



**UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS – UNIEVANGÉLICA
CAMPUS CERES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EMILLY TALLYSSA EVANGELISTA DE SOUZA
MARIELLE DA SILVA MACEDO**

**INCORPORAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS DE SISAL EM ARGAMASSA DE
REVESTIMENTOS DE ALVENARIA**

PUBLICAÇÃO N°: 01

CERES / GO: 2023

**EMILLY TALLYSSA EVANGELISTA DE SOUZA
MARIELLE DA SILVA MACEDO**

**INCORPORAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS DE SISAL EM ARGAMASSA DE
REVESTIMENTOS DE ALVENARIA**

PUBLICAÇÃO Nº: 01

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

**ORIENTADOR: Ma. JÉSSICA NAYARA DIAS
COORIENTADOR: Me. VILSON DALLA LIBERA JUNIOR**

CERES / GO: 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, EMILLY TALLYSSA EVANGELISTA DE; MACEDO, MARIELLE DA SILVA.

Incorporação de fibras naturais de sisal em argamassa de revestimentos de alvenaria. 2023 xi, 29P, 297 mm (ENC/UniEVANGÉLICA, Bacharel, Engenharia Civil, 2023).

TCC – UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Argamassa

2. Fibra de sisal

3. Propriedades termomecânicas

4. Revestimentos

I. ENC/UNI

II. Incorporação de fibras naturais de sisal em

argamassa de revestimentos de alvenaria.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, E. T. E.; MACEDO, M. S. Incorporação de fibras naturais de sisal em argamassa de revestimentos de alvenaria. TCC, Publicação ENC. PF-001A/23, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 29 p. 2023.

CESSÃO DE DIREITOS

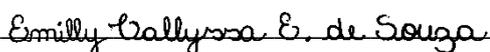
NOME DO AUTOR: Emilly Tallyssa Evangelista de Souza; Marielle da Silva Macedo.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
Incorporação de fibras naturais de sisal em argamassa de revestimentos de alvenaria.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2023

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Emilly Tallyssa Evangelista de Souza

76680-000 - Itapuranga/GO - Brasil



Marielle da Silva Macedo

76365-000 - São Luiz do Norte/GO - Brasil

**EMILLY TALLYSSA EVANGELISTA DE SOUZA
MARIELLE DA SILVA MACEDO**

**INCORPORAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS DE SISAL EM ARGAMASSA DE
REVESTIMENTOS DE ALVENARIA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:



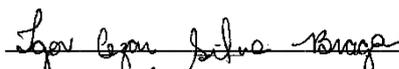
**JÉSSICA NAYARA DIAS, Mestra (Universidade Evangélica de Goiás –
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(ORIENTADOR)**



**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus
Uruaçu)
(COORDENADOR)**



**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (Universidade Evangélica de Goiás –
UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR EXTERNO)**



**IGOR CÉZAR SILVA BRAGA, Mestre (Universidade Evangélica de Goiás –
UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: CERES/GO, 11 de DEZEMBRO de 2023.

INCORPORAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS DE SISAL EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTOS DE ALVENARIA

Emilly Tallyssa Evangelista de Souza¹

Marielle da Silva Macedo²

Jéssica Nayara Dias³

Vilson Dalla Libera Junior⁴

RESUMO

Com a crescente industrialização, a indústria da construção busca implementar medidas mitigadoras dos impactos causados ao meio ambiente. Uma alternativa que vem ganhando espaço nos últimos anos diz respeito à utilização das fibras vegetais em compósitos cimentícios, em especial as provindas do sisal, que apresentam forte relevância ao semiárido nordestino. Este estudo visa avaliar o impacto da adição de microfibras de sisal nas propriedades mecânicas e térmicas de argamassas de revestimento. Cinco diferentes traços foram preparados, incluindo uma argamassa de referência (AC), bem como adições de 0,1% (A01), 0,2% (A02), 0,3% (A03) e 0,4% (A04) de fibra de sisal. A análise das propriedades mecânicas englobou ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, consistência da argamassa no estado fresco e absorção de água total e por capilaridade. Para avaliação da eficiência térmica, placas cimentícias de 10 x 10 cm foram produzidas para cada traço. À medida que a quantidade de fibras aumentou, os resultados indicaram uma redução na consistência, absorção de água e resistência à compressão da argamassa. Porém, houve aumento significativo nas propriedades térmicas e na resistência à tração. Na consistência, a amostra com 0,4% de fibra reduziu 34 mm em seu diâmetro em comparação com o traço de referência. Corpos de prova com 0,4% de fibras mostraram diminuição de 1,04% na absorção total de água em relação ao traço de referência (AC). Na absorção por capilaridade, a redução foi de 0,13% após 72 horas. Na resistência à compressão, os traços A02 e A03 tiveram redução na resistência de 1,4%, enquanto o traço A04 reduziu 1,5% em relação ao traço de referência (AC). O traço A01 teve aumento leve de 0,1%, não significativo estatisticamente. Na análise de resistência à tração, observou-se um aumento na resistência em todos os traços em que foram introduzidas fibras. Nos ensaios térmicos, a temperatura da argamassa reforçada aumentou em relação ao traço de referência, resultando em uma variação média de 9 °C no ensaio de exposição direta das placas ao calor em ambiente controlado, e de 1,25 °C no ensaio de exposição direta das placas ao calor em ambiente externo. Assim, pode-se concluir que a adição de fibras de sisal às argamassas de revestimento não apenas aprimorou as propriedades térmicas, mas também preservou as propriedades mecânicas de maneira adequada.

Palavras-chave: Argamassa. Fibra de sisal. Propriedades termomecânicas. Revestimentos.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil da Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: emillysouzagn@gmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil da Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: mariellemacedo350@gmail.com

³ Mestra, Professora do curso de Engenharia Civil da Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: jessicadias.engenharia@gmail.com

⁴ Mestre, Professor do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Goiás (IFG) – Campus Uruaçu. E-mail: vilson.dalla@gmail.com

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Argamassa de revestimento	6
2.2 Fibras vegetais como matérias de reforço	6
2.1.1 <i>Fibras de sisal</i>	7
2.1.2 <i>Tratamento superficial</i>	8
2.1.3 <i>Propriedades mecânicas e comportamento térmico</i>	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 Materiais.....	9
3.1.1 <i>Cimento.....</i>	9
3.1.2 <i>Água.....</i>	9
3.1.3 <i>Agregados.....</i>	9
3.1.4 <i>Aditivo plastificante.....</i>	11
3.1.5 <i>Fibras de sisal</i>	11
3.2 Métodos	11
3.2.1 <i>Dosagem e produção da argamassa</i>	12
3.2.2 <i>Moldagem dos corpos de prova</i>	12
3.2.3 <i>Ensaio de consistência da argamassa.....</i>	13
3.2.4 <i>Absorção de água total e por capilaridade.....</i>	14
3.2.5 <i>Propriedades mecânicas da argamassa.....</i>	14
3.2.6 <i>Propriedades térmicas da argamassa.....</i>	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
4.1 Consistência da argamassa	16
4.2 Absorção de água.....	17
4.2.1 <i>Absorção de água total.....</i>	17
4.2.2 <i>Absorção de água por capilaridade</i>	18
4.3 Propriedades mecânicas da argamassa	19
4.3.1 <i>Resistência à compressão.....</i>	19
4.3.2 <i>Resistência à tração por compressão diametral</i>	21
4.4 Propriedades térmicas da argamassa	22
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado dos centros urbanos tem ocasionado grandes mudanças climáticas e ambientais em todo o mundo. Um dos principais motivos é a construção civil, que a cada dia busca suprir o déficit habitacional fornecendo recursos para a crescente atividade econômica industrial (SILVA, 2010). Sob tais circunstâncias, encontrar materiais ecologicamente corretos para minimizar os problemas ambientais tornou-se um grande desafio nos últimos anos. Deste modo, o novo paradigma do desenvolvimento econômico visa melhorar a vida das gerações futuras ao incorporar modelos de produção menos poluentes, de menor custo e mais leves (SILVA, 2014).

Entre os componentes da construção civil, as argamassas têm despertado o interesse da indústria e da comunidade acadêmica, principalmente em relação às novas possibilidades de aplicações e métodos de preparação (SANTOS; DALL’OGLIO, 2017). A argamassa é um dos produtos mais utilizados na construção civil, estando presente no assentamento e revestimento de alvenarias. São constituídas por aglomerantes, areia e água, podendo conter aditivos e adições, sendo geralmente incorporados com o objetivo de tornar a massa plástica ou de melhorar outras características e propriedades específicas (FERREIRA, 2010).

A gama de materiais de construção disponíveis hoje é muito ampla e estes materiais estão cada vez mais especializados para aplicações específicas. Neste contexto, considerando a tendência mundial em maximizar o uso dos recursos naturais através de novos processos e produtos, têm-se uma intensificação no processo de pesquisa e desenvolvimento de novos materiais provenientes de fontes renováveis. Neste sentido, os compósitos reforçados com materiais biodegradáveis possuem propriedades mecânicas e comportamento térmico melhores do que aqueles provenientes da matriz à base de cimento puro (BELTRAMI; SCIENZA; ZATTERA, 2014).

Na composição de materiais compósitos cimentícios, as fibras vegetais têm se destacado como materiais de construção não clássicos (SILVA *et al.*, 2014). As principais vantagens do seu uso estão relacionadas a sua ampla disponibilidade, baixo custo, origem renovável e propriedades atóxicas, além de promover o desenvolvimento econômico das comunidades locais. Do mesmo modo, apresentam boas propriedades mecânicas, alta resistência à tração e boas propriedades elásticas (DANTAS, 2019). A introdução de fibras vegetais de elevada resistência à tração e alta ductilidade na matriz cimentícia pode aumentar a sua capacidade de carga e de deformação. Além disso, a presença dessas fibras pode aumentar a resistência à tração da matriz e manter uma capacidade portante pós fissuração, visto que suporta deformações bem maiores do que a matriz sem fibra (FERRARI, 2007).

