por sustentabilidade e viabilidade ecológicas no seu processo construtivo.

Com base nisso, estudos foram efetuados no âmbito da substituição parcial de materiais convencionais por resíduos de diversas indústrias, como nas argamassas. Entre eles, pesquisas demonstraram a viabilidade de substituição de agregado miúdo natural (areia de rio) por vidro triturado, possibilitando uma melhor solução de destinação para o resíduo de vidro (Santos, 2016; Oliveira, 2018).

Nesse contexto, entre a composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), o vidro se sobressai devido à sua natureza não biodegradável, resultando na significativa ocupação de vastas áreas nos aterros sanitários. Assim, tratando-se de um material inorgânico amorfo, o vidro é predominantemente composto por óxido de silício (SiO_2), exibindo propriedades físicas e químicas que o tornam propício para servir como substituto parcial em matrizes cimentícias. A presença acentuada de sílica amorfa no pó de vidro irá conferir a este material uma reatividade pozolânica culminando em potenciais benefícios para a resistência mecânica de tração e compressão do compósito resultante. (Morais, et.al. 2022).

Com base nisso, a combinação sinérgica de materiais como o vidro e a argamassa apresenta-se como uma estratégia inovadora. Todavia é de notório conhecimento que revestimentos argamassados são amplamente utilizados no Brasil e quando aliado ao emprego de materiais e técnicas inadequadas tem proporcionado a observação de manifestações de

diversas patologias como: fissuras, infiltrações, eflorescências, manchas, esfarelamento, deslocamento, dentre outros.

Essa problemática ressalta as características desejáveis da argamassa, como por exemplo, quando endurecida, seja capaz de absorver deformações por efeito diferencial, térmico e higroscópico, que atenda às exigências de aderência ao substrato, apresente boa resistência ao impacto, resistência ao desgaste, pouca ou nenhuma permeabilidade, mas com possibilidade de penetração de vapor. Posto que de acordo com a NBR 13.281 (ABNT, 2005, p. 2), trata-se de um subsistema confeccionado a partir de uma mistura homogênea de agregado miúdo (geralmente areia), aglomerantes inorgânicos (cimento e/ou cal) e água, podendo conter ou não aditivos e adições, responsável por recobrir a superfície de substratos, atuando como a camada mais vulnerável às influências de condições ambientais, tais como a exposição ao sol e à chuva (Monte; Barros; Figueiredo, 2012).

Fato é que por se tratar de um subsistema que fica visível aos olhos, a observação de “defeitos” no mesmo, provoca uma insatisfação muito significativa aos seus usuários, relacionadas principalmente à insegurança psicológica e estrutural (Duarte, 1998). Vale ressaltar que os revestimentos de fachadas e também os internos são os grandes formadores da “qualidade do imóvel”, sugerindo que, quando da observação de não conformidades, leva o espectador a questionar a integridade dos demais elementos constituintes da edificação.

Assim, na busca por melhores condições de desempenho e performance de argamassas para revestimentos, pesquisadores têm estudado a utilização de materiais alternativos como fibras sintéticas e naturais. Nesse sentido, Colombo et al. (2020), destaca o uso de polímeros sintéticos, como o polipropileno, uma vez que sua incorporação tende a proporcionar um aumento de tenacidade nas argamassas desencadeando um acréscimo na capacidade dos revestimentos em absorver deformações e assim em seguida mitigar a potencial ocorrência de fissuras.

Diante da ideia supracitada e da insuficiência de estudos relacionados a análise entre adição de partículas de vidro e fibra de polipropileno publicados na área, o presente trabalho objetivou comparar e analisar a propriedade de resistência à tração na flexão, compressão no estado endurecido e consistência, no estado fresco, de argamassas de revestimento de painéis e alvenaria (reboco), com a incorporação de diferentes teores de fibras de polipropileno e substituição parcial de areia natural de rio por resíduo de vidro de garrafas triturado (15% de

substituição). Sendo pertinente ressaltar a intencionalidade subjacente de explorar um intervalo de teor de fibra de polipropileno acima do valor estabelecido pelo fabricante.

Dessa forma, ao analisar o comportamento relacionado aos esforços de compressão nas argamassas que contêm resíduos e fibra de polipropileno (cimento, cal, areia de rio, pó de vidro, aditivo plastificante, fibra sintética e água), buscou-se desenvolver e encontrar misturas argamassadas que atendam aos requisitos normativos da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, como também reduzir a extração de areia natural de rio, e promovendo uma destinação mais sustentável para garrafas de vidro, além da interação proporcionada por estes materiais em teores de fibras acima do recomendado pelo fabricante.

Mais adiante, neste trabalho são abordados os métodos empregados no processo de preparação e aplicação do vidro moído, visando a sua adequação para a substituição parcial do agregado miúdo convencional, como também a caracterização de todos os materiais utilizados. São exploradas as diversas etapas envolvidas, incluindo o processo de mistura, os procedimentos de cura adotados, bem como os ensaios utilizados para determinar a resistência à compressão das amostras. Posteriormente, será realizada uma análise e discussão dos resultados obtidos, a fim de compreender de forma abrangente o desempenho e as implicações do uso do pó de vidro e fibra de polipropileno como parte integrante das argamassas.

Nessa perspectiva o trabalho utilizou um planejamento fatorial a partir do método de delineamento composto central rotacional – DCCR para determinação das misturas, com quatro pontos fatoriais, três pontos centrais e quatro pontos axiais, totalizando 11 misturas cimentícias (excluindo-se o traço controle sem adição de fibra).

1.1 Problema de Pesquisa

Diante do contexto ambiental contemporâneo, caracterizado pela imperativa necessidade de desenvolver práticas construtivas mais sustentáveis e da crescente consideração sobre o potencial das fibras de polipropileno como elemento de reforço nas argamassas, emerge uma indagação de suma relevância: Qual é a proporção ótima de fibras de polipropileno e água que, quando empregada em argamassas modificadas com vidro moído, possibilitará a maximização de algumas características e ao mesmo tempo que minimizará o risco de fissuração?

1.2 Justificativa

O desempenho de misturas argamassadas (reboco) está vinculado a diversos fatores tais como os materiais empregados, os processos de execução, as características do substrato, condições ambientais, dentre outros.

Em regiões de clima quente, deve-se também ter um cuidado especial quanto à possibilidade de fissuração na mistura cimentícia. Palmas possui temperaturas médias anuais em torno de 27 °C, sendo que as máximas podem alcançar valores superiores a 40 °C (INMET, 2022). Estas máximas aumentam consideravelmente os riscos de fissuração, pois na retração as argamassas possuem ruptura frágil sem grandes deformações. O emprego de fibras de polipropileno pode contribuir de forma bastante positiva, para que esta fragilidade possa ser mitigada (Silva, 2006).

Este trabalho de pesquisa visa buscar informações relativas a algumas lacunas conceituais, como: quais as contribuições à performance da argamassa, no que tange às interações entre os materiais utilizados neste estudo (cimento Portland, cal hidratada, plastificante, agregado miúdo de areia de rio e vidro moído), qual a quantidade de fibras e água proporcionará um melhor desempenho para a mistura.

1.2.1 Hipótese de desenvolvimento do trabalho

Para este trabalho foi analisada a hipótese de que a interação entre a fibra de polipropileno, vidro moído e o teor de água, podem proporcionar economia e melhorar a performance em painéis de revestimento argamassado, aumentando sua resistência de compressão e tração na flexão. Com base nisto, foram definidas as 2 hipóteses para desenvolvimento do trabalho.

- Hipótese nula (H0): A fibra de polipropileno e quantidade de água para o determinado intervalo influencia nas resistências de tração na flexão e compressão.

- Hipótese alternativa (H1): A fibra de polipropileno e água para o determinado intervalo **NÃO** influencia nas resistências de tração na flexão e compressão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é avaliar misturas cimentícias argamassadas (cimento, cal hidratada, agregado miúdo, água, aditivo plastificante, fibra de polipropileno e vidro moído) que atendam aos requisitos normativos da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Vale ressaltar que as variáveis para este estudo serão a quantidade de fibra (teores acima do recomendado pelo fabricante) e de água.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- 1) Promover uma destinação adequada ao resíduo vidro.
- 2) Avaliar a consistência das misturas argamassadas.
- 3) Analisar a resistência à tração na flexão e à compressão.
- 4) Otimizar o processo de mistura usando vidro e fibra de polipropileno.
- 5) Possibilitar a produção de argamassas sustentáveis e que atendam aos requisitos de norma.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Argamassa

Conforme Caraseck (2007), as argamassas de revestimento têm a finalidade de cobrir superfícies de paredes, muros e tetos, sendo comum a aplicação de acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros. Para garantir um desempenho sobre essas argamassas, várias propriedades são consideradas essenciais, como trabalhabilidade, consistência, plasticidade, adesão inicial, retração, aderência, permeabilidade à água, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica, principalmente na superfície.

Do ponto de vista normativo, sua definição pode ser estabelecida pela NBR 13.281 (ABNT, 2005), que ressalta:

[...] argamassas são uma mistura íntima e homogênea de algum aglomerante mineral, agregado miúdo, água e ocasionalmente, aditivos, em proporções adequadas a uma determinada finalidade, capacidade de endurecimento e aderência. Possui propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra (ABNT, 2005).

Colombo et.al. (2020) destaca sobre a classificação das argamassas em duas categorias principais, sendo elas argamassas de assentamento e as argamassas de revestimento. As argamassas de revestimento são aplicadas visando o acabamento das edificações, trabalhando em cima do aspecto estético e de valorização do bem, como também na proteção dos elementos estruturais e de vedação. Logo, as argamassas auxiliam os elementos de vedação nas funções de estanqueidade à água e aos gases, isolamento térmico/acústico e regularização da superfície.

Isaias (2007) em consonância com as diretrizes da NBR 13.281 (ABNT, 2005), pontua sobre a vasta variação de materiais, inclusive resíduos, para produção das argamassas. Nesse sentido, tem-se como exemplo o cimento Portland, cal, agregado miúdo, água, aditivos, pó de mármore, pó de vidro, microfibras sintéticas e naturais, lodo de estações de tratamento de água, dentre outros. Dessa forma, dependendo de sua finalidade e de modo que preserve espessura do revestimento em um intervalo entre 2 a 3 cm, pode ser aplicado com as seguintes camadas (Yazigi, 2004):

- Chapisco é uma camada de preparo da base, tendo a função de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento escolhido.

- Emboço é uma camada de revestimento feita para cobrir, uniformizar e regularizar a base, possibilitando uma superfície que possa receber outra camada (reboco) ou até mesmo um revestimento cerâmico.

- Reboco é a camada usada para o cobrimento do emboço. É semelhante ao emboço, todavia, proporciona superfície que permite receber um revestimento decorativo do tipo pintura, constituindo-se como acabamento final.

