



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



LEONARDO DE SOUZA DIAS

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE FIBRAS DE SISAL EM
ARGAMASSA: EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

CAJAZEIRAS, PB
2019

LEONARDO DE SOUZA DIAS

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE FIBRAS DE SISAL EM
ARGAMASSA: EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-
Campus Cajazeiras, como parte dos requisitos
para a obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Me. Cícero Joelson Vieira Silva
Coorientador: Me. Robson Arruda dos Santos

CAJAZEIRAS, PB
2019

Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catálogo na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

D541i

Dias, Leonardo de Souza

Incorporação de resíduos da produção de fibras de sisal em argamassa: efeitos nas propriedades físicas e mecânicas / Leonardo de Souza Dias; orientador Cícero Joelson Vieira Santos; coorientador Robson Arruda dos Santos.- Cajazeiras, 2019.

46 f.: il.

Orientador: Cícero Joelson Vieira Santos.

TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2019.

1 Argamassas 2 Sisal - Fibras 3 Compósitos cimentícios 4 sustentabilidade I. Título.

666.9(0.067)

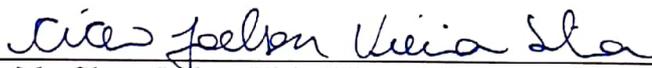
LEONARDO DE SOUZA DIAS

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE FIBRAS DE SISAL EM
ARGAMASSA: EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

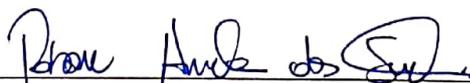
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 11 de 12 de 19.

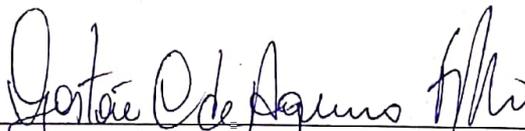
BANCA EXAMINADORA



Me. Cícero Joelson Vieira Silva – IFPB-Campus Cajazeiras
Orientador



Me. Robson Arruda dos Santos – IFPB-Campus Cajazeiras
Coorientador



Me. Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-Campus Cajazeiras
Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família e amigos,
pela dedicação e apoio em todos os momentos
difíceis.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por propiciar possibilidades únicas que muitas das vezes fugiam da minha compressão, mas que no final geravam grandes aprendizados.

Aos meus familiares, em especial a minha mãe Josefa Dias, por todo esforço, dedicação, conselhos e força para que eu pudesse alcançar meus objetivos e sonhos. A minha irmã Leandra Dias, que me proporciona refúgio nas horas difíceis, estando do meu lado sempre.

Aos professores que fizeram parte da minha formação, tanto pessoal quanto acadêmica. Especialmente aos meus orientadores, Cicero Joelson Vieira Silva e Robson Arruda dos Santos, pela confiança depositada não somente para esse trabalho, mas para todos os demais que tive a oportunidade em tê-los como guias nessa jornada acadêmica, me tranquilizando e fazendo enxergar as decisões certas a serem tomadas para enriquecer os estudos.

Aos amigos e colegas do curso Alice, Assis, André, Manu, Bianca, Breno, Geovany, Landim, Alison, Alexandra e aos demais colegas da turma 2015.1. Sem sombra de dúvidas esses laços foram uma das maiores conquistas dos últimos cinco anos, obrigado pelos momentos vividos, os difíceis e os alegres, e acima de tudo por todo o conhecimento e experiência compartilhada. De modo especial agradeço a Alice, Assis, André, Manu (Sagrada Família) e Geovany, uma família formada, com seus altos e baixos, mas que transmitiram muito apoio, segurança e disponibilidade a ajudar sempre que precisei.

À Mel, Ana Paula e Gastão por toda a confiança e pelos os momentos vividos no laboratório, que além de muita experiência apreendida, cruciais na minha formação, proporcionaram conversas que sempre auxiliaram a me acalmar em muitas etapas da rotina acadêmica.

À banca examinadora pelas contribuições ao trabalho apresentado.

Ao IFPB – *Campus* Cajazeiras, pelas condições e estruturas disponibilizadas ao desenvolvimento dessa e de tantas outras pesquisas.