Entre os diversos tipos de fibras, tem-se a cultivada a partir do sisal (*Agave Sisalana*). Essas fibras são retiradas a partir das folhas e sua estrutura é formada de fibrilas ou microfibras compostas majoritariamente de lignina, hemicelulose e celulose, principais compostos responsáveis pelas propriedades mecânicas da fibra. No que tange seus aspectos econômicos, tem-se o Brasil como o maior produtor e os Estados da Bahia, Rio Grande do Norte e Paraíba os maiores polos a nível nacional. As fibras de sisal são utilizadas em vários setores de produção, como o artesanato, a indústria têxtil, agrícola, farmacêutica, entre outros. No ramo da construção civil, a utilização da fibra de sisal tornou-se objeto de interesse na substituição de fibras sintéticas no processo de reforço em materiais poliméricos, como também em outros compósitos cimentícios convencionais. Principalmente por se tratar de um produto advindo de fonte renovável, que fornece alta tenacidade, resistência à abrasão, além de possuir baixo custo, densidade relativamente pequena e pouco consumo de energia em sua produção (DIAS *et al.*, 2021).

Apesar das boas propriedades, as fibras vegetais apresentam altas taxas de absorção de água, o que confere uma fragilidade dimensional das fibras, e danifica a interação fibra/ matriz,

comprometendo a transferência de esforços dentro do material compósito. Inúmeros tratamentos podem ser utilizados para diminuir a instabilidade volumétrica das fibras e aumentar sua afinidade com a matriz. Esses processos objetivam limpar a superfície da fibra vegetal e alterar sua estrutura química, reduzindo a absorção de umidade e aumentando a rugosidade da superfície (FERREIRA *et al.*, 2017). Entre os diversos tratamentos utilizados, o tratamento alcalino tem-se destacado, uma vez que confere maior rugosidade às fibras, e conseqüentemente melhora a adesão com a matriz (PAULA, 1996).

Em síntese, as argamassas tradicionais apresentam propriedades mecânicas moderadas, pouca resistência a fissuração, e baixo isolamento térmico e acústico, sendo necessário a realização de pesquisas e a investigação de materiais alternativos para a argamassa de alvenaria (SOUSA, 2010). Neste contexto, este estudo teve como objetivo produzir uma argamassa de revestimento utilizando reforço de fibra de sisal, avaliar as propriedades mecânicas e o comportamento térmico das argamassas produzidas e estudar as propriedades físicas e químicas das fibras de sisal utilizadas como material de reforço.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Argamassa de revestimento

Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, são obtidas a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos e adições (CARASEK, 2010). As argamassas de revestimento são utilizadas para recobrimento de paredes de alvenaria, muros ou estruturas de concreto armado, devendo possuir aderência ao substrato e contribuir para a impermeabilidade e em menor escala, para o isolamento termoacústico (RECENA, 2015).

As argamassas de revestimento possuem funções específicas que devem ser seguidas e observadas, como por exemplo, trabalhabilidade, retração, aderência, permeabilidade à água, resistência mecânica, capacidade de absorver deformações e durabilidade (MARTINS; SOARES, 2016). De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) para um bom desempenho, as argamassas devem possuir no estado fresco resistência à tração na flexão, coeficiente de capilaridade, densidade de massa, retenção de água e resistência potencial de aderência à tração e no estado endurecido resistência à compressão e densidade de massa.

2.2 Fibras vegetais como matérias de reforço

A introdução de fibras vegetais de elevada resistência à tração e alta ductilidade na matriz cimentícia pode aumentar a sua capacidade de carga e de deformação. Além disso, a presença dessas fibras pode aumentar a resistência à tração da matriz e manter uma capacidade portante pós fissuração, visto que suporta deformações bem maiores do que a matriz sem fibra (FERRARI, 2007). As principais vantagens da utilização das fibras vegetais são sua baixa massa específica, maciez e abrasividade reduzida, são recicláveis, atóxicas e biodegradáveis, possuem baixo custo e estimulam empregos na zona rural (BORGES; MOTA; PINTO, 2019). Além disso, apresentam boas propriedades de resistência à tração e flexão e alta resistência ao impacto, e ainda possuem um dos maiores valores de módulo de elasticidade e de resistência entre as fibras naturais (CAMPOS *et al.*, 2011).

As fibras vegetais apresentam algumas deficiências, tais como baixo módulo de elasticidade e alta taxa de absorção de água. Para superar este problema, tratamentos alcalinos podem ser realizados com o objetivo de remover da superfície da fibra as graxas e ceras, oriundas do processamento e manuseio. Além disso, quando aplicado de forma adequada o

tratamento também promove a remoção parcial dos componentes hemicelulose e lignina, também presentes na fibra (GHAVAMI; TOLEDO FILHO, 1992).

Ruano *et al.* (2020), realizaram um estudo sobre o comportamento flexural de compósitos cimentícios reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar e cânhamo, os resultados mostraram que as argamassas reforçadas com fibras do bagaço de cana-de-açúcar aumentaram a resistência à flexão, enquanto as argamassas com fibras de cânhamo aumentaram a tenacidade do compósito. Araruna *et al.* (2021), realizaram um estudo sobre o reaproveitamento de fibra de coco como alternativa para melhorar as propriedades mecânicas da argamassa, neste estudo foi comprovado que o acréscimo da fibra na argamassa resultou em um melhor desempenho na resistência dos corpos de prova, tanto nos ensaios de tração por compressão diametral quanto no ensaio de compressão axial.

Fonseca (2021), realizou um estudo para avaliar as propriedades físicas, químicas e mecânicas de diferentes fibras vegetais amazônicas para a produção de argamassas cimentícias reforçadas com diferentes tipos de fibras vegetais da Amazônia, no estudo em questão concluiu que a incorporação dessas fibras proporcionou um aumento significativo da resistência mecânica da argamassa. Silva (2019), realizou um estudo sobre a análise da eficiência térmica e mecânica da argamassa com adição de fibra do coco seco, os resultados mostraram que a argamassa com adição de 0,3% fibra de coco teve melhor comportamento mecânico e o traço com melhor eficiência térmica foi com adição de 0,6%, sendo o mesmo, classificado com melhor desempenho termomecânico.

2.1.1 Fibras de sisal

O sisal (*Agave sisalana*) é uma planta da família *agavaceae* oriunda da província de Yucatã, no México, que logo se espalhou por várias regiões do mundo como Europa e África. O sisal sobrevive a baixa humidade e altas temperaturas, tornando-a ideal o cultivo em regiões tropicais. Segundo Martin *et al.* (2009), cerca de 70% da produção comercial correspondem ao sisal. O cultivo do sisal no Brasil teve início no século XIX, principalmente na região Nordeste, sendo a Bahia o maior produtor de sisal no país, seguido pela Paraíba e Rio Grande do Norte. A Figura 1 mostra a planta de sisal, e como são as fibras de sisal já separadas das folhas e em processo de secagem.

Figura 1 – Plantas de sisal (a). Fibra de sisal em processo de secagem (b).



Fonte: Adaptado de Cosibra (2023).

Segundo os últimos dados da COSIBRA – Sisal do Brasil Ltda., as exportações do sisal brasileiro atingiram 59,9 mil toneladas no ano de 2021. Mostrando um aumento de 10,6% das

exportações em relação ao ano de 2020, consolidando o Brasil como o maior exportador da fibra no mundo (NAVES, 2022). As principais aplicações da fibra de sisal são na indústria automobilística e na fabricação de cordas, barbantes, cabos marítimos, tapetes, sacos, vassouras, estofamentos e artesanato, entre outras (MARTIN *et al.*, 2009).

2.1.2 Tratamento superficial

Conforme estudo realizado por Mwaikambo e Anssel (2002), a fibra de sisal faz parte do grupo das fibras lignocelulósicas, sendo composta por celulose, hemicelulose, lignina e pectina. A fibra também apresenta um índice de cristalinidade correspondente a 75%, fazendo com que a mesma tenha uma formação cristalina bastante grande, o que torna sua superfície altamente lisa, o que pode provocar dificuldade na adesão da fibra de sisal à matriz cimentícia (MWAIKAMBO; ANSSEL, 2002). A Tabela 1 mostra a composição da fibra de sisal.

Tabela 1 – Composição da fibra de sisal.

Composição	%
Celulose	73
Hemicelulose	13
Lignina	11
Pectina	2

Fonte: Adaptado de Mwaikambo e Anssel (2023).

Para alcançar resultados satisfatórios na aplicação de fibras de sisal em argamassa, é fundamental realizar tratamentos físicos e químicos na superfície das fibras. Esses tratamentos visam melhorar a aderência entre a fibra e a matriz cimentícia, permitindo uma maior transferência de tensões e, conseqüentemente, um aumento no desempenho da argamassa reforçada (QUININO, 2015). Estudos indicam que o tratamento químico com hidróxido de sódio (NaOH) pode aumentar a rugosidade da superfície da fibra, além de remover impurezas e a primeira camada de lignina. Segundo Gonzaga (2014), o tratamento alcalino torna-se eficaz na remoção de parte da hemicelulose da fibra, podendo elevar o nível de cristalinidade e reduzir o índice de absorção de água, resultando na melhoria da rugosidade da fibra, o que favorece a aderência com a matriz cimentícia. De acordo com o estudo de Beltrami, Scienza e Zattera (2014), tratar as fibras de sisal em uma solução de 1,5 a 10% de NaOH apresenta melhorias nas características e na adesão da fibra à matriz.

2.1.3 Propriedades mecânicas e comportamento térmico

As argamassas convencionais, de modo geral, não apresentam um bom desempenho mecânico e térmico, tornando-se necessário o emprego de novos materiais. A matriz cimentícia das argamassas apresenta baixa resistência à tração em relação a sua resistência à compressão como também baixa capacidade de deformação, o que faz com que ocorra a redução da resistência após o surgimento da primeira fissura (OLIVEIRA, 2016). Sousa (2010), destaca que à utilização de novos materiais para tornar a argamassa mais leve, ocasiona perda na resistência mecânica, entretanto, eleva as propriedades de isolamento térmico e acústico.