- Existe ainda a possibilidade de se realizar o revestimento de painel de alvenaria em camada única. Nesta situação ele é chamado de “Massa Única”, composto por um único tipo de argamassa na qual é aplicado à base (chapisco). Após sua cura, normalmente é aplicado uma camada “decorativa” (pintura).

A fim de garantir um bom desempenho ao longo da vida útil, as argamassas devem possuir propriedades tanto no estado fresco como no endurecido. Aliado a isso, para preservar seu desempenho, é necessário que não haja falta de cuidado na escolha dos materiais, na dosagem e também na execução de revestimentos de alvenaria uma vez que podem desencadear manifestações patológicas relacionadas a processos físicos, mecânicos, biológicos e químicos. Alguns exemplos típicos são surgimento de fissuras e trincas, eflorescências, bolor, manchas escurecidas, deslocamento, desagregação, dentre outros. (Junior, 2017).

Nesse sentido, tanto para assentamento como para revestimento destacam-se os traços 1:1:6 (cimento, cal e areia) e 1:2:9. Todavia Ferreira (2010) reitera que a dosagem de argamassa deve ser adequada conforme as considerações do substrato e a agressividade a que está sujeito, ao tipo de revestimento e acabamento esperado. Logo pontua que os traços pré-fixados devem servir apenas como auxílio inicial.

Logo é indubitável que as argamassas utilizadas em revestimento e assentamento são elementos fundamentais amplamente disseminados nos locais de construção no Brasil. Dentro desse contexto, a norma NBR 13.281-1 aborda aspectos técnicos, incluindo classificações e requisitos de desempenho para argamassas inorgânicas destinadas ao revestimento de paredes e tetos.

A normalização de requisitos e classificações proporciona aos fabricantes de argamassas e aos construtores um guia claro e específico para garantir a qualidade de seus produtos, assegurando que estão empregando materiais que atendem às exigências técnicas de desempenho. Portanto, o entendimento dos requisitos estabelecidos pela norma é crucial para a escolha apropriada de argamassas em cada tipo de projeto e para o dimensionamento adequado dos materiais.

No contexto deste estudo, é relevante destacar a importância da resistência à tração na flexão, um critério considerado pela norma como informativo, que deve ser obrigatoriamente comunicado pelo fabricante no caso de argamassas fornecidas para a obra, ou pelo responsável pela obra no caso de argamassas no canteiro.

3.2 Propriedades

3.3.1 Propriedade estado fresco: Consistência

A consistência, trababilidade, plasticidade, massa específica, entre outras, são propriedades do revestimento de argamassa no estado plástico, que influenciam na qualidade final da argamassa (Silva, 2006).

A trabalhabilidade da argamassa, conforme apontou Carasek (2010), diz respeito à facilidade de manipulação do material ao longo das fases de mistura, transporte e aplicação, que podem ser influenciadas de acordo com as propriedades supracitadas. Nesse sentido, configura-se como argamassa trabalhável aquela que quando lançada no substrato se distribui de maneira uniforme, mantendo sua coesão e evitando a separação de seus componentes ao mesmo tempo que conserva sua maleabilidade durante o processo (Baía e Sabbatini, 2000).

Essa colocação é esclarecida por Rocha, (2012) apud Sabbatini, (1986) que conceituou a trabalhabilidade, como a facilidade de os grãos dos agregados rolarem entre si, relacionando-os com o atrito interno a coesão e a sua viscosidade. Dessa forma, a interligação desses componentes irá determinar sua aplicabilidade à maleabilidade em contextos construtivos,

sendo avaliada indiretamente por métodos consagrados empregados para medir a consistência (Casali, 2008).

Nesse sentido, é válido destacar que a capacidade de uma argamassa de se deformar quando aplicada a cargas está atrelada ao seu grau de consistência, que, por sua vez, é fortemente influenciada pela quantidade de água adicionada à mistura. Uma consistência mais líquida implica em uma argamassa com menos resistência ao escoamento. Paralelamente, a plasticidade se refere à capacidade de o material preservar sua forma após a redução das tensões. (Carasek, 2010).

Portanto, os métodos para determinação do índice de consistência da argamassa de assentamento podem ser determinados a partir da NBR 13276 (ABNT, 2016). O ensaio consiste na deformação da mistura quando sujeita a 30 quedas em 30 segundo sob uma plataforma que realiza movimentos de sobe e desce. Após os golpes, o resultado é apresentado por um valor em mm que corresponde ao diâmetro formado, denominado de medida de espalhamento. Nesse sentido, é válido apontar que quanto menor o espalhamento, mais difícil de se deformar e consequentemente, aplicar.

3.3.2 Propriedade estado endurecido: Resistência Mecânica

A resistência de um material pode ser interpretada como sua habilidade intrínseca de enfrentar esforços tensionais sem culminar em uma ruptura (Mehta & Monteiro, 2014). No contexto das argamassas, essa capacidade é representada por uma série de propriedades mecânicas, incluindo resistência à compressão e à tração, habilidade em absorver deformações, resistência ao impacto, à fadiga e a resistência de aderência. As avaliações dessas características são fundamentais para determinar a capacidade do revestimento de argamassa em atender aos requisitos de desempenho esperados. Este processo de análise é particularmente relevante quando se considera a necessidade de proteção da integridade física do revestimento diante das diversas demandas e condições às quais ele é frequentemente submetido (Silva, 2006; Nakakura, Cincotto, 2004).

Nesse contexto, Mehta & Monteiro, (2014) ressalta ainda os cuidados para dosagem de resistência, uma vez que está se encontra intrinsecamente relacionada ao módulo de elasticidade, exercendo, por consequência, influência sobre a trabalhabilidade do material. Assim, o autor pontua que as argamassas não devem possuir excesso de resistência de modo a

não impedir a movimentação natural da estrutura, que promovem sua acomodação. Ou seja, entre o estado fresco e endurecido deve haver um equilíbrio para que não haja depreciação em nenhuma das partes. (Miranda 2009).

Logo, os requisitos mecânicos e reológicos das argamassas devem seguir as exigências da NBR 13.281 (ABNT, 2005), em acordo com as demais normas de referência a fim de atingir melhor desempenho. No presente estudo, destaca-se a NBR 13279 (2005) que aborda diretrizes a serem seguidas para execução dos ensaios de resistência à flexão e compressão, propriedades a serem analisadas na pesquisa. Além disso, em relação às argamassas mistas com cimento e cal, a ASTM C 270 (ASTM, 2007) acrescenta que a resistência média à compressão deve ser superior a 2,40 MPa.

No que tange a NBR 13279 (2005), os ensaios são executados com corpos de prova moldados em formato prismático de 4,0x4,0x16,0 centímetros com paredes móveis, já submetidos a mesa adensadora por queda preconizada pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Assim, conforme o tempo de cura estimado e desmolde, para determinação da resistência à tração na flexão os corpos de prova são posicionados em dispositivo que incida carga uniforme, sem choque de 50+/-10 N/s até ruptura. O resultado é determinado em megapascals e calculada conforme a equação:

$$\frac{1,5 \times Ff \times L}{40^3}$$

Onde:

Rf: Resistência à tração na flexão (Mpa);

Ff: Carga axial inserida no centro do prisma (N);

L: Distância entre os suportes (mm).

Posteriormente, são realizados os ensaios para determinação da resistência à compressão, fazendo uso da metade dos corpos de prova ensaiados para flexão. Logo, alterando o equipamento, nessa etapa será aplicado sobre o corpo de prova carga de (500+/-50) N/s, até a ruptura. A seguir é identificado a fórmula para cálculo desta propriedade (NBR 13279, 2005).

$$\frac{Fc}{1600}$$

Onde:

Rc: Resistência à tração na compressão (Mpa);

Fc: Carga máxima aplicada (N);

1600: Área da seção quadrada (mm).

Dado isso, os resultados são reconhecidos e determinados através de uma resistência média do número de corpos de prova submetidos ao ensaio. Para a integral aceitação é apontado que a resistência à tração na flexão não apresenta desvio absoluto máximo acima de 0,3 MPa, e 0,5 MPa em relação a compressão. Nos casos que não se enquadram nesses índices, os valores extremos devem ser desconsiderados e aceitos aqueles com média de no mínimo dois corpos de prova, para flexão, e no mínimo quatro para resistência à compressão. (NBR 13279, 2005).

3.3 Introdução a construção sustentável: resíduo de vidro

Diante investigações recentes, a progressão tecnológica estimulou a amplificação exponencial na demanda pela produção de dispositivos industrializados anualmente, resultando em uma crescente extração de recursos minerais, e por fim uma considerável e ininterrupta geração de resíduos (Costa, Almeida, Moreira, 2020).

Em resposta a essa tendência surgem o uso de novas tecnologias e técnicas para o reaproveitamento de resíduos como uma estratégia essencial na busca por soluções que mitiguem os efeitos negativos e promovam o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a construção civil se destaca como um setor essencial, conforme apontado por Dossena, et. al. (2019), uma vez que desempenha um papel crucial na incorporação de resíduos sólidos em composições cimentícias, ao mesmo tempo que contribui para a redução dos custos de produção. Essa responsabilidade também foi destacada pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2017), que ressalta a necessidade crucial de enfrentar o consumo excessivo de recursos naturais finitos pelo setor da construção.

Nessa perspectiva, a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2017) também enfatiza a importância de adotar um modelo para o setor que priorize o desenvolvimento humano, a inovação tecnológica e o uso consciente e sustentável dos recursos existentes, bem como a prática da reciclagem e/ou reutilização. Essa ideia é corroborada pelo

Ministério do Meio Ambiente (MMA, s.d.) ao apontar a construção civil como um dos principais consumidores de recursos naturais e associando-a a impactos ambientais substanciais.

Por conseguinte, é válido analisar que, em conformidade com o "Panorama dos Resíduos Sólidos 2022", divulgado pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (Abrelpe), o Brasil gerou aproximadamente 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2022. Com base nesses dados, a Composição Gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos estima que o vidro seja correspondente a cerca de 3% do volume total. (MMA, 2022).

Dado o exposto, a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (Abividro, 2022) destaca que a produção nacional atinge a marca de 8,6 bilhões de embalagens de vidro anualmente, contudo, apenas 25,80% deste total são efetivamente reciclados.

Este cenário ressalta a relevância dos estudos de Trentin, et. al. (2020) que abordam uma análise substancial dos benefícios associados à reciclagem, destacando, entre eles, a utilização de resíduos de vidro triturados, provenientes de garrafas, como substituto do agregado convencional. Tal prática propicia a minimização da exploração de recursos naturais do meio ambiente, além de promover melhorias na resistência mecânica das misturas e prevenir a destinação incorreta desses resíduos, como o seu depósito em aterros sanitários ou lixões.