RESUMO

Na indústria da construção civil, buscam-se nos dias atuais medidas mitigadoras dos impactos causados ao meio ambiente. Uma alternativa que vem ganhando espaço nos últimos anos diz respeito à utilização das fibras vegetais, que dentre os seus diversos tipos pode-se destacar as provindas do sisal, que apresentam forte relevância socioeconômica ao semiárido nordestino. Tendo em vista essa importância, o presente estudo teve como objetivo analisar os efeitos nas propriedades físicas e mecânicas que o beneficiamento a partir de resíduos provindos da produção de fibras de sisal promove em argamassa. Trata-se de um estudo experimental e quantitativo, sendo a pesquisa dividida em três etapas: levantamento teórico e conceitual; caracterização da fibra de sisal, agregado e aglomerante; e experimentação destrutiva e não destrutiva do composto cimentício. No que concerne a consistência da argamassa com adição de fibra, pode-se perceber que o filamento acaba atuando como uma rede que retém as partículas de agregados de maior granulometria, segregando assim uma pasta formada basicamente por cimento e água. Com relação a resistência à compressão e módulo de elasticidade, os corpos de prova acrescido de fibras apresentaram uma redução quando comparados com os isentos da mesma, tendo como provável causa uma falha na compactação em decorrência da presença da fibra. Em contrapartida observou-se um ganho de 60% na resistência à tração aos 28 dias quando adicionada a fibra, pois esta atua distribuindo as tensões ao longo da peça, retardando o processo de fissuração e consequentemente o rompimento da estrutura.

Palavras-Chave: Fibras de sisal; Compósitos cimentícios; Resíduos; Sustentabilidade.

ABSTRACT

In the civil construction industry, current alternatives are sought to mitigate the impacts caused to the environment. An alternative that is taking place in recent years concerns the use of plant fibers, which among the various types can highlight the sisal sprouts, which have a strong socioeconomic relevance to the semi-arid Northeast. Given this importance, the present study aimed to analyze the effects on the physical and mechanical properties that the processing from wastes arising from the production of sisal fibers promotes in mortar. This is an experimental and quantitative study, and the research is divided into three stages: Theoretical and conceptual survey; characterization of sisal fiber, aggregate and binder; and destructive and non-destructive experimentation of the cementitious compound. About to the consistency of the mortar with addition of fiber, it can be seen that the filament ends up acting as a lattice that retains the particles of aggregates of greater granulometry, thus segregating a paste formed basically by cement and water. With respect to the compressive strength, the test specimens plus fibers presented a reduction when compared to those exempt of the same, having as probable cause a failure in the compaction due to the presence of the fiber. In contrast, a 60% gain in tensile strength was observed at 28 days when the fiber was added, as it acts by distributing the stress throughout the part, delaying the cracking process and consequently breaking the structure.

Keywords: Sisal fibers; Cementitious composites; Waste; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: a) Modelo do ensaio em flow table; b) Consistência 0,1% de fibras (a/c=0,7); c) Consistência 0,1% de fibras (a/c=0,9); d) Consistência 0,5% de fibras (a/c=0,9).	25
Figura 2: Resultados da resistência média à carga axial.....	26
Figura 3: Resultados da resistência à tração por compressão diametral.	27
Figura 4: Rompimento diametral dos corpos: a) Mistura com 0,0% de fibra; b) Mistura com 0,4% de fibra.....	28
Figura 5: Superfície das fibras após o rompimento do corpo de prova em estado: a) saturado; b) seco.	29
Figura 6: Linha da absorção d'água: a) Mistura com 0,0% de fibra; b) Mistura com 0,1% de fibra; c) Mistura com 0,5% de fibra.....	30
Figura 7: Retenção de água em função do teor de fibras incorporado.	31
Figura 8: Correlação entre a retenção e consistência em função do teor de fibra.	32
Figura 9: Módulo de elasticidade dinâmico em função do teor de fibras incorporado.	33
Figura 10: Correlação entre o módulo de elasticidade e resistência a compressão em função do teor de fibra.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização do agregado e aglomerante.	19
Tabela 2: Caracterização das propriedades física do resíduo da fibra de sisal.	23
Tabela 3: Consistência da argamassa por concentração de Fibra.	24
Tabela 4: Resultados da absorção por capilaridade.	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 MATERIAIS E MÉTODOS	16
2.1 LEVANTAMENTO TEÓRICO E CONCEITUAL.....	16
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	16
2.2.1 Teor de Umidade na Fibra de Sisal.....	17
2.2.2 Absorção de Água.....	17
2.2.3 Massa Específica	18
2.2.4 Caracterização do Agregado e Aglomerante	18
2.3 TESTES FÍSICOS E MECÂNICOS DA ARGAMASSA	19
2.3.1 Dosagem e Preparação de Amostras.....	19
2.3.2 Índice de Consistência	20
2.3.3 Absorção de Água por Capilaridade	20
2.3.4 Resistência à Compressão Axial e a Tração por Compressão Diametral	20
2.3.5 Retenção de Água	21
2.3.6 Modo de Elasticidade Dinâmico por Propagação de Onda Ultrassônica	21
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	22
3 ANÁLISE DOS RESULTADOS	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA	23
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA	24
3.2.1 Consistência.....	24
3.2.2 Resistência mecânica a compressão axial.....	26
3.2.3 Resistência mecânica a tração por compressão diametral	27
3.2.4 Absorção de água por capilaridade	29
3.2.5 Retenção de água	31

3.2.6 Modo de elasticidade dinâmico por propagação de onda ultrassônica	33
4 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	36
APÊNDICE A – RESUMO DOS CÁLCULOS ESTATÍSTICOS	41

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil apresenta-se como agente do desenvolvimento socioeconômico, sendo potencialmente capaz de promover subsídios que elevam o crescimento, tornando-o atraente aos investimentos e viabilizando o fortalecimento de outras estruturas de mercado dependentes, causando assim um efeito multiplicador de renda.