Existem diversos materiais que podem ser utilizados como isolantes térmicos, desde que tenham a função de reduzir a difusividade térmica, ou seja, reduzir a taxa de transferência de calor entre o sistema e o meio, e mantendo um armazenamento adequado de energia no material (MENDES *et al.*, 2012). Lamberts, Dutra e Pereira (2014), apontaram que as propriedades mecânicas e o desempenho térmico dos componentes da construção civil estão em função do desempenho térmico e mecânico dos materiais constituintes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Cimento

Os traços de argamassa avaliados foram produzidos utilizando o cimento Portland CP II Z-32, da marca Ciplan®, comercializados em sacos de 50 kg e apresentando uma resistência de 32 MPa aos 28 dias. A composição do cimento é detalhada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição do cimento.

Composição	%
Clínquer + gesso	76 a 91
Escória siderúrgica	-
Material pozolânico	6 a 14
Calcário	0 a 10

Fonte: Adaptado de Ciplan® (2023).

A escolha por esse tipo de cimento foi influenciada pelos traços de argamassa mencionados na literatura, os quais foram utilizados neste estudo. Além disso, esse cimento é amplamente utilizado no preparo de argamassas de revestimento.

3.1.2 Água

A água utilizada na produção das argamassas obteve temperatura média de (23 ± 2) °C e foi proveniente do abastecimento público da Companhia de Saneamento local da cidade de Anápolis – GO, onde os ensaios foram realizados.

3.1.3 Agregados

Os agregados miúdos foram do tipo areia natural. A composição granulométrica foi realizada com peneiramento através da série normal de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Os resultados obtidos nos ensaios estão apresentados nas Tabelas 3 e 4. Através da análise dos valores encontrados foi possível determinar o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado miúdo apresentados na Tabela 5.

Tabela 3 – Análise granulométrica do agregado miúdo.

Abertura da malha (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)	
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B
4,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2,36	11,70	9,00	2,34	1,80
1,18	312,60	279,20	62,63	55,92
0,6	103,80	114,80	20,80	22,99
0,3	50,70	69,90	10,16	14,00
0,15	16,10	21,40	3,23	4,29
0,075	3,30	4,00	0,66	0,80
Fundo	0,90	1,00	0,18	0,20
Total	499,10	499,30	100,00	100,00

Fonte: Próprio Autor (2023).

Tabela 4 – Análise granulométrica do agregado miúdo.

Massa retida variações ± 4%	Massa retida Média (%)	Massa retida acumulada (%)	Massa passante acumulada (%)
0,00	0,00	0,00	100,00
0,54	2,07	2,07	97,93
6,71	59,28	61,35	38,65
-2,19	21,89	83,24	16,76
-3,84	12,08	95,32	4,68
-1,06	3,76	99,08	0,92
-0,14	0,73	99,81	0,19
-0,02	0,19	100,00	0,00
0,00	0,00	0,00	100,00

Fonte: Próprio Autor (2023).

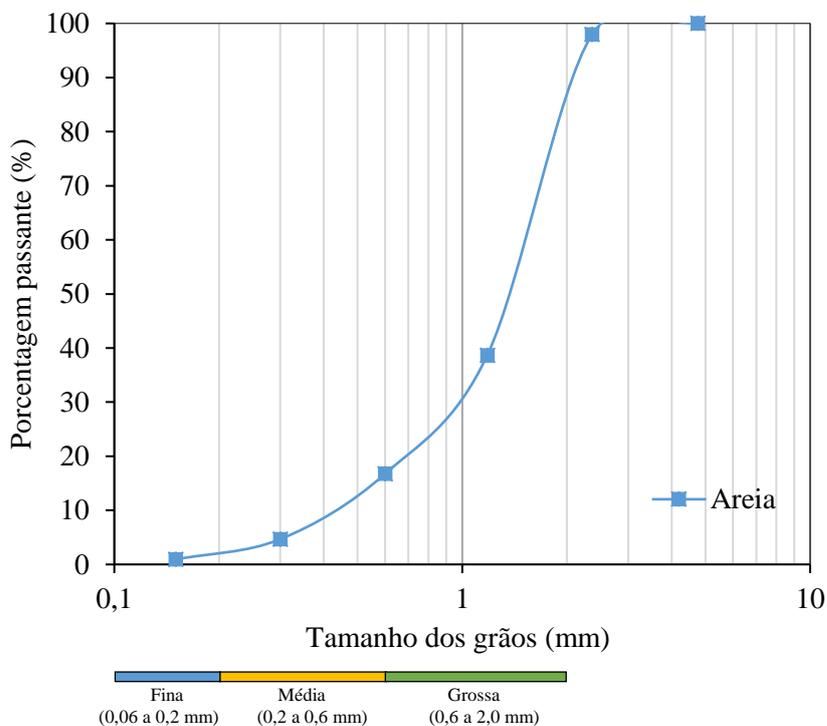
Tabela 5 – Análise granulométrica do agregado miúdo.

Características	Valores Obtidos
Módulo de finura	3,41
Diâmetro máximo característico (mm)	2,36

Fonte: Próprio Autor (2023).

A partir dos ensaios realizados, foi elaborada uma curva granulométrica do agregado analisado, apresentada no Gráfico 1. De acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), a areia natural utilizada na produção das argamassas foi categorizada como média grossa, devido ao tamanho de seus grãos ficarem compreendidos na faixa granulométrica entre 0,2 mm e 2,0 mm.

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Próprio Autor (2023).

3.1.4 Aditivo plastificante

Para confecção dos traços, foi utilizado o aditivo plastificante Vedalit, da marca Vedacit®, tendo como objetivo principal, proporcionar maior plasticidade à argamassa. As propriedades e características do aditivo plastificante são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades e características do aditivo plastificante de acordo com o fabricante.

Propriedades	Valores
Densidade	1,03 g/cm ³
Aparência	Escuro
Composição básica	Resinato de sódio
Válidade	24 meses

Fonte: Adaptado de Vedalit Vedacit® (2023).

De acordo com o fabricante, o consumo do aditivo deve ser em média 100 mL/ saco de cimento (50 kg) e deve ser acrescentado na argamassa no momento da sua produção.

3.1.5 Fibras de sisal

As fibras vegetais utilizadas foram extraídas das folhas de Sisal (*Agave Sisalana Pierre*), estando disponíveis já na forma *tratada*. O estudo abordando o processo de tratamento ao qual as fibras foram submetidas foi conduzido no trabalho de Libera Junior (2019), e envolveu a imersão das fibras vegetais em uma solução de 5% de NaOH. Após a obtenção das fibras *tratadas*, com comprimento médio de 20 cm, estas foram cortadas nas dimensões de 8 ± 2 mm.

Figura 2 – Fibras de sisal no comprimento disponibilizado (a) e cortadas (b).



Fonte: Próprio Autor (2023).

3.2 Métodos

O programa experimental foi conduzido em três etapas principais. Na primeira etapa, procedeu-se à dosagem e produção da argamassa, incorporando fibras de sisal em diferentes proporções. Na segunda etapa, foram moldados os corpos de prova utilizados nos ensaios de absorção de água, índice de consistência, ensaios mecânicos e ensaios térmicos. Na terceira etapa, os resultados foram submetidos a uma análise de variância ANOVA, com o objetivo de determinar se os valores das variáveis de resposta, medidos em diferentes níveis, diferem

significativamente do ponto de vista estatístico entre si. Por fim, os melhores resultados em relação às proporções de fibras adicionadas foram escolhidos, considerando o desempenho mais satisfatório alcançado nos ensaios realizados.

3.2.1 Dosagem e produção da argamassa

A incorporação das fibras de sisal na argamassa de revestimento ocorreu nas proporções de 0,1%, 0,2%, 0,3% e 0,4%, em relação à massa dos materiais secos. Os teores de fibras incorporadas na argamassa foram determinados por meio de uma revisão da literatura e testes iterativos. Além disso, uma mistura de argamassa sem adição de fibras de sisal foi adotada como traço de referência. A nomenclatura dos traços avaliados é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Nomenclatura dos traços a serem avaliados.

Traço	Tipo
AC	Argamassa convencional
A01	Argamassa com 0,1% de fibras de sisal
A02	Argamassa com 0,2% de fibras de sisal
A03	Argamassa com 0,3% de fibras de sisal
A04	Argamassa com 0,4% de fibras de sisal

Fonte: Próprio Autor (2023).

As proporções dos materiais empregados, apresentadas na Tabela 8, foram baseadas em um traço de referência comumente utilizado em argamassas para revestimento de alvenaria.

Tabela 8 – Proporções dos materiais a serem utilizados na argamassa em massa.

Materiais	Proporções
Cimento	1
Areia natural	4
Aditivo plastificante	0,0035%
Fibra de sisal	0,1%; 0,2%; 0,3%; 0,4%

Fonte: Próprio Autor (2023).

A argamassa foi produzida em argamassadeira com capacidade de 5 litros. O traço em massa utilizado na fabricação dos corpos de prova (cimento/ agregado miúdo/ aditivo/ relação água/cimento) foi de (1:4:0,0035:0,70). O traço de argamassa foi determinado com base em pesquisas anteriores, sujeito a testes iterativos para otimizar a trabalhabilidade e atender às normas específicas.

3.2.2 Moldagem dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). Os corpos de prova utilizados nos ensaios de compressão simples e tração por compressão diametral foram moldados com dimensões de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro. Os corpos de prova do ensaio térmico foram moldados em painéis quadrados com dimensões de 10 x 10 cm. A Figura 3 mostra os corpos de prova cilíndricos e os quadrados utilizados nos ensaios.

Figura 3 – Moldes cilíndricos (a). Painéis quadrados (b).



Fonte: Próprio Autor (2023).

Após a inserção da argamassa nos moldes, estes permaneceram durante 24 horas para cura inicial. Posteriormente, foram desenformados e imersos em um tanque contendo água saturada de cal, para que houvesse a cura úmida. Essas condições foram mantidas por 21 dias até o momento do ensaio de absorção de água por capilaridade, ou por 28 dias até o momento dos ensaios de compressão simples e tração por compressão diametral.

3.2.3 Ensaio de consistência da argamassa

A avaliação da consistência dos diversos traços de argamassa foi conduzida por meio do ensaio de índice de consistência, seguindo as diretrizes da NBR 13276 (ABNT, 2005). As Figuras abaixo ilustram o ensaio de índice de consistência (Figura 4a) e os componentes empregados na realização do teste (Figura 4b). A determinação foi realizada pela média do diâmetro de espalhamento de uma amostra tronco cônica de argamassa fresca colocada sobre uma mesa e submetida a quedas sucessivas. As respostas deste ensaio foram conclusivas para a comparação dos resultados entre os diferentes preparos argamassados, uma vez que a plasticidade final é um dos objetivos do estudo.