3.3.1 Vidro

De acordo com a definição apresentada pela American Society for Testing Materials (ASTM) em 1965 e por Girling (2003), o vidro é um material inorgânico resultante da fusão que, ao resfriar, solidifica sem constituir uma estrutura cristalina. Ferrari e Jorge (2010) complementam essa definição ao descrever o vidro como um óxido metálico extremamente resfriado, transparente e, em sua atividade química, majoritariamente inerte, que determina sua estabilidade ao longo do tempo.

Sua composição baseia-se principalmente no dióxido de silício (SiO_2), proveniente de fontes naturais como areia. Para modificar suas características e aumentar sua maleabilidade, outros componentes, que podem ser ajustados em conformidade com o propósito de utilização, são adicionados, como óxido de sódio e cálcio (Padilha, 2000; Callister Jr., 2002; Santos, 2016; Setz, 2019).

A natureza amorfa do vidro, marcada pela falta de uma sequência molecular definida e combinada às suas composições diversas, lhe dá propriedades singulares. Estes incluem boa resistência de compressão, tração, flexão e resistência à pressão, podendo resistir de 5.800 a 10.800 Kg/cm², conforme destacado por Paiva e Lima (2019) e Ferrari e Jorge (2010).

Considerando o exposto acima, é vital ressaltar a notável durabilidade do vidro no ambiente, que se deve à sua estrutura molecular desorganizada e aos seus componentes químicos resistentes. Por não conter materiais orgânicos em sua constituição, o vidro suporta o desgaste natural, podendo permanecer inalterado por mais de 4.000 anos. (ANAVIDRO, 2020). Todavia é válido ressaltar que, na sua essência pura, os resíduos de vidro têm a capacidade de serem totalmente reciclados (Paiva, Lima, 2019).

Portanto, a partir dos enfoques supracitados, a região metropolitana de Palmas-TO tornou-se um local ideal para pôr em uso a prática sustentável, uma vez que a maioria dos resíduos de vidro é destinada ao aterro sanitário local.

3.3.2 Vidro Moído e argamassas

Devido às características inertes do vidro, tanto físicas quanto químicas, autores como Rosa, Cosenza e Barroso (2007) veem um potencial específico no seu uso para aplicações inovadoras na construção civil. Em vista disso, Ling e Poon (2012) e Trentin et al. (2020), pontuam que a substituição percentual de agregados tradicionais pelo vidro pode ser benéfica, mesmo em quantidades superiores a 30%, embora em algumas particularidades específicas possam afetar características do desempenho do material.

Esse conceito é reforçado pelos estudos de Polley et al. (1998) e Costa, Almeida, Moreira (2020) que apontam que o vidro com granulometrias entre 0,075 e 1,5 mm pode ser eficazmente utilizado como substituto de agregados finos até um teor de 20%, mantendo resistências a variações equivalentes às de traços tradicionais e, simultaneamente, beneficiar o meio ambiente ao reduzir a exploração de recursos naturais e diminuir os resíduos em aterros.

Nessa perspectiva Lopez, Azevedo, Neto (2005), evidenciaram a importância da granulometria final do agregado fino misto (areia+vidro) para alcançar a diminuição considerável nos vazios da argamassa e conseqüentemente aumento da tensão de ruptura dos corpos de prova.

Por conseguinte, de acordo com Moraes, (et. al 2022) a alta concentração de sílica amorfa no vidro confere-lhe uma notável reatividade pozolânica ao interagir com o hidróxido de cálcio gerado durante a hidratação do cimento resultando na reação álcali-sílica (RAS). Nesse sentido é válido ressaltar que a reatividade pozolânica dos resíduos vítreos é sensivelmente influenciada pela granulometria de suas partículas, sendo observado por Moraes (Et. al. 2022) que partículas de vidro com dimensões superiores a 100 μm demonstram ineficácia na ativação da pozolanidade devido à propensão à expansão da reação álcali-sílica (RAS), bem como, cita que a reação pozolânica é maior quando se faz uso de partículas de vidros entre 45 e 75 μm (Santos, 2016; Oliveira. Gomes, Santos, 2012).

3.4 Fibra de Polipropileno

Fibra de polipropileno é caracterizada como um tipo de filamento sintético derivado do monômero propileno (C_3H_6), fabricado pelo método de craqueamento do petróleo, através da síntese de elementos orgânicos. Este material é reconhecido por sua resistência, leveza e propriedade de repelir água, sendo amplamente empregado em diversas aplicações industriais, como na construção civil (Oliveira, 2001).

Partindo do exposto por Oliveira, 2001, as microfibras desempenham um papel significativo na otimização das propriedades das argamassas, pois promovem um incremento no índice de consistência, aprimorando a coesão do material. Além disso, contribuem positivamente para o controle da estabilidade dimensional e influenciam de maneira favorável tanto na capacidade de resistência à compressão quanto à tração. Vale ressaltar que a presença de fibras não exerce interferência nos parâmetros relacionados à absorção de água por imersão, índice de vazios, massas específicas e absorção de água por capilaridade (Centofante, 2014; Oliveira, 2001).

Dado isso, é imprescindível estabelecer uma conexão entre as propriedades das fibras e as patologias atualmente enfrentadas pela indústria da construção civil, em particular, o surgimento de fissuras e o desprendimento do revestimento, associado à deficiência na aderência do material.

Logo, é válido ressaltar que tanto as fissuras quanto o desprendimento do revestimento decorrem de tensões na camada de revestimento. Essas patologias surgem em consequência de tensões, seja de tração ou cisalhamento na interface substrato-camada de revestimento,

provenientes de carregamentos atuantes, restrições de movimento ou deformação não uniforme, que superam o nível de tensão de ruptura da matriz cimentícia (Silva, 2006).

Em complemento Sahade (2019), pontua como sendo uma das patologias mais críticas, as fissuras além de desencadearem problemas na argamassa de revestimento, influenciam na estanqueidade, durabilidade e isolamento térmico/acústico, ou seja, compromete a segurança estrutural e o desempenho da vedação.

Destaca-se assim um consenso de que tais fibras conferem uma notável melhoria na tenacidade das argamassas, promovendo uma maior capacidade de absorção de deformações e, conseqüentemente, uma redução significativa no potencial de fissuração dos revestimentos. Essa mitigação de riscos não apenas contribui para a estética, mas também amplia a segurança e durabilidade do sistema construtivo, uma vez que minimiza o desprendimento dos revestimentos (Monte; Barros; Figueiredo, 2012).

Nesse sentido, de acordo com Guo, Yang e Gao (2019), as fibras de polipropileno, quando dispersas uniformemente na argamassa, possuem a capacidade de modificar o comportamento das fissuras. A presença dessas fibras tende a restringir o desenvolvimento das aberturas, forçando-as a mudar de direção ou evitando que formem microfissuras. De forma complementar, Bauer, Cortez (2001) reconhece que a presença destas fibras tende a minimizar a fragilidade intrínseca das matrizes cimentícias e pontua que as fibras sintéticas podem sofrer deformações, aumentar a resistência e, assim, permitir o avanço no desempenho da argamassa de revestimento.

Nessa perspectiva, Silva (2006) destaca que o comprimento da fibra de polipropileno é um fator crucial para eficiência do reforço, em prol de sua correlação com a resistência de atrito, que também é o um parâmetro indispensável para a condição pós-fissuração do compósito.

Segundo Tiscoski et. al. (2017), ainda não foram normalizados métodos de produção de argamassas com adição de fibras sintéticas, tornando fundamental a avaliação das propriedades influenciadas juntamente com a determinação adequada do teor de conteúdo a ser adicionado à argamassa. Todavia, é válido considerar que apesar da ausência de diretrizes padronizadas, fabricantes disponibilizam recomendações acerca do produto vendido, como por exemplo, o uso de fibras próximas a 6 mm.

Atualmente já foram comprovados, por exemplo, que teores de fibra com 0,2% e 0,3%, foram suficientes para redistribuir as tensões e controlar a fissuração, em argamassas mistas.

(Monte, Barros, Figueiredo, 2018). Como também, teores de 0,4% e 0,5% apontados como ótimos por Centofante, 2014. Nesse contexto, apesar da engenharia ter o auxílio de materiais, diferentes tipos de fibras e estudos elaborados, é imprescindível que pesquisas sejam feitas acerca de novos intervalos de dosagem associados também a materiais não convencionais, com potencial de ação de melhoria das propriedades e ausência de efeitos adversos.

3.5 Planejamento Experimental

A demanda crescente por otimização em produtos e processos, com foco na redução de custos, eficiência de tempo e melhoria do rendimento, produtividade e qualidade, tem motivado profissionais de diversas áreas a buscar abordagens sistemáticas no planejamento de experimentos. Essas estratégias não só reduzem o número de experimentações necessárias, mas também aprimoram a qualidade das informações extraídas dos resultados. Esse refinamento implica em uma notável redução do esforço despendido, resultando em economia tanto de tempo quanto de custos finais.

No entanto, é crucial destacar que o sucesso desse processo está intrinsecamente relacionado ao investimento inicial do pesquisador no planejamento cuidadoso do procedimento, na análise minuciosa das variáveis envolvidas e na busca criteriosa de informações na literatura pertinente. Essa dedicação prévia não apenas viabiliza a elaboração de uma estratégia de ensaios mais refinada, mas também enriquece a qualidade dos resultados obtidos. Dessa forma, a sinergia entre um planejamento criterioso e um embasamento sólido na literatura é fundamental para maximizar os benefícios da otimização, contribuindo para avanços substanciais nas práticas profissionais e no desenvolvimento de produtos e processos mais eficientes (Rodrigues, Iemma, 2014).

Meio aos diferentes tipos de delineamentos experimentais, destaca-se o fatorial, destacado Rodrigues, Iemma (2014) como uma técnica que consiste na manipulação simultânea de múltiplos fatores para avaliar seus efeitos e interações. Box et al (1978) em sua filosofia ressalta que seu propósito central é otimizar a aquisição de informações relevantes, buscando uma utilização eficiente de recursos e reduzindo a necessidade de experimentação empírica baseada em tentativa e erro. Ou seja, irá trabalhar através da identificação e quantificação do impacto de variáveis independentes sobre uma variável dependente, oferecendo insights valiosos para aprimorar processos, produtos ou sistemas.

É válido ressaltar que existem diferentes maneiras de executar essas combinações, podendo ser enquadrados como: completo no qual todos os níveis possíveis de todos os fatores são testados em todas as combinações, totalizando N^K experimentos, onde N é o número de níveis e K é o número de fatores; e o fatorial fracionado, cujo permite avaliar os efeitos principais dos fatores, mas pode não capturar todas as interações. (Rodrigues, Iemma, 2014).