Em contrapartida a tais efeitos de desenvolvimento, estão os impactos negativos ao meio ambiente atrelados ao setor, causados principalmente pelo aumento da demanda por recursos naturais, pela transformação do meio, bem como pela geração de resíduos (PIACENTINI, 2018; LAM et al., 2019). Essa situação traz à indústria da construção civil a necessidade de manter a produtividade capaz de dar continuidade ao desenvolvimento socioeconômico, com práticas menos agressivas ao meio ambiente.

Uma alternativa que vem sendo relevante para o enfrentamento dessa problemática é a utilização de resíduos e subprodutos industriais nos processos construtivos, caracterizando-se como uma ferramenta sustentável que auxilia na redução do consumo de recursos naturais, como também da massa residual de outras esferas produtivas (IZQUIERDO, 2015; LI et al., 2019; BRASILEIRO; MATOS, 2015). Além disso, essa prática pode influenciar diretamente nos valores finais de uma obra, barateando os custos atrelados aos materiais convencionais substituídos por resíduos disponíveis em grande escala e diversidade.

Das diversas alternativas referentes à utilização de resíduos e subprodutos nos processos construtivos, pode-se mencionar o mercado das fibras vegetais. Esse ramo industrial gera resíduos aptos à aplicação em compósitos cimentícios, que quando comparados às demais fibras de origem sintética apresentam propriedades equivalentes ou até mesmo superiores (BORGES et al., 2019; SILVA et al., 2009).

As fibras, sejam de origem vegetal ou sintética, apresentam-se como ferramenta no processo de fortalecimento de compostos cimentícios, agindo na transferência de cargas externas (tração) ao longo deste. Essas estruturas retardam a propagação de fissuras decorrente de solicitações por meio da absorção de energia, atuando como ponte, fazendo-se necessário uma carga superior à aderência entre a matriz e a fibra ou que exceda a resistência interna desta última para que assim exista ruptura (PEREIRA et al., 2015; BRAZ; NASCIMENTO, 2015; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Dentre os diferentes tipos de fibras, tem-se a produzida a partir do sisal (Agave Sisalana, família Agavaceae), espécie originária do México, com boa adaptação ao solo e ao

clima árido (BRASIL, 2016). Essas são extraídas a partir das folhas, representando de 3 a 5% do seu peso. Sua estrutura é composta de fibrilas ou microfibras constituídas basicamente de lignina, hemicelulose e celulose, principais compostos responsáveis pelas propriedades mecânicas e físicas da fibra. No que concerne seus aspectos econômicos, o mercado de fibras duras de sisal tem o Brasil como o maior produtor mundial, sendo os estados da Bahia, Rio Grande do Norte e Paraíba os maiores polos a nível nacional (MELO et al., 2019; MARTIN et al., 2009; PICKERING, et al., 2016).

As fibras de sisal são empregadas em vários setores de produção, em esferas como o artesanato, a indústria têxtil, agrícola, farmacêutica, entre outros. No setor da construção civil, mesmo sendo uma prática antiga, a sua utilização tem se tornado recentemente um objeto de interesse na substituição de fibras sintéticas no processo de reforço em materiais poliméricos, como também em outros compostos 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 (MELO et al., 2019; JOSEPH, et al., 1999).

Alguns estudos evidenciam essas características na utilização de fibras de sisal em compostos construtivos. Ensaio realizado por Tolêdo Filho (1997) mostram um aumento em cerca de 20% na resistência a tração de misturas cimentícias reforçadas com 2% de fibra. Lima et al. (2014) trazem resultados que alcançam um aumento de 24% da resistência à flexão, quando comparado a matriz de referência produzida a base de cimento, valor próximo ao encontrado por Savastano Júnior e Pimentel (2000), que em telhas de fibrocimento de sisal atingiram 15% a mais do padrão sem fibra. Outros autores como Izquierdo (2015), Bonato et al. (2014) e Bello et al. (2019) apresentam também estudos com resultados positivos, principalmente no comportamento mecânico das estruturas enriquecidas com o material fibroso, mais precisamente blocos de concreto, argamassa fotocatalítica e alvenarias, respectivamente.

Mesmo com tamanha aplicabilidade, a efetiva produção de estruturas com fibras de sisal ainda é escassa, esse fato é motivado principalmente, como explica Lima e Tolêdo Filho (2008), pela escassez de avaliações que predigam com precisão o desempenho mecânico de tais peças, para que assim os processos de planejamento e dimensionamento possam ser executados de forma segura e econômica.