Figura 4 – Ensaio de índice de consistência (a) e componentes utilizados na realização do ensaio (b).

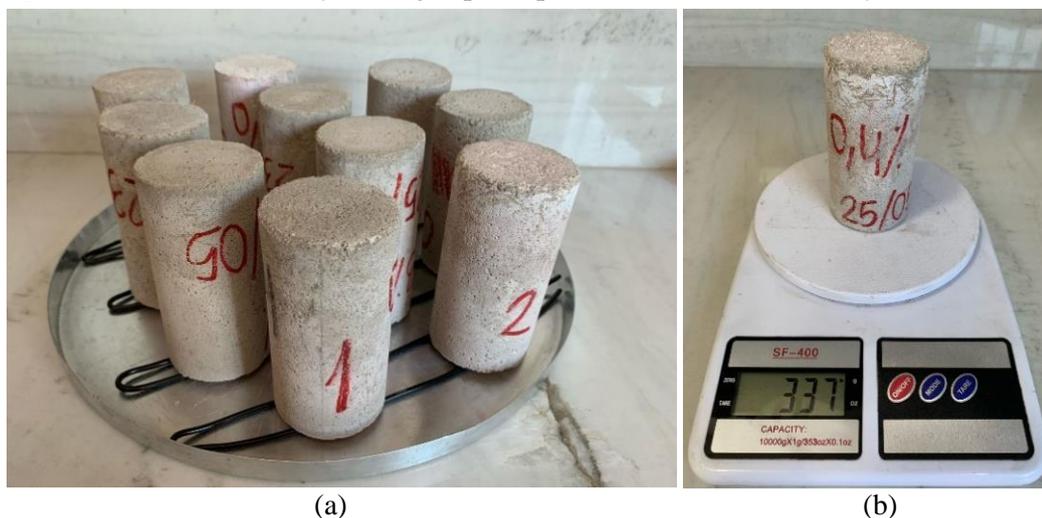


Fonte: Próprio Autor (2023).

3.2.4 Absorção de água total e por capilaridade

O teste de absorção de água por imersão total foi realizado de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2005). Inicialmente, foi determinada a massa de dois corpos de prova logo após a desmoldagem. Em seguida, após 21 dias, os corpos de prova foram retirados da imersão, secos superficialmente e pesados para obtenção de sua massa saturada. Ao final, os dados da massa em diferentes dias foram tabelados e calculados os valores totais de absorção. O ensaio de absorção de água por capilaridade (Figura 5a), foi realizado para determinar a absorção de água através da ascensão capilar da argamassa endurecida dos corpos de provas de acordo com as recomendações da NBR 15259 (ABNT, 2005). Inicialmente, foi determinada a massa de dois corpos de prova logo após a desmoldagem. Em seguida, os corpos de prova foram submetidos ao teste de absorção por capilaridade em diferentes intervalos de tempo (0, 3, 6, 24, 48 e 72 horas), com posterior pesagem para calcular a absorção de água por capilaridade (Figura 5b). Ao final, os dados da massa em diferentes intervalos de tempo foram tabelados e calculados os valores finais de absorção de água por capilaridade.

Figura 5 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (a) e a determinação da massa (b).



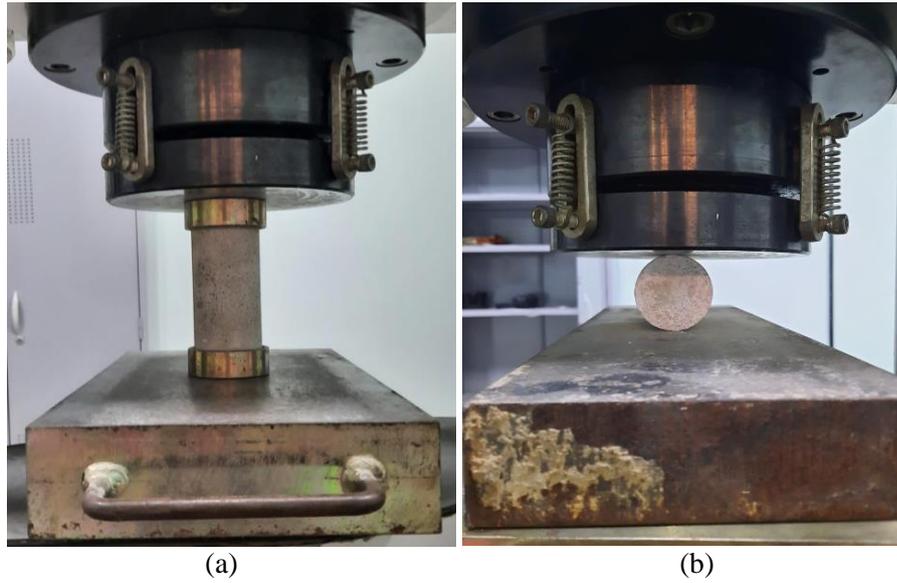
Fonte: Próprio Autor (2023).

Após a realização dos ensaios de absorção de água total e por capilaridade, os resultados foram interpretados utilizando a análise de variância ANOVA. A análise de variância foi realizada utilizando o *software* OriginPro 2022, pelo método comparativo das médias das repetições de cada corpo de prova pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.2.5 Propriedades mecânicas da argamassa

As propriedades mecânicas das argamassas foram obtidas por meio dos ensaios de resistência à compressão (Figura 6a), realizados conforme especifica a NBR 5739 (ABNT, 2018), e ensaio de resistência à tração por compressão diametral (Figura 6b), que obedece a NBR 7222 (ABNT, 2011). Em seguida, os resultados dos ensaios mecânicos foram interpretados utilizando a análise de variância ANOVA. A análise de variância foi realizada utilizando o *software* OriginPro 2022, pelo método comparativo das médias das repetições de cada corpo de prova pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 6 – Ensaio de resistência à compressão (a) e ensaio resistência à tração (b).

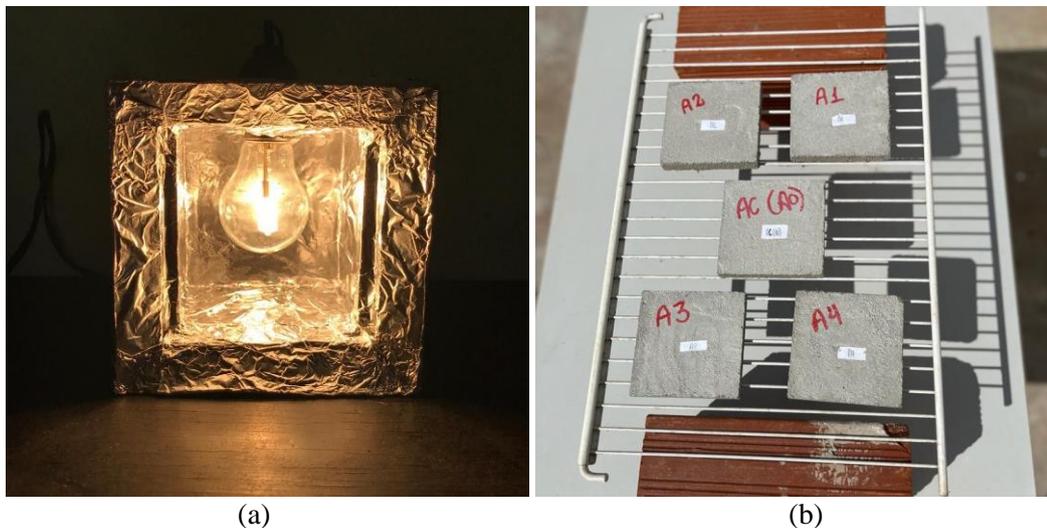


Fonte: Próprio Autor (2023).

3.2.6 Propriedades térmicas da argamassa

As propriedades térmicas da argamassa foram obtidas por meio dos ensaios de exposição direta ao calor em ambiente controlado (Figura 7a) e o ensaio de exposição direta ao calor em ambiente externo (Figura 7b). Para a realização do primeiro ensaio térmico, as placas confeccionadas foram colocadas dentro de uma caixa hermeticamente fechada e expostas ao calor provocado por uma lâmpada incandescente. As placas permaneceram na caixa por um tempo pré-determinado de 30 minutos e suas temperaturas foram medidas e analisadas posteriormente. No segundo ensaio, as placas de argamassa foram colocadas em uma superfície externa e foi realizada a medição das temperaturas das placas em tempos sequenciais de 0, 20, 40 e 60 minutos, respectivamente. Após a conclusão dos ensaios, os resultados foram tabelados e os valores finais da variação de temperatura foram calculados.

Figura 7 – Ensaio de exposição direta ao calor em ambiente controlado (a) e ensaio resistência de exposição direta ao calor em ambiente externo (b).