Assim, de acordo com Deming (1981), ao executar um planejamento fatorial, é fundamental começar pela definição dos níveis nos quais cada fator será analisado, ou seja, os valores associados aos fatores. Dado que a quantidade de planejamentos experimentais fatoriais requeridos está diretamente relacionada ao número de variáveis independentes a serem exploradas inicialmente.

Nessa perspectiva destaca-se o delineamento central composto rotacional que se trata de um planejamento fatorial completo em que se visa a obtenção de um modelo simétrico de segunda ordem ou para um planejamento com três fatores e dois níveis. Esse modelo conta com três tipos específicos de pontos experimentais, pontos centrais, axiais e fatoriais dados em formato de códigos. Considera-se como padrão adotar o valor codificado de zero (0) para a média da faixa de estudo, que seria o ponto central, sendo então, adotado o valor de +1 para o nível superior e de -1 para o nível inferior, como também, no caso da pesquisa atual, +1,41 e -1,41 como os pontos correspondentes às combinações dos níveis extremos dos fatores.

Destarte, Rodrigues, Iemma (2014) orienta que para experimento com 2 ou 3 fatores seja feito o uso do delineamento composto central rotacional (DCCR). Uma vez que o método uni-variado permite avaliar o efeito de uma variável isoladamente, mas não captura interações entre elas, contrapartida o DCCR, por sua vez, otimiza a exploração de inter-relações e sinergismos, analisando conjuntamente os efeitos, economizando recursos experimentais e proporcionando uma compreensão mais abrangente do sistema.

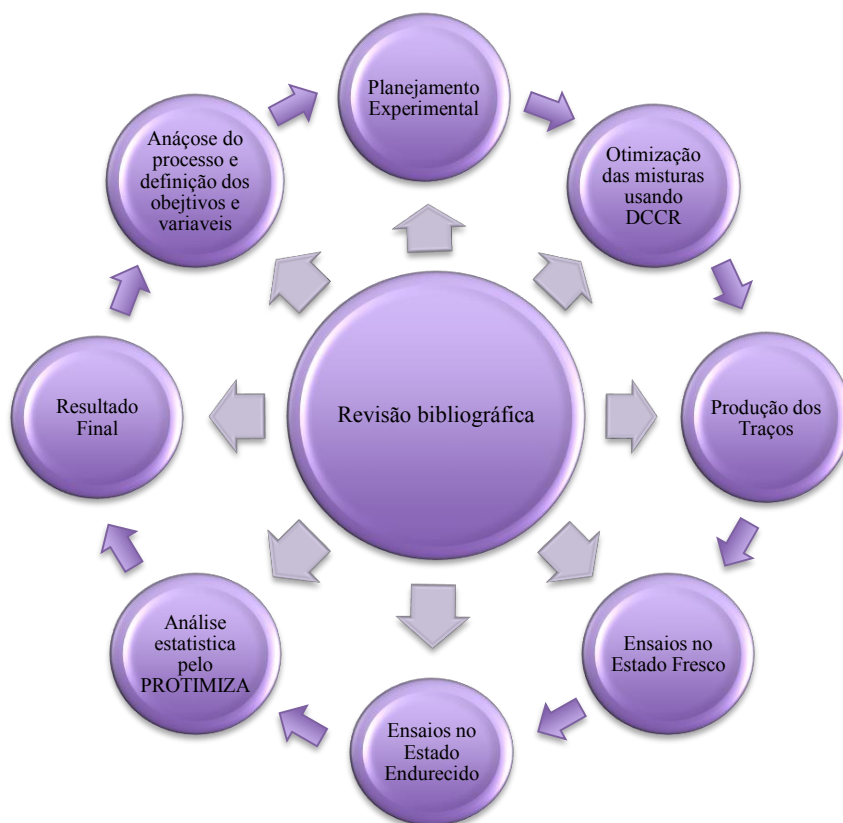
4 METODOLOGIA

A pesquisa é classificada bibliográfica e aplicada, ou seja, experimental exploratória, pois tem o objetivo de avaliar a influência da interação dos diversos componentes da argamassa (cimento, cal hidratada, agregado miúdo, água, aditivo, fibra de polipropileno e vidro moído), em misturas cimentícias, variando-se a quantidade de fibra e água.

Desta forma, será apresentado o programa experimental desenvolvido neste trabalho de pesquisa, na qual compreende a preparação do vidro, caracterização dos materiais, procedimentos experimentais (dosagem, moldagem, ensaios, etc.) e equipamentos utilizados.

Visando simplificar o entendimento das tarefas que foram desenvolvidas durante os trabalhos de pesquisa é apresentado a seguir um fluxograma sintético de forma a representar de forma geral algumas das atividades relativas à metodologia do projeto (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autoral

Acervo fotográfico da pesquisa pode ser visualizado no Anexo A.

4.1 Materiais

As garrafas de vidro foram limpas de sujidades, quebradas em triturador tipo 23, mandíbula marca Contenco. O material resultante será moído em moinho de bolas Contenco, com cinco bolas de aço (diâmetro cerca de 48 mm e massa entre 390 e 445 g), durante cinco

minutos (cerca de 300 giros). A partir daí será peneirado na peneira de malha #1,18 mm. Desta forma, todo o resíduo passante na retromencionada peneira será lavado, a fim de remover o pó de sua superfície, secado em estufa e assim empregado nas misturas argamassadas deste estudo.

4.2 Preparo do vidro

As garrafas de vidro foram limpas de sujidades, quebradas em triturador tipo mandíbula marca Contenco. O material resultante será moído em moinho de bolas Contenco, com cinco bolas de aço (diâmetro cerca de 48 mm e massa entre 390 e 445 g), durante cinco minutos (cerca de 300 giros). A partir daí será peneirado na peneira de malha #1,18 mm. Desta forma, todo o resíduo passante na retromencionada peneira será lavado, a fim de remover o pó de sua superfície, secado em estufa e assim empregado nas misturas argamassadas deste estudo.

4.3 Caracterização dos materiais

Os materiais a serem caracterizados foram o cimento Portland CP II – F 40, que possuía massa específica de $3,0 \text{ g/cm}^3$ e 6% de massa retida na peneira #200. Areia natural de rio média e fina passantes na peneira 2,36 mm, aditivo químico do tipo plastificante Vedalit (Marca Vedacit), com densidade de $1,03 \text{ g/cm}^3$, com composição básica em resinato de sódio, cal hidratada CH-I (especificações fornecidas pelo fabricante), vidro moído de garrafas (coloridas e/ou incolor) passantes na peneira de #1,18mm e retidos na #0,075 mm e fibra NeoFibra AT de polipropileno com diâmetro de $12 \mu\text{m}$, seção circular, comprimento de 6 mm.

4.4 Planejamento Experimental

Os trabalhos de dosagem foram realizados no Laboratório de Materiais do IFTO – Campus Palmas. A argamassa de controle (sem adição fibras) foi dosada na proporção de 1:2:6 (cimento:cal hidratada:areia mista), com 100 ml de aditivo para cada 50 kg de cimento (indicado pelo fabricante). A areia mista teve a substituição da areia natural de rio, por vidro moído na fração de 15% e nos 85% restante foi realizada uma mistura de areia média e fina proporcionalmente. Nas demais misturas foram realizadas atribuindo as variações dos teores de fibra e água conforme o planejamento experimental determinado pela adoção da estratégia imposta pelo Delineamento Composto Central Rotacional – DCCR.

Visando identificar os valores máximos e mínimos dos teores de água e fibra de polipropileno a serem utilizados neste estudo (para lançamento no projeto fatorial), foram confeccionados quatro traços modelos de argamassas, sendo eles com quantidades superiores a 200 g de fibra por 50 kg de cimento e fator água/cimento de 0,65, a fim de se avaliar se os resultados encontrados, proporcionavam misturas cimentícias adequadas para aplicações usuais em obras de Engenharia.

De forma a se identificar a influência dos parâmetros teor de fibra e quantidade de água das diversas misturas a serem avaliadas, foi realizado um planejamento experimental de forma a identificar os quantitativos dos materiais utilizados, lançando-se mão de um projeto fatorial. Assim foi construído um projeto com 4 pontos fatoriais, 3 pontos centrais e 4 pontos axiais, totalizando 11 misturas cimentícias (excluindo-se o controle).

Os códigos dos parâmetros de estudo do planejamento, em valores parametrizados, e também valores reais das misturas cimentícias a serem desenvolvidas nesta pesquisa estão apresentados na tabela 2, juntamente com os intervalos utilizados para cada variável independente. Parâmetros avaliados no planejamento experimental

Tabela 1 - Parâmetros avaliados no planejamento experimental

Valores Codificados		Valores Reais		
i	x1	x2	x1 (Fibras; gramas)	x2 (relação a/agl.)
Fatorial	1	-1	7,18	0,47
	2	1	17,82	0,47
	3	-1	7,18	0,83
	4	1	17,82	0,83
Axial	5	-1,41	5,00	0,65
	6	1,41	20,00	0,65
	7	0	12,50	0,40
	8	0	12,50	0,90
Central	9	0	12,50	0,65
	10	0	12,50	0,65
	11	0	12,50	0,65

Fonte: Autoral (2023).

Na figura acima os números -1,41 e 1,41 representam o menor e o maior valor experimental, respectivamente, sendo os demais obtidos por interpolação (PROTIMIZA ®). Para a variável x 1 os valores extremos experimentais foram 5 g e 20 g de fibra, ou seja, intervalo superior ao indicado pelo fabricante, e para variável x2 foram adotadas relações a/a de 0,4 a 0,9.

Insta salientar que os teores de fibra foram meticulosamente eleitos com o propósito de examinar a potencial melhoria de desempenho decorrente da adição de fibras de polipropileno. Notavelmente, o intervalo selecionado transcende os limites preconizados pelo fabricante, posicionando-se em níveis superiores a fim de escrutinar de maneira abrangente o alcance das influências advindas da elevação da proporção de fibras.

Em cada traço foram produzidos 8 corpos de provas (CP), logo, a média das respostas foram obtidas seguindo as recomendações presentes na NBR 13279 (2005).

A ordem de confecção das misturas argamassadas foi definida a partir de sorteio, resultando na seguinte sequência: 0, 1, 9, 7, 8, 3, 4, 6, 11, 10, 2 e 5.

4.5 Ensaio no estado fresco e endurecido

A confecção procedeu-se mediante os preceitos estabelecidos pelas diretrizes parametrizadas pela NBR 16541, referentes à argamassa destinada a assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a condução de ensaios. Adotando as prescrições específicas para argamassa à base de cimento e cal, em conjunção com o período mínimo de mistura indicado pelo fabricante das fibras, procedeu-se à moldagem. Para além do tempo convencional de mistura, considerou-se um acréscimo de 7 minutos, objetivando otimizar a dispersão das fibras.