Diante dos fatos supracitados, do vasto crescimento da construção civil e dos impactos ambientais vivenciados nos últimos anos, a construção civil ver-se diante da necessidade de

aperfeiçoar os processos construtivos, seja nos procedimentos técnicos ou na crescente utilização de materiais alternativos como ferramenta a viabilizar a redução de custos e/ou potencializar as propriedades inerentes aos seus produtos. Nessa perspectiva o presente estudo se objetiva a analisar os efeitos nas propriedades físicas e mecânicas da incorporação de resíduos provindos da produção de fibras de sisal em argamassa de cimento Portland CP II-Z. No intuito de fomentar a demanda por práticas que possibilitem a comunicação entre a redução dos impactos ambientais provindos do descarte de rejeitos industriais e a utilização de materiais de baixo custo, de alta disponibilidade e capazes de otimizar as características dos compósitos da construção civil.

O presente estudo foi dividido em três partes. Inicialmente contendo uma introdução fundamentada que aborda a formulação do problema, sua justificativa e objetivo, bem como uma breve explanação de alguns estudos científicos que tratam do tema. Posteriormente tem-se o desenvolvimento do trabalho, em que se encontram os procedimentos e normativas utilizados, como também os principais resultados. Por fim, são apresentadas as considerações finais formuladas no desenvolver do projeto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um estudo experimental de natureza aplicada e com uma abordagem quantitativa, estabelecendo de forma sistematizada uma série de procedimentos, que auxiliam no desenvolvimento de informações acerca da utilização do material alternativo estudado, além de sintetizar e analisar esses dados para desenvolver uma explicação mais abrangente do fenômeno em questão (LAKATOS; MARCONI, 2001).

O estudo foi realizado nas instalações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, sendo os procedimentos experimentais desenvolvidos nos laboratórios de Geotecnia e de Materiais de Construção, onde foram produzidos corpos de prova e analisados juntamente com as amostras dos resíduos das fibras de sisal, provenientes da etapa de corte do seu processamento, fornecidas pela empresa COSIBRA localizada no Município de Santa Rita, Paraíba.

Do ponto de vista dos procedimentos práticos a investigação se dividiu em três fases: levantamento teórico e conceitual; caracterização da fibra de sisal, agregado e aglomerante; e experimentação destrutiva e não destrutiva do composto cimentício.

2.1 LEVANTAMENTO TEÓRICO E CONCEITUAL

Na primeira fase do estudo foi realizado o processo de levantamento teórico por meio do Portal de Periódicos da CAPES, sendo criado um banco de dados utilizado como fonte de informações teóricas e fomento às atividades da pesquisa. Permitindo que estudos da literatura científica fossem sumarizados e conclusões estabelecidas, com a finalidade de formular explicações mais abrangentes do fenômeno observado a partir de diferentes abordagens metodológicas.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais a serem caracterizados foram selecionados segundo sua disponibilidade regional e uso recorrente nas obras locais, bem como pelo seu fornecimento por parte de empresas do ramo, no caso da fibra de sisal como anteriormente mencionado. De posse

desses, os mesmos foram caracterizados por ensaios realizados em laboratório ou por meio de dados fornecidos por seus fabricantes.

2.2.1 Teor de Umidade na Fibra de Sisal

Como uma das características físicas do sisal, o teor de umidade foi determinado fazendo-se inicialmente o corte manual das fibras, para sua regularização, em um comprimento de 30 mm organizando-as em cinco amostras, em que foram levadas à estufa por um período de 24 horas ou até massa constante, a uma temperatura de 60°C. Logo após o processo de secagem as fibras tiveram suas massas determinadas em uma balança analítica de precisão, obtendo-se a massa seca (M_s). Posteriormente os recipientes foram expostos ao ar, sendo esta a massa seca ao ar (M_{sa}). O cálculo do teor de umidade (U_m) das fibras foi realizado com base na NBR 7190 (ABNT, 1997) a partir da Equação 1.

$$U_m = \frac{M_{sa} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2 Absorção de Água

A absorção de água das fibras (A) se deu inicialmente com o corte manual das mesmas em um comprimento de 30 mm, sendo essas dispostas na estufa por um período de 24 horas ou até massa constante, a uma temperatura de 60°C, obtendo-se a massa seca (M_s). Posteriormente um total de cinco amostras foram mergulhadas em água (20°C \pm 2), determinando-se a massa úmida ao longo do tempo (M_{ht}), com base na NBR 10024 (ABNT, 2012), observada em intervalos de 5, 30, 60 e 120 minutos e a cada 24 horas até o sexto dia, sendo o resultado para cada instante, encontrado através da Equação 2.