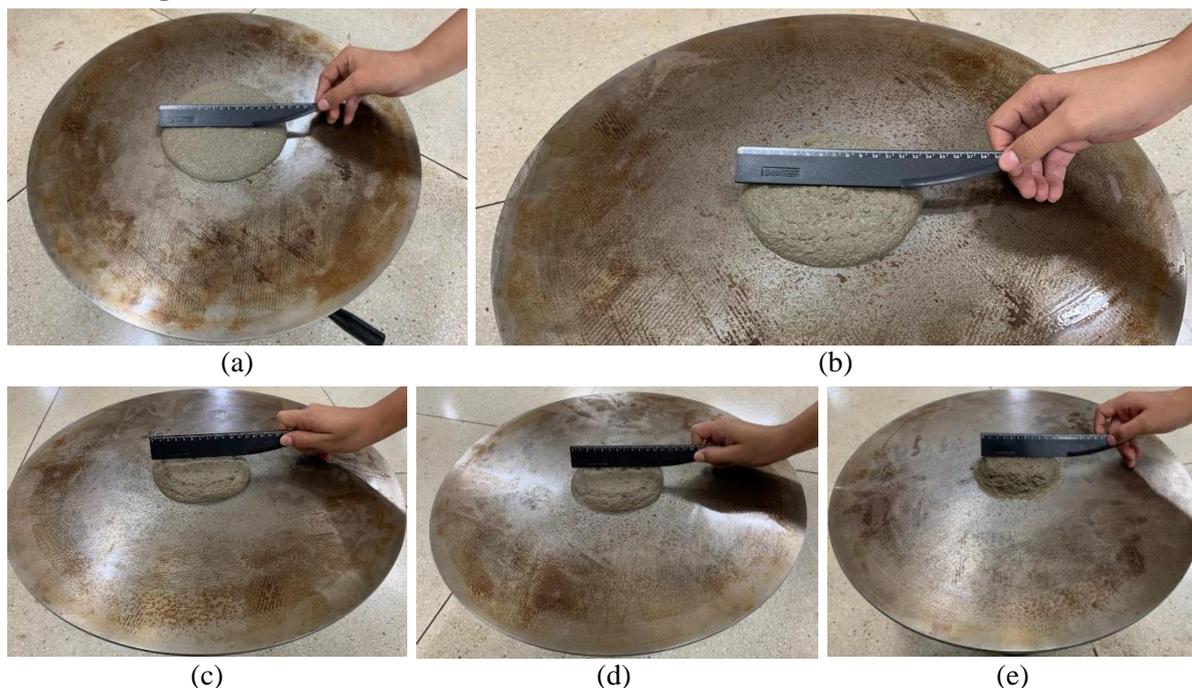
Fonte: Próprio Autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Consistência da argamassa

A Figura 8 apresenta a configuração final das argamassas após o ensaio de consistência realizado em mesa vibradora, conforme estabelece a NBR 13276 (ABNT, 2005). Por sua vez, os dados obtidos para consistência das argamassas, acrescida com diferentes teores de fibras nas proporções anteriormente citadas, são apresentados na Tabela 9.

Figura 8 – Ensaio de consistência. AC (a). A01 (b). A02 (c). A03 (d). A04 (e).



Fonte: Próprio Autor (2023).

Tabela 9 – Consistência das argamassas.

Traço	Espalhamento (mm)
AC	172
A01	152
A02	146
A03	144
A04	138

Fonte: Próprio Autor (2023).

As argamassas analisadas apresentaram uma consistência moderada, evidenciando maleabilidade equilibrada. Embora não alcancem o nível máximo de plasticidade (265 ± 30 mm), ainda exibem propriedades notáveis de conformação. Essa característica as torna especialmente adequadas para aplicações em revestimentos, proporcionando um equilíbrio entre a capacidade de moldagem e a estabilidade estrutural. Além disso, os resultados apresentados revelaram uma relação inversa entre a adição de fibras e o diâmetro resultante da queda durante o ensaio de mesa de consistência. Isso significa que à medida que a proporção de fibras aumenta, o diâmetro de espalhamento na superfície da mesa se torna menor. De acordo com Dias *et al.* (2021), essa característica pode ser explicada pelo aumento da área superficial de molhagem resultante da incorporação de fibras. Outro fator que sustenta esse

comportamento, conforme destacado por Savastano Júnior e Agopyan (1999), está relacionado à absorção de água natural pelo material. Santos, Fontes e Lima (2017), também abordaram em seu estudo que a adição de fibras curtas em matrizes cimentícias tradicionais pode reduzir a trabalhabilidade da mistura, tornando a homogeneização mais desafiadora e aumentando a porosidade da matriz. Mesmo com a introdução de quantidades reduzidas de fibras na matriz, a redução da trabalhabilidade pode impactar significativamente a resistência mecânica do material. Portanto, a obtenção de matrizes de alto desempenho reforçadas com fibras pode ser possível mediante modificações, como a utilização de aditivos químicos, a incorporação de adições minerais e o uso de agregados finos adequados para garantir a homogeneização das fibras na matriz. No entanto, conforme Mehta e Monteiro (2014) discutem, essa característica não necessariamente reflete a trabalhabilidade da mistura, pois os processos de moldagem e adensamento podem continuar dentro de parâmetros aceitáveis, permanecendo satisfatórios.

4.2 Absorção de água

4.2.1 Absorção de água total

Os valores de absorção de água total das argamassas são apresentados na Tabela 10. Para a obtenção dos resultados, foi utilizado a média aritmética dos valores de absorção de dez corpos de prova para cada traço analisado.

Tabela 10 – Resultados da absorção de água total das argamassas.

Traço	Absorção de água total (%)
AC	2,89 ± 0,30
A01	2,16 ± 0,09
A02	2,09 ± 0,06
A03	2,01 ± 0,18
A04	1,85 ± 0,09

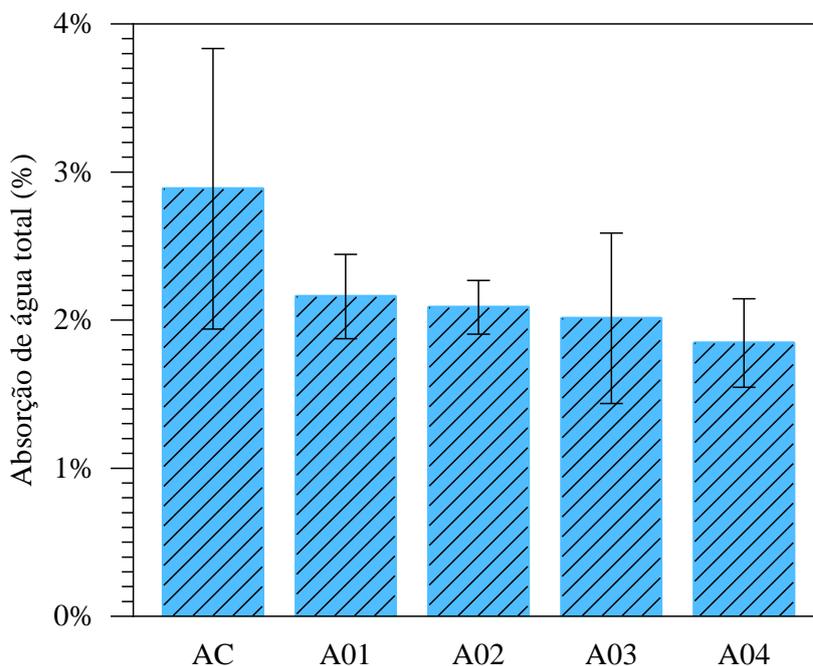
Fonte: Próprio Autor (2023).

Com base nos dados analisados, observa-se que a absorção de água é significativamente mais alta no traço de referência, no qual não foram adicionadas fibras. Além disso, nota-se uma redução na taxa de absorção de água à medida que a quantidade de fibras de sisal na matriz aumenta. Esse comportamento, de acordo com Ferreira *et al.* (2012), pode ser explicado pelo fortalecimento da estrutura polimérica das fibras de sisal durante o processo de tratamento. O Gráfico 2 mostra os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água total para os diferentes traços argamassados. Através de sua análise é possível avaliar o comportamento dos corpos de prova durante o processo de cura.

A literatura conta com vários estudos que corroboram esses resultados. Venkatesh, Ramanathan e Raman (2016), conduziram um estudo sobre a absorção de água em fibras naturais, tratando fibras de bambu e sisal com uma solução de NaOH a 10% em temperatura ambiente por 24 horas. Eles registraram taxas de absorção de água de 19,6% para fibras não tratadas e 9,1% para fibras tratadas. Gupta e Srivastava (2016), também relataram que o tratamento com NaOH a 5% de fibras de sisal e juta, seguido de secagem em forno a 70°C, resultou na menor taxa de absorção de água em compósitos de fibras híbridas, com 1,58%, em comparação com compósitos de fibras híbridas não tratadas, que variaram de 2,79% a 6,09%. As ações químicas que ocorrem durante o processo de tratamento da fibra fazem com que haja um aumento da adesão entre as superfícies das fibras e a matriz, além de reduzir a absorção de água das fibras. Portanto, o tratamento químico pode ser considerado para modificar as

propriedades das fibras naturais contribuindo para uma menor absorção de água nos compósitos cimentícios reforçados (LI; TABIL; PANIGRAHI, 2007).

Gráfico 2 – Absorção de água total das argamassas.



Fonte: Próprio Autor (2023).

4.2.2 Absorção de água por capilaridade

Os valores de absorção de água por capilaridade das argamassas são apresentados na Tabela 11. Para a obtenção dos resultados, foi utilizado a média aritmética dos valores da absorção de dois corpos de prova para cada traço analisado.

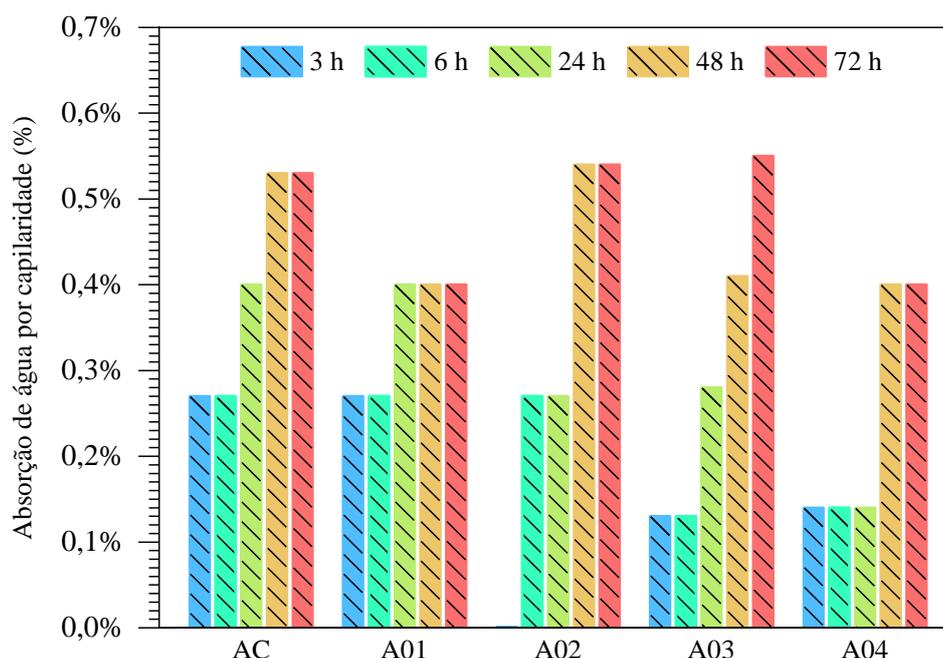
Tabela 11 – Resultados da absorção de água por capilaridade das argamassas.