Após a confecção e análise no estado fresco as argamassas foram moldadas e submetidas à cura úmida (submersão em água) por vinte e oito dias. Após este prazo realizou-se ensaios de resistência à flexão e compressão na máquina universal de ensaios EMIC PC 10000.

Dessa forma a moldagem e os ensaios mecânicos seguiram os critérios das normas apresentadas na figura 1. Ensaio no estado fresco e endurecido do concreto

Figura 2 -Ensaio no estado fresco e endurecido da argamassa

Norma	Ensaio
NBR 13.276 (ABNT, 2016)	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência
NBR 13.279 (ABNT, 2005)	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

Fonte: Autoral (2023)

4.6 Análise de dados

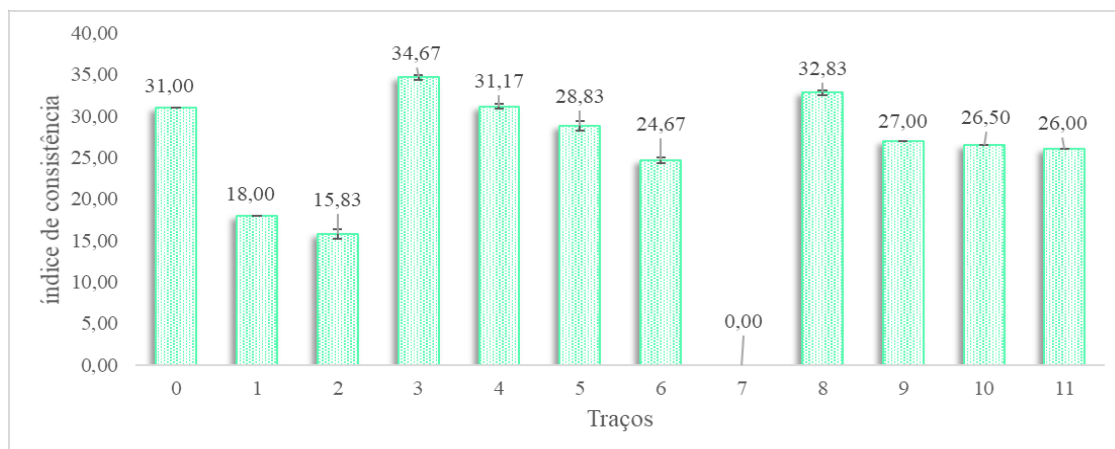
Devido à quantidade de tratamentos e ensaios que foram realizados nesta pesquisa, os dados serão apresentados e resumidos usando a estatística descritiva: gráficos, tabelas e medidas características. Além disso, as respostas experimentais (resistência à compressão, à tração na flexão) serão avaliadas usando a metodologia do DCCR de forma a possibilitar a otimização experimental. Por fim, será realizada a validação experimental após encontrar o ponto ótimo, pois dessa forma será possível verificar se a resposta teórica é semelhante à resposta experimental. Será usado a plataforma de cálculos de otimização experimental PROTIMIZA®.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Características no Estado Fresco

No gráfico 1 apresentado a seguir, são exibidos os resultados obtidos nos ensaios de Índice de Consistência, conforme normatizado pela ABNT NBR 13276:2016, com o propósito de avaliar a trabalhabilidade, plasticidade e qualidade inicial da argamassa no estado fresco. A relevância desta métrica reside em sua estreita associação com a capacidade do material em questão de ser manejado de maneira eficiente. Quando aplicada em uma parede, a argamassa demanda uma distribuição eficaz, aliada a características desejáveis, como aderência satisfatória.

Gráfico 1 - Índice de consistência



Fonte: Autoral (2023)

Em conformidade com a literatura (COLOMBO, 2019), verificou-se uma redução no índice de consistência das argamassas conforme o aumento do teor microfibras nos traços com mesmo fator água/aglomerante (Traços 1 e 2, 3 e 4 e 5 e 6). Isso pode ser atribuído a sua difícil dispersão na mistura e formação de aglomerados que aprisionam a água, diminuindo a água livre na mistura, reduzindo-se assim, a sua consistência. Esse comportamento foi verificado por Colombo (2019), através da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A evidência de baixa fluidez nos traços analisados também pode ser justificada pelo aumento da área de superfície dos materiais, o que implica na necessidade de uma maior quantidade de água para assegurar a hidratação integral da mistura, conforme argumentado por Junior (2018). Esse raciocínio encontra respaldo nos resultados obtidos, que apontam para a perda de fluidez nos traços centrais (9, 10, 11) em comparação ao traço piloto, assim como nos traços 5 e 6, cujas composições apresentam equivalência na quantidade de água, divergindo no teor de fibra incorporado.

A análise revela que, em comparação com o traço piloto, mesmo a menor quantidade de fibra considerada (5 g no traço 5) já demonstra efeitos significativos na redução da consistência da argamassa, e tais efeitos se intensificam com o aumento da porcentagem de adição de fibra, como evidenciado no traço 6. Portanto, torna-se evidente que a determinação precisa da quantidade de água é um ponto crucial para atingir uma consistência desejada quando se utiliza fibra. Isso implica na necessidade de uma abordagem sinérgica entre as variáveis, ou seja, observa-se que o aumento na quantidade de fibra deve ser acompanhado pelo aumento no fator

a/a. Ou seja, entre os traços analisados, apenas aqueles pertencentes ao nível experimental 1 e 1,41, representando valores de limite e extrapolação, ou seja, com maior teor de água, alcançaram valores próximos ao traço piloto.

É válido destacar que o traço 7, em prol de sua baixa teor de água não apresentou consistência mensurável, manifestando-se como uma massa extremamente “esfarelenta” e desprovida de coesão entre os materiais, evidenciando uma hidratação insuficiente.

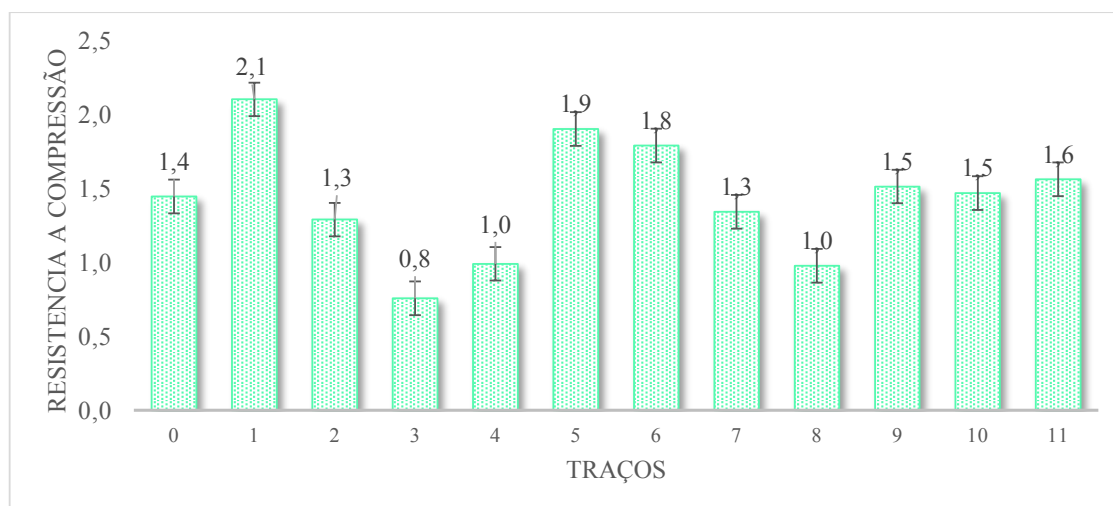
Em prol das exigências abordadas no DCCR, os traços 9, 10 e 11 necessitam apresentar resultados equivalentes de consistência uma vez que possuem a mesma composição. Em média possuíam consistência de 265 mm.

Nesse contexto, é relevante salientar que a norma NBR 13276 (2016) preconiza uma consistência para a mistura de $260 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. Assim, para o intervalo observado, pode-se destacar os índices entre fibra e água dos traços centrais (9, 10, 11) ideais para assegurar conformidade com as diretrizes recomendadas pela norma.

5.2 Características no Estado Endurecido

Segue-se os resultados dos ensaios realizados na argamassa em seu estado endurecido após 28 dias de cura em câmara úmida seguindo os parâmetros da ABNT NBR 13279:2005.

Gráfico 2 Resistência à Tração na flexão



Fonte: Autoral (2023)

Tabela 2 - Desvio Padrão e Coeficiente Variância – Tração na Flexão

Traços	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Média	1,4	2,1	1,3	0,8	1,0	1,9	1,8	1,3	1,0	1,5	1,5	1,6
Desv. Pad.	0,11	0,19	0,06	0,07	0,11	0,19	0,16	0,23	0,12	0,18	0,15	0,11
Coef. Var. (%)	7,83	8,82	4,98	9,62	10,66	10,14	8,69	17,18	11,95	11,67	10,27	7,31

Fonte: Autoral (2023)

A resistência à tração na flexão das argamassas é apresentada no gráfico 2. Observa-se que no intervalo analisado para variação no teor de água e fibra não houve divergências muito significativas, apresentando aumento máximo de 0,7 MPa (traço 1) e redução de 0,6 MPa (traço 3), em relação à argamassa de controle.

A investigação revelou que, para misturas com a mesma relação água/aglomerante, a presença de fibras demonstrou uma tendência de reduzir a resistência à tração na flexão das argamassas, como evidenciado nos traços 1 e 2. Ao comparar esses traços com outros que compartilham a mesma relação a/a, nota-se que a proporção obtida nos resultados varia de acordo com a quantidade de água, revelando a presença de sinergismo entre as variáveis analisadas. Em outras palavras, para teores de 0,8 (traços 3 e 4), observa-se uma diferença de 14,3% na resistência, associada a uma variação no teor de fibra de 10,6 g. Por outro lado, para teores de 0,65 (por exemplo, traços 5, 6) associado a uma diferença de 15 g de fibra resultou em apenas 7,1% de variação na resistência.