$$A = \frac{M_{ht} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

2.2.3 Massa Específica

A massa específica real (ρ_{real}) e aparente ($\rho_{aparente}$) foram determinadas através da adaptação dos ensaios da NBR 7190 (ABNT,1997). Inicialmente fez-se o corte manual de cinco amostras da fibra em dimensões de 30 mm, as quais foram separadas, rotuladas e submersas em água por um período de 24 horas. Uma vez decorrido esse intervalo de tempo e já com os poros saturados, os recipientes foram expostos ao ar e posteriormente pesados, sendo encontrada a massa saturada seca ao ar (M_{sat}). Logo após, as amostras foram colocadas em uma proveta com o volume inicial (V_i) de água presente no recipiente previamente registrado e sequencialmente realizou-se a leitura do volume final (V_f), correspondente a elevação da coluna de água dada pela inclusão da fibra no tubo. Em seguida secou-se o material em estufa por 24 horas ou até massa constante, a fim de obter a massa seca (M_s). O cálculo dos parâmetros se deu por meio das Equações 3 e 4.

$$\rho_{real} = \frac{M_s}{(V_f - V_i) - \left[\frac{M_{sat} - M_s}{\rho_{água}} \right] M_s} \quad (3)$$

$$\rho_{aparente} = \frac{M_s}{(V_f - V_i)} \quad (4)$$

2.2.4 Caracterização do Agregado e Aglomerante

No que diz respeito à caracterização dos agregados, realizou-se o ensaio para determinação da sua composição granulométrica de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), como também a sua massa específica real em conformidade à ME 194 (DNER, 1998). Com relação ao aglomerante utilizou-se o cimento Portland do tipo CP II-Z 32, sendo suas características fornecidas pelo fabricante, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização do agregado e aglomerante.

Parâmetros	Resultados	
	Agregado	Aglomerante
Massa específica (g/cm ³)	2,59	3,02
Diâmetro máximo característico (mm)	4,80	-
Módulo de finura	1,90	-

Fonte: Autor, 2019.

Vale salientar que os ensaios seguiram os critérios mínimos de reprodução e os intervalos de aceitação dos resultados, procedendo-se com a repetição desses em caso de inconformidades com suas respectivas normativas.

2.3 TESTES FÍSICOS E MECÂNICOS DA ARGAMASSA

2.3.1 Dosagem e Preparação de Amostras

Os corpos de prova foram moldados e curados de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2019) e a NBR 5738 (ABNT, 2015), respectivamente. Moldes cilíndricos foram utilizados (50mm de diâmetro e 100 mm de altura). Já a cura se deu por imersão realizada em tanque d'água, local em que ficaram submersos das 24 horas após a moldagem até a realização dos seus ensaios específicos.

A dosagem empregada no estudo tomou como base o Caderno Técnico do Grupo Contrapiso (SINAPI, 2016), fazendo uso da relação 1:3 (Aglomerante: Agregado) que segundo este apresenta opção de preparo manual ou mecânico, além de ser um traço recorrente no mercado. A quantidade de água incorporada na mistura foi determinada executando-se traços isentos de fibra e com diferentes relações água-cimento com a finalidade de se obter uma consistência adequada a sua aplicação, seguindo as orientações da NBR 13276 (ABNT, 2016), obtendo-se o fator a/c (água/cimento) de 0,70.

No que se refere à porcentagem de resíduos de fibras, foram utilizadas as proporções de: 0%; 0,1%; 0,4% e 0,5% em relação a massa do cimento. Outros traços de 0,8%, 0,9% e 1%, foram executados e descartados, uma vez que se mostraram com baixa trabalhabilidade, inviabilizando o processo de mistura em argamassadeira, sendo esse preparo executado conforme NBR 16541 (ABNT, 2016).

As fibras adicionadas foram cortadas em um comprimento de 30 mm, sendo que essa medida possibilitou uma melhor dispersão e trabalhabilidade da mistura na matriz cimentícia, principalmente quando comparada a dimensões maiores.

2.3.2 Índice de Consistência

A consistência das argamassas foi determinada conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016), submetendo a mistura a quedas contínuas, promovida pela mesa *Flow Table* e posteriormente medindo-se o diâmetro formado pelo material, sendo realizadas três medições em que duas dessas estivessem em posições perpendiculares. O valor final corresponde à média entre os resultados averiguados.

2.3.3 Absorção de Água por Capilaridade

O teste foi desenvolvido conforme os passos expressos na NBR 9779 (ABNT, 2012), realizado com o um total de três repetições. Os corpos de prova testados, inicialmente levados à estufa, tiveram suas massas determinadas encontrando-se a massa seca (M_s) e posteriormente submetidos a uma lamina d'água, permanecendo em intervalos de tempo determinados em norma, obtendo-se assim a massa úmida (M_{sat}). A se tratar de argamassa os intervalos utilizados seguiram a NBR 15259 (ABNT, 2005), mais especificamente nos instantes de 10 min e 90 min, sendo o valor da absorção dado pela Equação 5, em que A corresponde a área da seção transversal. Logo após essa etapa realizou-se o rompimento por compressão diametral e registrou-se o comportamento da linha de água absorvida pela peça.

$$C = \frac{M_{sat} - M_s}{A} \quad (5)$$

2.3.4 Resistência à Compressão Axial e a Tração por Compressão Diametral

Os ensaios de resistência à compressão axial e a tração por compressão diametral foram executados de acordo com as normas NBR 13279 (ABNT, 2005) e NBR 7222 (ABNT, 2011), respectivamente. Nesses testes os corpos de prova foram moldados e submetidos à cura

conforme descrito anteriormente, e nas idades de 7, 14, 21, 28 dias e 360 dias, foram rompidos.