Traço	Absorção de água total (%)				
	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h
AC	0,27	0,27	0,40	0,53	0,53
A01	0,27	0,27	0,40	0,40	0,40
A02	0,00	0,27	0,27	0,54	0,54
A03	0,13	0,13	0,28	0,41	0,55
A04	0,14	0,14	0,14	0,40	0,40

Fonte: Próprio Autor (2023).

Os resultados obtidos através do ensaio de absorção de água por capilaridade para os diferentes traços argamassados estão apresentados no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Absorção de água por capilaridade das argamassas.



Fonte: Próprio Autor (2023).

Por meio da análise da Tabela 11 e do Gráfico 3, é possível avaliar o comportamento dos corpos de prova durante os tempos que são estipulados pela NBR 15259 (ABNT, 2005). A partir da análise dos dados obtidos, fica evidente que a argamassa convencional apresentou uma absorção de água maior em comparação com as misturas que continham adição de fibras de sisal. Conforme observado por Dias *et al.* (2021), esse comportamento sugere que a fibra de sisal atuou inicialmente obstruindo os poros permeáveis da mistura, criando uma barreira à absorção de água nos estágios iniciais. Esse padrão, no qual maiores quantidades de fibras resultaram em menores níveis de absorção, com a amostra de referência apresentando o maior índice, está de acordo com as descobertas de Borges, Motta e Pinto (2019), em seus estudos com a aplicação de fibras em concreto, incluindo o sisal. Segundo essas pesquisas, embora a porosidade total do compósito geralmente aumente, isso não necessariamente implica em uma maior permeabilidade. Isso ocorre porque a interconectividade entre os poros da matriz pode ter sido reduzida pela presença das fibras, juntamente com a possível diminuição das microfissuras internas, que é uma característica importante dependendo da aplicação da argamassa. Além disso, conforme destacado por Borges, Motta e Pinto (2019), a inclusão de fibras vegetais pode reduzir a interconexão entre os poros dos compósitos, inclusive nas microfissuras na matriz, o que resulta na diminuição da altura da ascensão capilar.

4.3 Propriedades mecânicas da argamassa

4.3.1 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência mecânica foram realizados após os corpos de prova terem atingido a idade de 28 dias, conforme estabelece a NBR 5738 (ABNT, 2015). A Tabela 12 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão. Neste ensaio foi utilizado a média aritmética dos valores das resistências obtidas para quatro corpos de prova em cada traço.

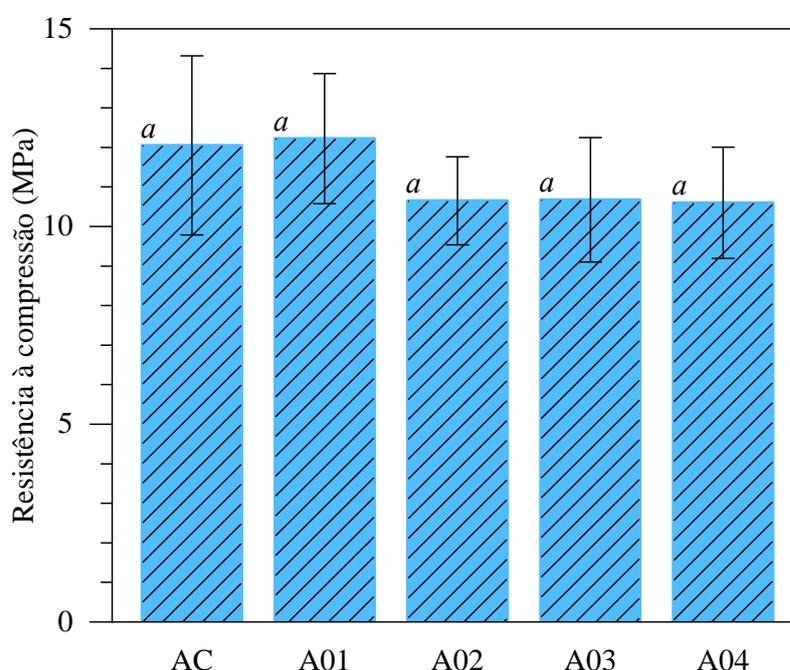
Tabela 12 – Resultados da resistência à compressão das argamassas.

Traço	Resistência à compressão (MPa)
AC	12,1 ± 1,13
A01	12,2 ± 0,82
A02	10,7 ± 0,56
A03	10,7 ± 0,79
A04	10,6 ± 0,70

Fonte: Próprio Autor (2023).

O Gráfico 4 mostra os resultados obtidos para o ensaio de resistência à compressão. Neste ensaio os corpos de prova foram rompidos verticalmente e analisados pela variância ANOVA do *software* OriginPro.

Gráfico 4 – Resistência à compressão das argamassas.



Fonte: Próprio Autor (2023).

Conforme apresentado na Tabela 12 e no Gráfico 4, observa-se que os corpos de prova com adição de fibras de sisal apresentaram uma redução na resistência à compressão em comparação com a mistura de referência. Entretanto, a inclusão de 0,1% de fibras resultou em um aumento na resistência à compressão, mas esse ganho não é significativo, como indicado pela insignificância do desvio padrão. A variação observada não é estatisticamente relevante, sugerindo que a diferença na resistência à compressão pode ser considerada dentro dos limites da aleatoriedade ou da variabilidade experimental. De acordo com Ferreira *et al.* (2012), a redução da resistência à compressão pode ser atribuída ao comprometimento do adensamento decorrente do aumento da fração de fibras na mistura. Além disso, a propriedade de absorção oferecida pelas fibras de sisal agrava esse efeito. Conforme constatado por Savastano Júnior e Agopyan (1999), em relação a algumas fibras vegetais, essa característica pode resultar no acúmulo de água na zona de transição entre a fibra e a matriz de cimento. Consequentemente, isso leva a uma maior porosidade na região quando o material está no estado endurecido, criando pontos de fragilidade suscetíveis a rompimento sob carga. Santos, Fontes e Lima (2017), abordaram que a inclusão de fibras curtas distribuídas aleatoriamente nas matrizes à

base de cimento frequentemente resulta em uma redução da resistência à compressão. Além disso, essas fibras reduzem a trabalhabilidade do material no estado fresco e durante os processos de mistura e lançamento. Como resultado, a matriz do compósito apresenta maior porosidade em comparação com a matriz misturada sem as fibras, o que, por sua vez, leva a uma menor resistência mecânica. Além das razões mencionadas anteriormente, Dias *et al.* (2021), destacaram outro fator que pode explicar esse comportamento, a aglomeração de fibras entre si, gerando bolsões no interior das amostras (enovelamento de fibras). Isso cria áreas frágeis que concentram tensões, tornando a ruptura mais provável.

4.3.2 Resistência à tração por compressão diametral

A Tabela 13 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral. Neste ensaio foi utilizado a média dos valores da resistência obtidos para quatro corpos de prova em cada traço analisado.

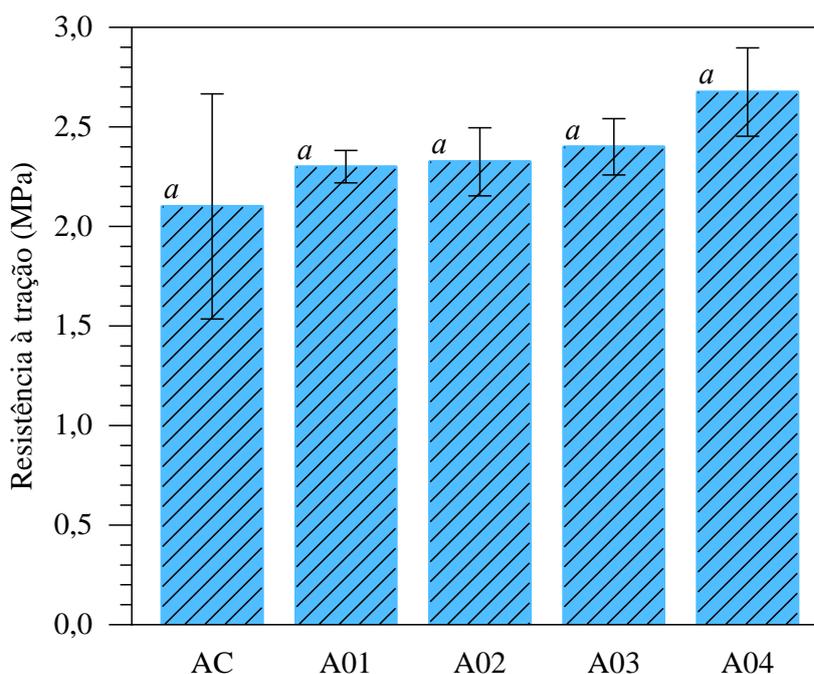
Tabela 13 – Resultados da resistência à tração por compressão diametral das argamassas.

Traço	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)
AC	2,1 ± 0,28
A01	2,3 ± 0,04
A02	2,3 ± 0,09
A03	2,4 ± 0,07
A04	2,7 ± 0,11

Fonte: Próprio Autor (2023).

O Gráfico 5 mostra os resultados obtidos para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Neste ensaio os corpos de prova foram rompidos por compressão diametral e analisados pela variância ANOVA do *software* OriginPro.

Gráfico 5 – Resistência à tração por compressão diametral das argamassas.



Fonte: Próprio Autor (2023).