Além disso, ao comparar os traços nos níveis fatoriais codificados em 1 e -1, é possível observar que a redução do teor de água nas misturas resulta em um aumento na resistência. Ao relacionarmos essa análise com a realizada anteriormente no nível de consistência, onde o traço piloto apresentou um valor acima do indicado pela norma, podemos sugerir que o traço piloto inicialmente possuía uma relação água/aglomerante (a/a) acima do ideal (certo excesso de água). Essa condição teria então sido corrigida nos traços centrais devido à incorporação de fibra e, conseqüentemente diminuição da água livre na mistura. Consoante a isso, ressalta-se que precisamente os traços que exibem um teor de água superior ao do traço piloto são aqueles que demonstraram os resultados mais desfavoráveis em relação à resistência analisada (traços

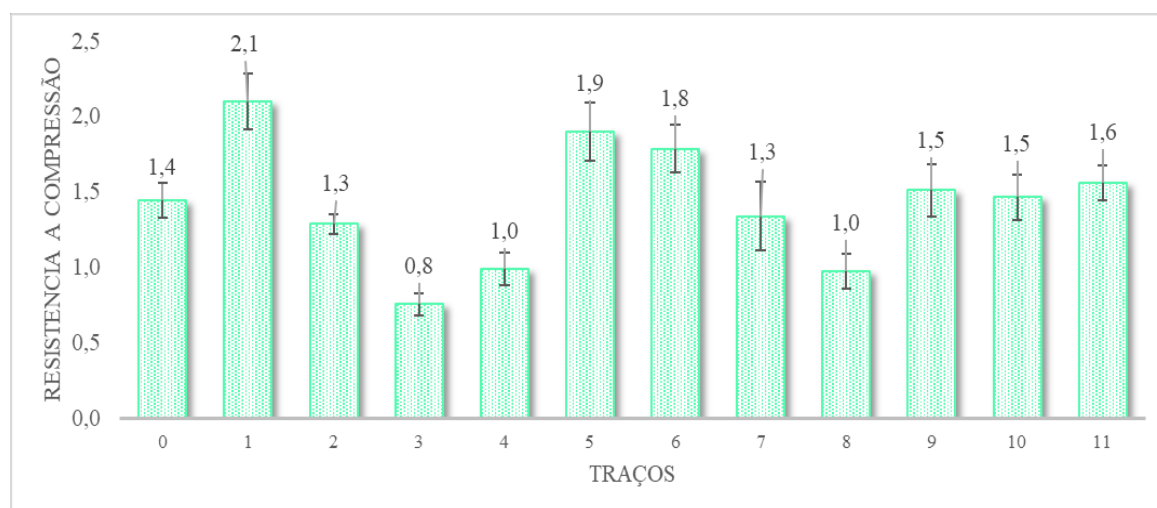
3, 4 e 8). Contrapartida os traços 1, 6 configuram as maiores resistências respectivamente, comprovando que para aumentar o resultado do traço piloto deve-se diminuir o teor de água (traço 1), tendo também como opção para manter o mesmo fator a/a realizar o acréscimo em cerca de 5 g de fibra (traço 6).

Assim, considerando as quantidades, parece existir um limiar do teor de água/aglomerante entre 0,5 e 0,7 na qual produz um resultado ótimo, bem como teores com até 5 gramas de fibras, podendo gerar coeficiente positivo, mesmo que pouco significativo.

Em todo caso, ao analisarmos os traços de nível centrais codificados em 0, observa-se que para o mesmo fator a/a (igual ao traço referência) o acréscimo de fibra demonstrou que não há variância significativa. Esse resultado pode ser explicado pela literatura de estudos que afirmam que a fibra de polipropileno possui baixa resistência mecânica e alta deformação final, no qual formam um compósito que apresenta tanto uma região elástica (ruptura da matriz) quanto uma região "plástica", onde irá auxiliar mais no controle da fissuração do que no aumento da resistência (SILVA, 2006).

A seguir, o gráfico 3 apresenta os valores médios da resistência à compressão axial dos compósitos de argamassas.

Gráfico 3 - Resistência a compressão



Fonte: Autoral (2023)

Tabela 3 - Desvio Padrão e Coeficiente Variância – Compressão

Traços	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Média	3,12	5,82	2,61	1,32	1,34	5,47	2,81	1,41	1,45	2,59	2,74	3,01
Desv. Pad.	0,28	0,42	0,12	0,17	0,12	0,21	0,24	0,21	0,17	0,17	0,25	0,17
Coef. Var. (%)	8,98	7,24	4,72	12,86	9,29	3,87	8,50	14,75	11,71	6,64	9,19	5,67

Fonte: Autoral (2023)

A ordem de grandeza da resistência a compressão da argamassa de referência (sem fibras) é de 3,1 MPa. Dos resultados obtidos observa-se que essa propriedade tendeu a ser reduzida mais significativamente nos traços com taxa de água acima de 0,83 (traços 3,4,8) e com taxa inferior a 0,40 (traço 7) independentemente da variação de fibra, sugerindo um suposto intervalo para teor ótimo.

De maneira análoga aos resultados de resistência à tração na flexão a adição de fibras também proporciona uma redução da resistência à compressão na composição, se manifestando em graus diversos em virtude da relação água/aglomerante (a/a). Em outras palavras, na compressão, em misturas com menor teor de água, o impacto das fibras se revela mais expressivo, como evidenciado nos traços 1 e 2 em comparação com os traços 3 e 4. Isto seria indicativo que para estas misturas, a quantidade de água utilizada não foi suficiente para que houvesse a hidratação de todos os grãos de cimento Portland, implicando em materiais mais porosos e com maior fragilidade.

Em seguida, com a análise dos teores de água acima do traço piloto, conforme observado na resistência à flexão, verifica-se que esses teores também resultaram em valores mais baixos. Esta análise reforça a consistência do padrão observado na flexão, indicando que variações de -1 até 0 para o teor de água produziram os resultados mais favoráveis. O mesmo padrão é observado para o teor de até 5 gramas de fibras.

Ao observar os níveis centrais destaca-se a melhor resistência obtida a partir do limite inferior tanto da fibra como da relação a/a, 5 g e 0,5 respectivamente, representando aumento de aproximadamente 86,5% de resistência. Todavia ao padronizar a relação a/a e elevar o teor de fibra para nível superior (7,5 g) ocorre redução da propriedade em cerca de 16,6%. Esses resultados podem ser esclarecidos pela afirmação de que a fibra de polipropileno pode provocar o aumento de vazios internos - essa teoria também cabem as análises para flexão – gerados

possivelmente devido à maior consistência da mistura cujo dificulta a saída do ar aprisionado, influenciando negativamente nas resistências mecânicas de argamassas. Nessa perspectiva Colombo (2019) em seus estudos também abordam sobre a grande influência da porosidade no comportamento mecânico das argamassas, pois os poros dos materiais sólidos são concentradores de tensões quando o corpo está sob carga, tornando a porosidade um fator limitante (MONTE, BARROS, FIGUEIREDO, 2012) (COLOMBO, 2019).

Entretanto é válido ressaltar que as proporções de significância da fibra e a/a em relação à flexão e compressão se diferem, uma vez que, em percentual, os resultados para compressão variaram de -57,7% até +86,5, e para flexão de -42,9 até +50%.

5.3 Análise Estatística

Para designação da influência dos parâmetros de teor de microfibras e variação na quantidade de água foi utilizado o software PROTIMIZA® Experimental Design para execução da análise estatística com base em um Delineamento Composto Central Rotacionado – DCCR, visando obter os resultados para otimização do processo.

A análise de variância ANOVA permitiu dividir a variabilidade dos dados em variabilidade Entre Grupos e variabilidade Dentro de Grupos, onde será realizado o teste de comparação de duas hipóteses, H0 (hipótese nula) e H1 (hipótese alternativa). Assim o teste disponibilizará em resultado um valor P, que quando comparado ao nível de significância (alfa) adotado indicará se há ou não indícios para rejeitar H0 (hipótese de igualdade das médias) (MONTE, 2012). A rejeição ocorre caso o F calculado seja maior que o F tabelado.

A seguir nas tabelas 1 e 2 é realizada análise de variância de regressão dos modelos (conjunto) para compressão e flexão, respectivamente.

Tabela 4 -Análise de variância resistência à compressão

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F calc.	p-valor
Regressão	20,1	5	4	4,6	0,05999
Resíduos	4,4	5	0,9		0
Falta de Ajuste	4,3	3	1,4	31,5	0,0309
Erro Puro	0,1	2	0		
Total	24,4	10			

Fonte: Acervo do autor (2023)

Tabela 5 - Análise de variância resistência à tração na flexão

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F calc.	p-valor
Regressão	1,3	3	0,4	7,1	0,0156
Resíduos	0,4	7	0,1		0
Falta de Ajuste	0,4	5	0,1	40,8	0,0241
Erro Puro	0	2	0		
Total	1,7	10			

Fonte: Acervo do autor (2023)

Assim, para as regressões obtiveram $F_{calc} > F_{tab}$ (p-valor), com isso, conclui-se efeito significativo dos modelos.

Em sequência, é realizado teste de hipótese, utilizando o p-valor, também apresentado na Tabela (3 e 4). Se o p-valor for menor que o nível de significância (α) adotado, a hipótese de igualdade será rejeitada, e determinará efeito significativo. Por se tratar de um estudo com resíduos adota-se para compressão α de até 15% e para flexão de até 10% de significância.

Assim os resultados indicaram que o maior p-valor encontrado foi de 14,5% (tabela 3) para relação $x_1 \cdot x_2$ da equação de regressão calculada para compressão e de 7,11% também para $x_1 \cdot x_2$ da equação de regressão calculada para tração na flexão (tabela 4). Concluindo assim, efeito significativo para para todas relações consideradas.

É válido ressaltar que para análise de regressão dos resultados concernentes à resistência à flexão, tornou-se necessário proceder à reparametrização do modelo para atender ao nível de significância almejado. Nesse contexto, optou-se por desconsiderar a relação x_1 e x_1^2 . Tal escolha denota que, no âmbito específico da resistência à flexão, a presença isolada da fibra não exerce uma influência estatisticamente significativa na mistura, desencadeando efeito apenas em sinergismo com a água ($x_1 \cdot x_2$).

Tabela 6 - Análise da regressão dos resultados experimentais obtidos pelo modelo fatorial empregado na produção dos traços de argamassa – compressão

Nome	Coefficiente	Erro Padrão	T Calculado	p-valor
Média	2,78	0,54	5,15	0,0036
X_1	-0,87	0,33	-2,63	0,0467
X_1^2	0,68	0,39	1,72	0,1462
X_2	-0,71	0,33	-2,16	0,0833
X_2^2	-0,68	0,39	-1,72	0,1456
$X_1 * X_2$	0,81	0,47	1,73	0,1449

Fonte: Acervo do autor (2023).

Tabela 7 - Análise da regressão dos resultados experimentais obtidos pelo modelo fatorial empregado na produção dos traços de argamassa - Tração na flexão

Nome	Coefficiente	Erro Padrão	T Calculado	p-valor
Média	1,62	0,1	15,75	0,0000
X_1				
X_1^2				
X_2	-0,27	0,09	-3,11	0,0172
X_2^2	-0,26	0,1	-2,68	0,0315
$X_1 * X_2$	0,26	0,12	2,13	0,0711

Fonte: Acervo do autor (2023).