Para o ensaio por compressão diametral os corpos de prova foram submetidos à ruptura aos 28 dias em duas situações distintas: rompimento imediato depois de retirada do tanque, ainda saturados em água; e secos em estufa por um período de 24 horas ou até massa constante. No intuito de verificar o comportamento da fibra frente a sua solicitação mecânica, quanto a presença de água em sua estrutura. Vale ressaltar que para cada idade e direção do carregamento, rompeu-se um número de quatro amostras, totalizando 160 corpos de prova.

2.3.5 Retenção de Água

A análise foi realizada tomando como referência a NBR 13277 (ABNT, 2005). Inicialmente a amostra foi preparada de acordo com a NBR 16541 (ABNT, 2016), sendo posteriormente conduzida a um funil Buchner modificado contendo um papel filtro umedecido, ambos com massa previamente registrada. Após o preenchimento e adensamento do conjunto (funil/prato/papel filtro), a amostra foi rasada e submetida à sucção correspondente a coluna de 51 mm de mercúrio durante 15 minutos. Com o registro das massas solicitadas em norma mediante precisão de 0,1 g, obteve-se o percentual de retenção de água.

2.3.6 Modo de Elasticidade Dinâmico por Propagação de Onda Ultrassônica

Para realização do ensaio determinou-se previamente a densidade de massa aparente (ρ_{aparente}) dos corpos de prova, conforme NBR 13280 (ABNT, 2005). Com as superfícies superior e inferior limpas e lisas, aplicou-se o gel de contato e posteriormente posicionou-se os transdutores, registrando os valores apresentados no mostrador do equipamento Pundit Lab, sendo realizadas três leituras para cada quatro amostras por proporção conforme NBR 15630 (ABNT, 2008). O cálculo do módulo de elasticidade (E_d) se deu como apresentado na Equação 6, em que μ corresponde ao Coeficiente de Poisson que assume valor de 0,2 para o ensaio, e v a velocidade de propagação da onda ultrassônica.

$$E_d = v^2 \frac{\rho(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad (6)$$

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados tabulados foram apreciados por meio da ferramenta ANOVA, que permite fazer uma comparação entre múltiplos grupos, possibilitando com base no teste F estabelecer a aceitação ou rejeição da hipótese nula, em que H_0 (hipótese nula) corresponde a igualdade entre as médias comparadas. Utilizou-se também os testes Bartlett e Shapiro-Wilk, no processo de caracterização dos dados quanto a normalidade e homogeneidade de variância, respectivamente. Vale ressaltar que se adotou o nível de significância de 5%.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA

A partir dos testes experimentais feitos com a fibra de sisal foi possível obter as suas características físicas, como teor de umidade, massa específica e absorção de água, conforme é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização das propriedades física do resíduo da fibra de sisal.

Valores	Teor de Umidade (%)	Massa Específica real (g/cm³)	Massa Específica aparente (g/cm³)	Absorção de água (%)
Média	5,82	0,90	0,44	269,48
Desvio Padrão	3,82	0,41	0,24	12,93
Variância	14,66	0,02	0,06	167,43

Fonte: Autor, 2019.

O teor médio de umidade obtido de 5,82%, conforme a Tabela 2 é considerado relativamente baixo quando se trata de fibras vegetais. Esse tipo de material, também denominado de lignocelulósicos, apresenta características hidrofílicas decorrente principalmente da presença de celulose não cristalizada e hemicelulose, o que propicia geralmente uma umidade na faixa de 8 a 12,5% (PAULA, 2011; CARASHI, et al., 2002). Uma possível motivação pode decorrer da exposição da fibra ao clima regional, além do confinamento em laboratório durante os ensaios. O baixo percentual de umidade obtido é essencial para aplicação em um produto de durabilidade prolongada, como é o caso de compostos cimentícios (SALAZAR, 2005).

Quanto aos resultados referentes à massa específica real e aparente verificou-se, de acordo com a Tabela 2, valores de 0,90 g/cm³ e 0,44 g/cm³, respectivamente, mostrando-se ligeiramente abaixo aos dados presentes na literatura, que de acordo com Pickering et al. (2016) esses resultados são amplamente variáveis, sendo bastante sensíveis a fatores com local do plantio e metodologia do ensaio. Essas características influem diretamente na resistência mecânica oferecida pela fibra, que de acordo com Motta (2007), fibras vegetais tendem a possuir resistência diretamente proporcional à sua massa específica.