Conforme apresentado na Tabela 13 e no Gráfico 5, observa-se que os corpos de prova com adição de fibras de sisal apresentaram um aumento significativo na resistência à tração em comparação com a mistura de referência. Essa influência notável na resistência à tração pode ser atribuída às características geométricas e à textura superficial proporcionadas pelas fibras de sisal. Conforme mencionado por Monteiro *et al.* (2006), a rugosidade inerente aos compostos fibrosos pode contribuir para uma melhor adesão entre as fibras e a matriz. Quando submetido a esforços de tração ou flexão, a fibra atua como uma espécie de ponte entre as microfissuras iniciais, distribuindo as tensões ao longo da peça e reforçando-a após a formação de fissuras. A formação de fissuras em um corpo de prova sob carga impede a distribuição uniforme dos esforços gerados, resultando na concentração das tensões, especialmente nas extremidades das fissuras. Esse processo continua até que a intensidade das tensões atinja um nível que leve à ruptura da estrutura. Esse comportamento de múltiplas fissuras também foi corroborado nos estudos de Silva, Mobasher e Toledo Filho (2009), que, ao adotar uma abordagem microestrutural, observaram que as fibras de sisal conseguiram acomodar as tensões dentro da região de resposta elástica do compósito. Isso inibiu o surgimento de fissuras iniciais e possibilitou a redistribuição das tensões absorvidas, resultando na formação de várias linhas de ruptura.

4.4 Propriedades térmicas da argamassa

As propriedades térmicas foram obtidas por meio de dois ensaios. O primeiro pautou-se na exposição direta das placas de argamassa ao calor em ambiente controlado. Neste ensaio as placas de argamassa foram colocadas em uma caixa de madeira provida de uma lâmpada incandescente. Mediu-se a temperatura das placas antes e depois do ensaio. A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 14 – Resultados da exposição direta das placas de argamassa em ambiente controlado.

Traço	Varição da temperatura (°C)*
AC	63,0
A01	65,0
A02	68,5
A03	74,5
A04	80,0

* Temperatura referente ao lado da placa em contato direto com a lâmpada.

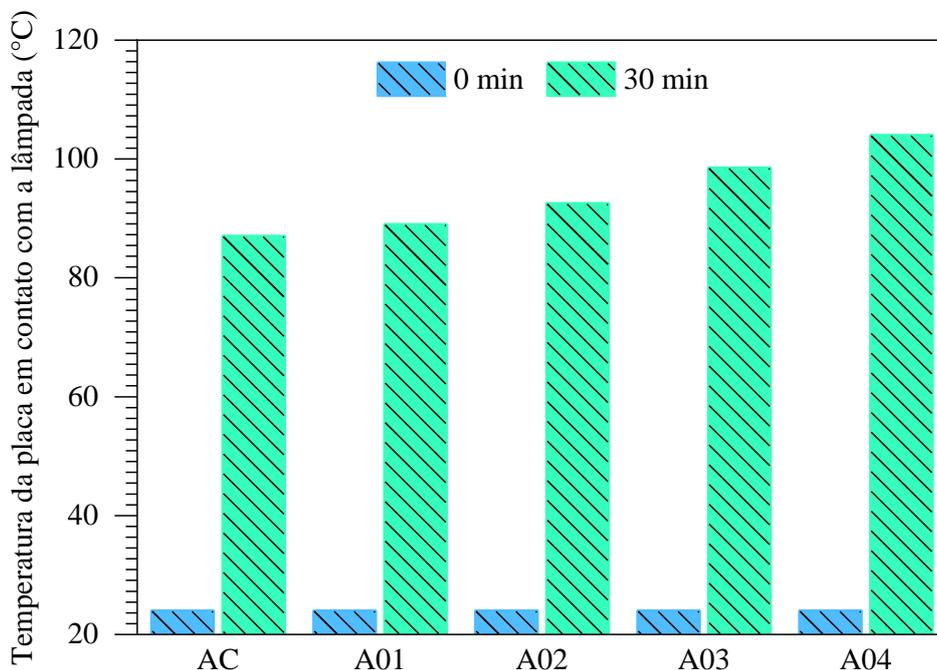
Fonte: Próprio Autor (2023).

O Gráfico 6 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de exposição direta das placas de argamassa ao calor em ambiente controlado.

Neste experimento, observou-se um aumento na temperatura das placas à medida que a quantidade de fibras foi incrementada. Essa elevação pode ser atribuída ao tratamento ao qual as fibras foram submetidas. As fibras de sisal são compostas principalmente de celulose, hemicelulose e lignina. A celulose é o principal componente e possui boas propriedades de isolamento térmico. No entanto, a hemicelulose e a lignina apresentam diferentes propriedades térmicas, o que pode afetar a absorção de calor da fibra de sisal. O tratamento das fibras de sisal, como o tratamento alcalino com hidróxido de sódio (NaOH) ao qual as amostras foram submetidas, pode alterar a composição química das fibras, removendo parte das substâncias não desejadas. Conforme destacado por Bismarck *et al.* (2001), atualmente não existem normas ou procedimentos padronizados para a realização de tratamentos superficiais em fibras vegetais. Portanto, há espaço para melhorias nos processos de modificação superficial. A falta de

pesquisas substanciais sobre o assunto na literatura pode ser atribuída à ausência desses procedimentos padronizados.

Gráfico 6 – Temperatura das placas de argamassa em ambiente controlado.



Fonte: Próprio Autor (2023).

O segundo ensaio pautou-se na exposição direta das placas de argamassa ao calor em ambiente externo. A Tabela 15 apresenta os resultados do ensaio de exposição direta das placas de argamassa em ambiente externo.

Tabela 15 – Resultados da exposição direta das placas de argamassa em ambiente externo.

Traço	Varição da temperatura (°C)*
AC	16,25
A01	17,0
A02	17,25
A03	17,75
A04	18,0

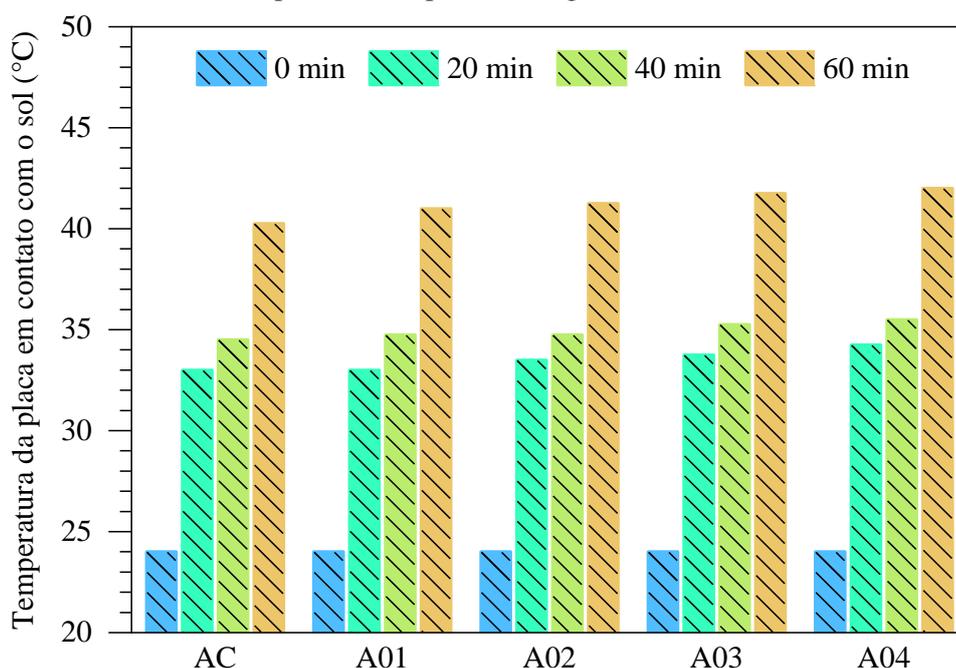
* Temperatura referente ao lado da placa em contato direto com a luz do sol.

Fonte: Próprio Autor (2023).

O Gráfico 7 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de exposição direta das placas de argamassa ao calor em ambiente externo.

Neste experimento, observa-se que, à medida que a quantidade de fibras aumentou, houve um leve acréscimo na temperatura das placas. Como já observado no ensaio em ambiente controlado, essa elevação na temperatura pode ser atribuída principalmente ao tratamento das fibras de sisal, que altera a composição química das fibras, afetando a absorção de calor pelas placas de argamassa reforçada. No entanto, é importante enfatizar que o aumento de temperatura resultante da incorporação das fibras de sisal foi de baixa magnitude e, portanto, não necessariamente constitui uma desvantagem em termos de aplicação, uma vez que a capacidade de um revestimento de absorver mais calor pode ser uma característica desejável em certos contextos.

Gráfico 7 – Temperatura das placas de argamassa em ambiente externo.



Fonte: Próprio Autor (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo indica que a adição de fibras naturais de sisal em argamassa de revestimento de alvenaria é eficiente quando utilizada corretamente. Os resultados do ensaio de consistência revelaram uma relação inversa entre a adição de fibras e o diâmetro resultante da queda no ensaio de mesa de consistência. O traço de referência (AC) apresentou um espalhamento médio de 172 mm, enquanto o traço com 0,4% de fibras (A04) exibiu um diâmetro médio de 138 mm, resultando em uma redução de 34 mm na área superficial devido ao aumento da área de molhagem pela incorporação de fibras. Os ensaios de absorção de água total e por capilaridade indicaram que a adição de fibras de sisal reduz a absorção de água. Corpos de prova com 0,4% de fibras (A04) mostraram uma diminuição de 1,04% na absorção total de água em comparação com o traço de referência (AC). No ensaio de absorção de água por capilaridade, essa redução foi de 0,13% após 72 horas, indicando que as fibras atuaram como barreira inicial para a entrada de água, contribuindo para uma menor taxa de absorção e, conseqüentemente, uma maior resistência à penetração de umidade na matriz.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão indicaram uma diminuição na resistência das argamassas com fibras de sisal em comparação com a mistura de referência. A redução foi de 1,4% para os traços A02 e A03 e 1,5% para o traço A04 em relação ao traço de referência (AC). No entanto, o traço A01 teve um leve aumento de 0,1%, o qual não é significativo, conforme evidenciado pela insignificância do desvio padrão, dentro da variabilidade experimental. Essa diminuição pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo o comprometimento do adensamento devido ao aumento da fração de fibras e a propriedade de absorção de água das fibras de sisal, que pode criar áreas porosas no material endurecido. Os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral revelaram um aumento significativo na resistência à tração com a adição de fibras de sisal, os valores foram de 2,1% (AC), 2,3% (A01), 2,3% (A02), 2,4% (A03) e 2,7% (A04). Essa melhoria é atribuída às características geométricas e à textura superficial das fibras, que contribuem para uma melhor adesão entre fibras e matriz. Durante esforços de tração ou flexão, as fibras atuaram como pontes, distribuindo as tensões ao longo da peça e reforçando-a após a formação de fissuras.