As análises realizadas pelo *Protimiza Experimental Design*[®] proporcionaram as seguintes equações de regressão para os resultados de compressão (Equação 1) e tração na flexão (Equação 2):

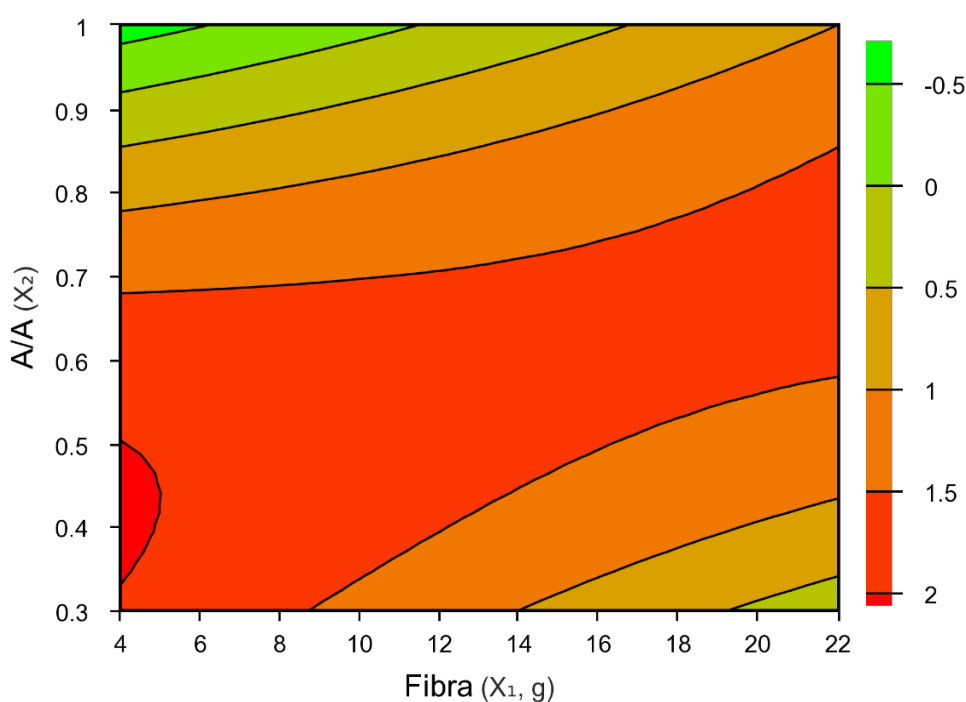
$$\text{Equação 1: } Y_1 = 2,78 - 0,87 x_1 + 0,68 x_1^2 - 0,71 x_2 - 0,68 x_2^2 + 0,81 x_1 x_2$$

$$\text{Equação 2: } Y_1 = 1,62 - 0,27 x_2 - 0,26 x_2^2 + 0,26 x_1 x_2$$

Para R^2 , ou seja, grau de determinação ou explicação do modelo, foi encontrado 82,10% para compressão e 75,32% para tração na flexão, que se configuram significativo, considerando a utilização de resíduos para a formulação.

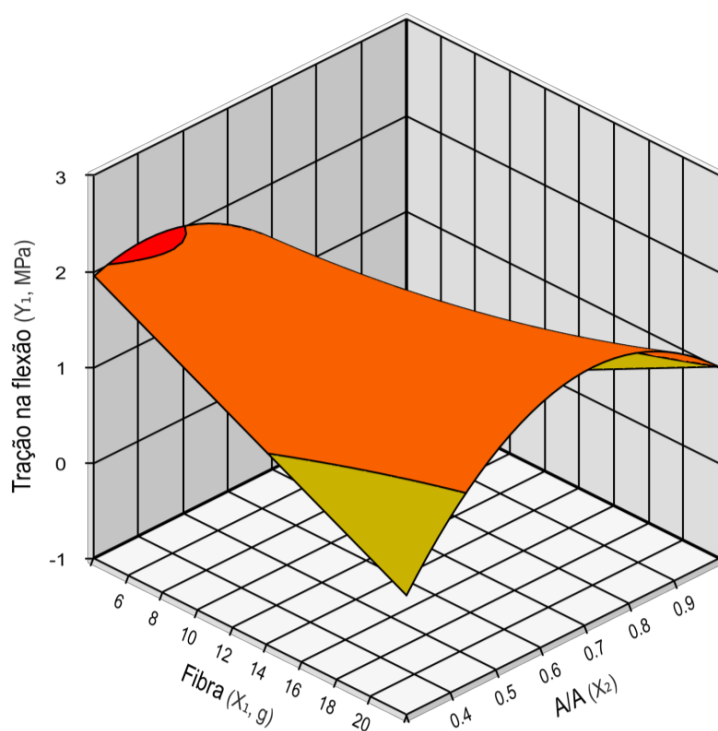
Com base nos resultados obtidos e mediante a aplicação do modelo estatístico, é possível produzir as superfícies de resposta dos efeitos em relação à variação das variáveis independentes que explicam a variável dependente (resistência mecânica). Essa abordagem possibilita a análise sob uma variação controlada, seguindo as equações geradas pelo aplicativo da Promitiza Experimental Designed. Ao empregar essas equações para derivar as relações entre as variáveis, obtém-se superfícies de resposta que são reflexo da análise das respostas das diversas composições analisadas.

Gráfico 4 -Superfície de resposta para resistência de tração na flexão 1/2



Fonte: Acervo do autor (2023).

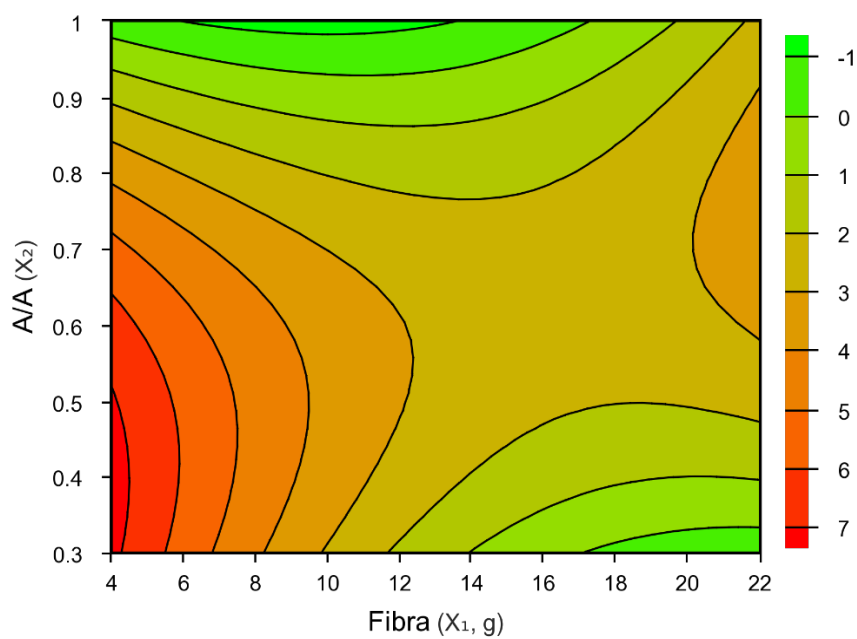
Gráfico 5 - Superfície de resposta para resistência de tração na flexão 2/



Fonte: Acervo do autor (2023).

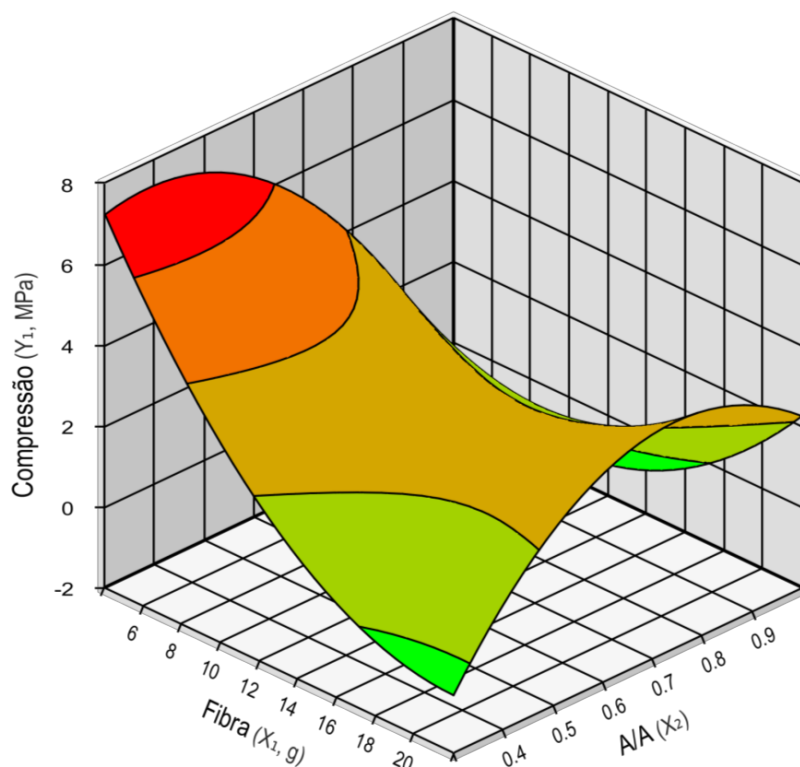
A seguir as superfícies de resposta para resistência a compressão:

Gráfico 6 -Superfície de resposta para resistência a compressão 1/2



Fonte: Acervo do autor (2023).

Gráfico 7 -Superfície de resposta para resistência a compressão 2/2



Fonte: Acervo do autor (2023).

Desse modo, as superfícies de resposta delineiam curvas de contorno relativas à Tração na Flexão e Compressão, em função da relação a/a , com o intuito de delinear uma região ótima. Tal procedimento visa discernir uma região de otimalidade, cujos vértices de destaque, consignados pela tonalidade vermelho-escuro, denotam os pontos de máxima resistência. Consequentemente, a transição cromática decrescente, culminando no matiz verde, reflete a diminuição concomitante da resistência, sendo as áreas coloridas em verde as regiões menos propícias, ou seja, aquelas caracterizadas por resistência diminuída.

Logo os resultados apresentados nos gráficos acima indicam que os pontos ótimos, tanto para a compressão quanto para a tração na flexão, levam a um fator água/cimento próximo a 0,40, e para fibra cerca de 4,05 gramas. Entretanto, constata-se que no tocante à flexão, há uma área mais ampla para a análise, divergente da compressão, que se restringiu a uma faixa que se estende até cerca de 0,65 (razão de aspecto) e 5,8 g (intensidade da fibra) antes de iniciar o declínio da propriedade.

Os valores máximos, considerando as interações das equações de regressão, para as variáveis Y1 (compressão) e Y1 (tração na flexão) foram respectivamente 7,32(+/-1,76) e 2,06 (+/- 0,37) MPa.