No que concerne à absorção de água pela fibra de sisal, observou-se uma média de 269,48%, como apresentado na Tabela 2, após 168 horas imersas em água. Tal fato se deve ao seu arranjo estrutural e composição química, constituído de subunidades celulares individuais

denominadas de microfibras agrupadas por meio de lamela intercelular, possuindo também lacunas e lúmens, correspondentes a cavidades localizadas no eixo da fibra, levando a incidência de poros permeáveis (SAVASTANO JÚNIOR; AGOPYAN, 1999).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA

3.2.1 Consistência

Os dados obtidos para consistência da matriz cimentícia, acrescida com diferentes teores de fibras nas proporções anteriormente citadas, são apresentados na Tabela 3, com as médias estatisticamente distintas a nível de significância de 5% (valor-p < 0,05).

Tabela 3: Consistência da argamassa por concentração de fibra.

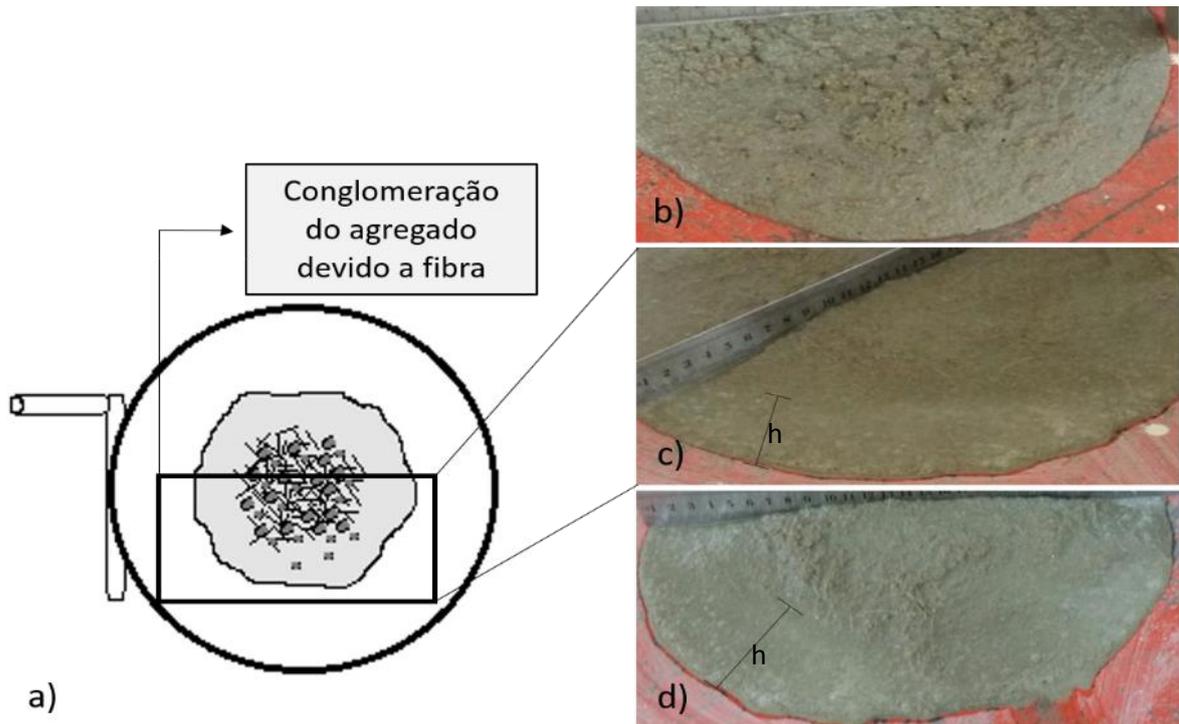
Teor de Fibra	Diâmetro Final (mm)
0,0%	260
0,1%	254
0,4%	237
0,5%	230

Fonte: Autor, 2019.

De acordo com os dados apresentados é possível perceber que o acréscimo de fibras é inversamente proporcional ao diâmetro decorrente da queda pela mesa *flow table*, em outras palavras o espalhamento é menor à medida que a proporção da mesma aumenta. Essa característica pode ser justificada pelo incremento da área superficial de molhagem em decorrência da adição do resíduo. Outro fator que corrobora para tal comportamento, assim como apresentado por Savastano e Agopyan (1999), corresponde à absorção de água natural apresentada pelo material.

Baseado nos resultados dos testes pilotos para obtenção da consistência de diâmetro de 260 mm (± 5 mm), observou-se que o aumento da relação a/c proporciona, como esperado, uma segregação dos materiais e um comportamento de retenção de partículas do agregado pela fibra, conforme apresentado na Figura 1, que retrata a atuação da fibra para relações de a/c maiores que 0,7, mais especificamente 0,9.