Quanto às propriedades térmicas, o ensaio de exposição direta das placas de argamassa ao calor em ambiente controlado revelou um aumento na temperatura conforme a quantidade de fibras de sisal foi aumentada, sendo essa elevação atribuída ao tratamento químico ao qual as fibras foram submetidas. Os traços analisados apresentaram um aumento na variação de temperatura de 2,0 °C (A01), 5,5 °C (A02), 11,5 °C (A03) e 17 °C (A04) em relação ao traço de referência (AC). As fibras de sisal, são compostas principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, possuem propriedades térmicas distintas que podem influenciar na absorção de calor. O tratamento alcalino das fibras pode alterar sua composição química, eliminando substâncias indesejadas. A falta de normas ou procedimentos padronizados para o tratamento de fibras vegetais contribui para a escassez de pesquisas substanciais sobre o assunto na literatura. Os resultados do ensaio de exposição direta das placas de argamassa ao calor em ambiente externo indicaram que a adição de fibras de sisal influenciou a temperatura das placas de argamassa reforçada, resultando em um leve aumento. Os traços analisados mostraram um aumento na variação de temperatura de 0,75 °C (A01), 1,0 °C (A02), 1,5 °C (A03) e 1,75 °C (A04) em relação ao traço de referência (AC). Esse aumento, causado pelo tratamento das fibras, não deve ser considerado prejudicial para aplicações específicas, pelo contrário, a capacidade do revestimento de absorver mais calor pode ser vantajosa em determinados cenários.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 5738:** Concreto – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2015.

_____**ABNT NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____**ABNT NBR 7222:** Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____**ABNT NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios em massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____**ABNT NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência, Rio de Janeiro, 2005.

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

_____**ABNT NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

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

ARARUNA, J. C. M.; COSTA, M. R.; BATISTA, M. P.; AQUINO FILHO, G. C.; LAVOR NETO, F. L. **Reaproveitamento de fibra de coco como alternativa de adição ecológica para o melhoramento de propriedades mecânicas em argamassas.** *In:* CINPAR 2021: XVII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Fortaleza, 2021.

BELTRAMI, L. V. R.; SCIENZA L.; ZATTERA, A. J. Efeito do tratamento alcalino de fibras de curauá sobre as propriedades de compósitos de matriz biodegradável. **Revista Polímeros**, v. 24, n. 3, p. 388-394, 2014.

BISMARCK, A.; MOHANTY, A. K.; ASKARGORTA, I. A.; CZAPLA, S.; MISRA, M.; HINRICHSEN, G.; SPRINGER, J. Surface characterization of natural fibers; surface properties and the water up-take behavior of modified sisal and coir fibers, **Green Chemistry**, vol. 3, p. 100-107, 2001.

BORGES, A. P. S. N.; MOTTA, L. A. C.; PINTO, E. B. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. **Revista Matéria**, v. 24, n. 2, 2019.

CAMPOS, A.; TEODORO, K. B. R.; MARCONCINI J. M.; MATTOSO, L. H. C.; MARTINS-FRANCHETTI S. M. Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico/policaprolactona/sisal. **Revista Polímeros**, v. 21, n. 3, p. 217-222, 2011.

CARASEK, H. Argamassas. *In:* ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, v. 2, p. 893-945, 2010.

DANTAS, C. L. D. E. R. **Tratamento hidrotérmico em fibras de sisal e sua influência no comportamento de compósitos cimentícios**. Feira de Santana, 2019, 89 p. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, 2019.

DIAS, L. S.; BEZERRA, A. V. S.; SANTOS, R. A.; SOUSA A. A.; LIRA NETO, A. B.; LANDIM, A. E. F. G.; BARROZO, G. F.; SILVA, C. J. V. Incorporação de resíduos da produção de fibras de sisal em argamassa: Efeitos nas propriedades físicas e mecânicas. **Revista Matéria**, v. 26 n. 3, 2021.

FERRARI, V. J. **Reforço à flexão de vigas de concreto armado com manta de polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC) aderido à substrato de transição constituído por compósito cimentício de alto desempenho**. São Carlos, 2007, 328 p. Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

FERREIRA, B. D. **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. Belo Horizonte, 2010, 210 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

FERREIRA, S. R.; SILVA, F. A.; LIMA; P. R. L.; TOLEDO FILHO, R. D. Influência de ciclos molhagem-secagem em fibras de sisal sobre a aderência com matrizes de cimento Portland. **Revista Matéria**, v. 17, p. 1024-1034, 2012.

FERREIRA, S. R.; SILVA, F. A.; LIMA; P. R. L.; TOLEDO FILHO, R. D. Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems. **Construction and Building Materials**, v. 139, p. 551-561, 2017.

FONSECA R. P. **Influência de diferentes tipos de fibras vegetais amazônicas no desempenho de uma argamassa a base de cimento Portland e Metacaulim**. Florianópolis, 2021, 177 p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2021.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R. D. Desenvolvimento de materiais de construção de baixo custo de energia usando fibras naturais, terra e bambu. **Revista Engenharia Agrícola**, Editora Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v.1, n.1, p.1-19, 1992.

GONZAGA, F. M. **Estudo da influência do tratamento alcalino/mecânico nas propriedades mecânicas de compósitos de fibras curtas de sisal/epóxi**. Rio de Janeiro, 2014, 65 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Materiais da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GUPTA, M. K.; SRIVASTAVA, R. K. Mechanical, thermal, and water absorption properties of hybrid wood composites. **Indian Journal of Engineering & Materials Sciences**, v. 23, p. 231-238, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na Arquitetura. **Eletrobras/Procel**, 3ed, 2014.

LI, X.; TABIL, L. G.; PANIGRAHI, S. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 15, p. 25-33, 2007.

LIBERA JUNIOR, V. D. **Laminados de fibra de Curauá/ Epóxi obtidos a partir de pré-impregnados**. Distrito Federal, 2019, 108 p. Dissertação de Mestrado em Integridade de Materiais da Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Integridade de Materiais da Engenharia, Faculdade Gama / Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

MARTIN, A. R.; MARTINS, M. A.; MATTOSO L. H. C.; SILVA, O. R. R. F. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade *Agave sisalana*. **Revista Polímeros**, v. 19, n. 1, p. 40-46, 2009.

MARTINS, D. V. A.; SOARES, L. M. **Avaliação do desempenho de revestimentos de argamassa com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cal**. Goiânia, 2016, 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MENDES, J. U. L.; SILVEIRA F. F.; CAVALCANTI, S. L. L.; OLIVEIRA, L. K. R.; RIBEIRO, F. A.; SOUSA, R. F. **Determinação da difusividade térmica de um compósito natural visando classificá-lo como isolante térmico**. Anais do 20º CBECIMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Joinville, 2012.

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

MWAIKAMBO L. Y.; ANSELL M. P. Chemical modification of hemp, sisal, and kapok fibers by alkalization. **Journal Applied Polymer Science**, v. 84, p. 2222–2234, 2002.

NAVES, I. **Sisal Brasil – Informativo Dezembro 2021**. COSIBRA, 2022. Disponível em: <https://www.cosibra.com.br/blog_ver.php?id=14>. Acesso em: 24 Abr. 2023.

OLIVEIRA, M. B. **Compósito cimentício de alta ductilidade reforçado com fibras**. Maringá, 2016, 103 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2016.

PAULA, C. M. S. S. **Estudo da influência do tratamento químico de fibras de sisal na resistência mecânica de compósitos sisal/epóxi**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECIMAT, v. 12, Águas de Lindóia, 1996.

QUININO, U. C. M. **Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibras**. Porto Alegre, 2015, 243 p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RECENA, F. A. **Conhecendo Argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2015.

RUANO, G.; BELLOMO, F.; LÓPEZ, G.; BERTUZZI, A.; NALLIM, L.; OLLER, S. Mechanical behavior of cementitious composites reinforced with bagasse and hemp fibers. **Construction and Building Materials Journal**, v. 240, n. 117856, 2020.

SANTOS, D. O. J.; FONTES, C. M. A.; LIMA, P. L. R. Uso de agregado miúdo reciclado em matrizes cimentícias para compósitos reforçados com fibras de sisal. **Revista Matéria**, v.22, n.1, 2017.

SANTOS, L. P.; DALL'OGGIO, V. **Análise comparativa entre argamassa estabilizada e argamassa preparada em obra**. Palhoça, 2017, 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V. Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites. **Cement & Concrete Compósitos**, v. 21, p. 49-57, 1999.

SILVA, C. J. **Absorção de água em materiais compósitos de fibra vegetal: Modelagem e Simulação via CFX**. Campina Grande, 2014, 144 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande, 2014.

SILVA, D. A. M. **Análise da eficiência térmica de argamassa com adição de fibra do coco seco**. Angicos, 2019, 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semiárido. Angicos, 2019.

SILVA, E. J.; SILVA, P. D.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR, C. C. M.; GARCIA, F. C.; LUZARDO, F. H. M. Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12 p. 1268-1273, 2014.

SILVA, F. A.; MOBASHER, B.; TOLEDO FILHO, R. D. Cracking mechanisms in durable sisal fiber reinforced cement composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 31, p. 721-730, 2009.

SILVA, J. F. **Propriedades físicas e mecânicas de argamassa reforçada com fibras do bagaço de cana-de-açúcar (FBC)**. Goiânia, 2010, 144 p. Dissertação de Mestrado em Engenharias – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

SOUSA, A. J. C. **Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento em alvenarias**. Portugal, 2010. 113 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010.

VENKATESH, R.; RAMANATHAN, K.; RAMAN, V.S. Tensile, flexural, impact and water absorption properties of natural fibre reinforced polyester hybrid composites. **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, v. 24, p. 90-94, 2016.