Ao efetuar a inspeção da superfície de resposta, torna-se perceptível que, mediante o incremento na relação a/a, o gráfico assume uma trajetória que delineia resultados diversos para a resistência, ao passo que o teor de fibra exhibe escassez de pontos de variabilidade. Contudo, quando se aborda a variação da fibra, torna-se imperativo que o teor de água acompanhe tal variação, a fim de que a resistência seja preservada. Este fenômeno atesta a existência de um sinergismo entre as variáveis em questão.

Assim, evidencia-se que as análises estatísticas não apenas ratificam, mas também enriquecem e facilitam a visualização da análise gráfica previamente realizada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, as análises realizadas nas características no estado fresco e endurecido da argamassa evidenciaram complexidades nas interações entre o teor de fibras, quantidade de água e as propriedades mecânicas. O aumento do teor de fibras influenciou negativamente o índice de consistência no estado fresco, revelando desafios na dispersão dessas fibras na mistura.

Os resultados indicam que a incorporação de fibras curtas na argamassa exige uma análise bastante criteriosa no que tange às interações entre a quantidade de água e fibra. A abordagem coordenada entre essas variáveis é vital para atingir as propriedades desejadas, tanto no estado fresco quanto no endurecido. A análise estatística emerge como uma ferramenta essencial para a compreensão e aprimoramento desse sistema complexo, proporcionando avanços notáveis na produção de argamassas com características específicas.

Ou seja, por meio do Delineamento Composto Central Rotacionado (DCCR) e ANOVA, foi possível fortalecer as conclusões obtidas nas análises gráficas. As equações de regressão geradas permitiram identificar pontos otimizados para resistência à compressão e tração na flexão, destacando a importância da relação água/cimento e quantidade de fibra. As superfícies de resposta sublinharam a complexidade das interações entre as variáveis, enfatizando a necessidade de uma abordagem integrada para otimização do processo.

A partir destas considerações, infere-se, mediante os resultados suscitados, que os traços otimizados para compressão e tração na flexão aproximaram-se das porcentagens de teores de fibra preconizadas pelo fabricante, ou seja, de 200 gramas para cada 50 kg de cimento, não se revelando propícios, sob uma perspectiva econômica e técnica, a operar em níveis superiores, como por exemplo ao intervalo estudado. Entretanto, mesmo ostentando valores superiores de resistência, estes não coadunam com o nível de trabalhabilidade preconizado.

Nesse contexto, é válido afirmar que não se verificou melhoria na performance nas argamassas com o aumento do teor de fibra, para os teores em gramas estudos.

Em sequência, conforme NBR 13281-1/2023 podemos concluir que para o traço 1 (maior resultado de flexão, 2,1 MPa) a argamassa resultante possui enquadramento, na classe R3 (tração na flexão). E quanto ao traço 3 (flexão, 0,8 MPa), o enquadramento muda para classe R2 (tração na flexão). Essa classificação deve ser informada obrigatoriamente, assim como preconiza a norma.

Logo os resultados se mostraram promissores e satisfatórios, todavia sugere-se para trabalhos futuros promover uma avaliação mais abrangente no que tange à incidência de fissuras nas misturas avaliadas, teor de ar incorporado e aderência da argamassa no substrato, de forma a compreender melhor o comportamento destas misturas argamassados quanto ao uso de fibras e sua correlação com o teor água aglomerante para esse intervalo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIVIDRO - Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. 2022. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da Logística Reversa dos Vasilhames de Vidro.**

ABRELPE, 2022, **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL**, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C-270: **Standard specification for mortar for unit masonry**. United States, 2007.

ANAVIDRO – Associação Nacional de Vidraçarias. 2020. **Quanto tempo o vidro leva para se decompor?**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 9775 – Agregado miúdo – **Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16541. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para realização de ensaios**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281-1. **Argamassa inorgânicas – Requisitos e métodos de ensai. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2023.

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

BAÍA, L.L. M.; SABBATINI, F.H. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). **Construção Sustentável: a mudança em curso** / Confederação Nacional da Indústria, Câmara Brasileira da Indústria da Construção –Brasília: CNI, 2017.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIAS, G. C. (Ed.) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. **Ipsis Gráfica e Editora**, São Paulo, Cap. 26, p. 863 - 904, 2007.

COLOMBO, Felipe Sachet; ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei; JARAMILLO, Leidy Johana; PIVA, Jorge Henrique; WANDERLIND, Augusto. **Análise das propriedades físico-mecânicas de argamassas de revestimento com incorporação de fibras de polipropileno e nylon**. Matéria. (Rio de Janeiro), [SL], v. 4, fev. 2020.

COSTA, Kevin de Matos; ALMEIDA Raíssa Coelho; Moreira, Thiago A. de Sousa. **Análise do Desempenho Mecânico de Concretos e Argamassas Mediante a Substituição Parcial da Massa do Agregado Miúdo (Areia) por Vidro Moído Oriundo de Garrafas de Cerveja Long Neck**. Revista de Ciência e Tecnologia, Santarém, v. 1-12. 2020.

De Oliveira L A P, Gomes P J C, Santos P M S, 2012. **The potential pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars components**. Construction and Building Materials 31, 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.110>

DOSSENA, Matheus Henrique; BEVILAQUA, Diogo; SILVA, Luciano Luiz; FIORI, Márcio Antônio; BATISTON, Eduardo Roberto; MELLO, Josiane Maria Muneron de. **Evaluation of Mechanical Properties of Sealing Mortar with Partial Replacement of Portland Cement by Stone Crusher Waste**. Materials Research, [S.L.], v. 22, 15 jul. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2018-0868>.

DUARTE, R. B. **Fissuras em alvenaria: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação**. Boletim técnico, n. 25. Porto Alegre, 1998.

FERREIRA, Beatriz Bernardes Dias. **Tipificação de patologia em revestimentos argamassados**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação e Engenharia Civil da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2010.

FERRARI, G.; JORGE, J. **Materiais e Tecnologias**. São Paulo, 2010. Universidade Bandeirantes. (Notas de aula). INTERCEMENT.

GIRLING, P.J. **Embalagens de alimentos em recipientes de vidro**. In: COLES, R.;

McDOWELL, D.; KIRWAN, M.J. Food Packaging Technology. Blackwell Publishing, Oxford, 2003.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia** (2022). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>.

JÚNIOR, Geraldo Josafá de Figueiredo. **Patologias em revestimentos de fachadas – diagnóstico, prevenção e causas**. Trabalho de Conclusão de Curso para curso de Engenharia Civil. UFMG. Belo Horizonte. 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais- 2ª Edição. Ed.: **IBRACON**. ISBN.:978-85-98576213. Português, p. 751. 2014.

MIRANDA, L.M.C.. **Estudo comparativo entre argamassa de revestimento à base de cimento com adição de cal hidráulica e de cal hidratada**. 88f. 2009. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Construção Sustentável**. S.d. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/item/8059.html>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Secretaria de Qualidade Ambiental**. Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planos / Cooperativos de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022.

MONTE, Renata e BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de e FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Avaliação da influência de fibras de polipropileno na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. 2012, Anais. Coimbra: APFAC, 2012.

MORAIS, Agnelo; DOURADO, João Batista de Oliveira Libório; LIMA, Érica Karine Alves; RESENDE, Cristiane Xavier, PAZ, Gilvan Moreira da, MATOS, José Milton Elias de; SANTOS, Valdeci Bosco dos. **Argamassa cimentícia: uso sustentável de pó fino de vidro reciclado como precursor parcial**. Cerâmica Industrial, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 1-11, 2022. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2022.008>.

NAKAKURA, E.H. **Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13281 e a MERUC**. São Paulo: Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, Kaique Fernandes De. **Incorporação de resíduos de vidro em pó em argamassas de assentamento**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Centro Universitário de Formiga, Minas Gerais, 2018.

PAIVA, Camila Cunha; LIMA, Leyliane Oliveira de. Avaliação do comportamento mecânico do concreto com a substituição do agregado miúdo por vidro. **Revista Eletrônica da Reunião Anual de Ciência – e-RAC**, v. 9, n. 1, 2019.

POLLEY C, CRAMER SM, DE LA CRUZ RV. **Potential for using waste glass in Portland cement concrete**. Journal of Materials in Civil Engineering, v.10, 1998.

RIGHI, D., KÖHLER, L., TABARELLI, A., KIRCHHOF, L. e LIMA, R.(2012). **Análise de concretos produzidos com vidro moído quando submetido a temperaturas elevadas**. In: XXXV Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, Infraestrutura e Desenvolvimento, ASAAE - Associação Sul Americana de Engenharia Estrutural, Rio de Janeiro.

ROSA, Sérgio Eduardo Silveira da; COSENZA, José Paulo; BARROSO, Deise Vilela. **Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 26, p. [101]-137, set. 2007.

SANTOS, Diogo Pereira dos. **Influência de resíduo de vidro nas propriedades de uma argamassa colante**. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes - RJ, 2016.

SILVA, Diogo Hilário da; SANTANA, Edjane da Silva; SILVA, Jéssica Ferreira Tibúrcio; ALMEIDA, Suelane; LIMA, Sandovânio Ferreira de. **Construção Sustentável na Engenharia Civil**. Ciências exatas e tecnológicas. 4. n. 2. pág. 89-100. Alagoas. Novembro de 2017.

SILVA, Jussara Adílio Da; PIVA, Jorge Henrique; WANDERLIND, Augusto; SAVI, Aline Eyng; ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. Análise das características físicas e propriedades mecânicas de argamassa com inserção de resíduos de madeira. **Matéria**, 2021, Vol.26.

SILVA, Rosiany da Paixão. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno** – Estudo do comportamento reológico e mecânico. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

TRENTIN, Priscila Ongaratto; MANICA, Jocasta; VANZETTO, Suelen Cristina; MARANGONI, Bruno; ZALESKI, Alessandra. Substituição parcial de agregado miúdo por

eliminação de vidro moído na produção de argamassa. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [SL], v.25, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0903>.

ANEXO A

Sequência executiva: Mistura



Sequência executiva: Vista da dispersão da fibra na massa.



Sequência Executiva: Mesa para ensaio de consistência



Sequência Executiva: Massa após 15,10,5 golpes e remoção do molde de consistência



*Sequência Executiva: 1 Configuração da massa após ser submetida às 30 quedas da mesa de consistência.
Momento em que se é realizada a medição da consistência.*



Sequência Executiva: Moldagem dos corpos de prova a serem submetidos à cura úmida



Sequência Executiva: Corpo de prova submetido ao ensaio de tração na flexão (após 28 dias de cura úmida).



Sequência Executiva: Corpo de prova submetido ao ensaio de resistência à compressão axial (feito com metade do corpo de prova utilizado para flexão).