Figura 1: a) Modelo do ensaio em *flow table*; b) Consistência 0,1% de fibras ($a/c=0,7$); c) Consistência 0,1% de fibras ($a/c=0,9$); d) Consistência 0,5% de fibras ($a/c=0,9$).



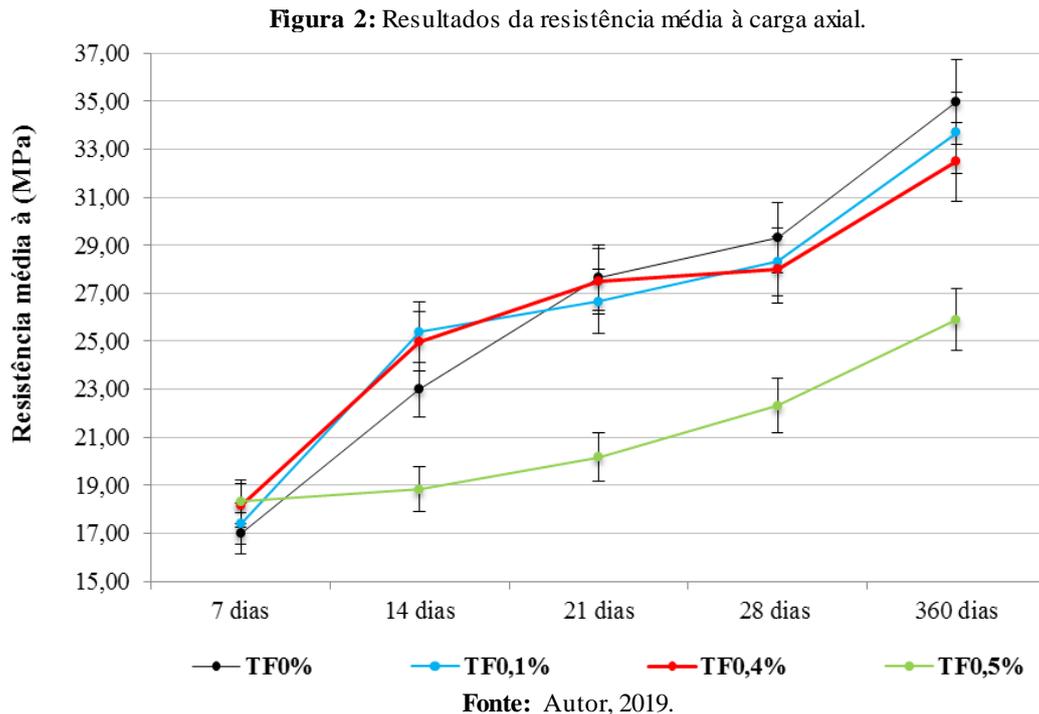
Fonte: Autor, 2019.

A Figura 1 permite observar que a fibra acaba formando um efeito de contenção, principalmente dos agregados, agindo como uma rede que retém as partículas maiores conforme é ilustrado na imagem a. Esse comportamento acarreta o escoamento de parte da mistura formada basicamente de cimento, água e partículas de agregado de baixa granulometria, assim como é apresentado nas imagens c e d, em que o aumento do teor de fibras, para relações de a/c elevadas, provoca uma aglomeração dos agregados e um aumento da região h, referente ao material formado pela pasta de cimento. Já o que ocorre na imagem b, é uma retenção de uma mistura mais homogênea, sem a segregação de fases.

Um reflexo do efeito de agregação provocado pelo emprego de fibras em compostos cimentícios, diz respeito ao aumento da consistência da mistura. No entanto, assim como aborda Mehta e Monteiro (2014), essa característica não expressa necessariamente a trabalhabilidade da mistura, podendo permanecer ainda em parâmetros aceitáveis os processos de moldagem e adensamento, que ainda podem permanecer satisfatórios.

3.2.2 Resistência mecânica a compressão axial

Os dados referentes à resistência a compressão, em que os corpos de prova foram submetidos a um carregamento axial, são apresentados na Figura 2 abaixo, correlacionando o tempo de cura de 7, 14, 21, 28 e 360 dias e teor de fibra adicionado (TF (Teor de Fibra) de 0%, 0,1%, 0,4% e 0,5%).



Conforme apresentado na Figura 2, observa-se que os corpos de prova com fibras de sisal apresentaram redução na resistência a compressão quando comparados aos que foram moldados sem a presença da mesma, verificando essa constância de resistência até idades mais avançadas como no caso de 360 dias. Em relação ao teste estatístico, salvo os resultados de 7 dias com valor- $p > 0,05$, todos os demais apresentaram diferenças significativas (valor - $p < 0,05$).

Vale destacar que a concentração de fibras na matriz cimentícia influencia diretamente a redução da resistência a compressão (valor- $p < 0,05$). Como é o caso da porcentagem de 0,5%, que apresentou o menor desempenho entre as demais. Segundo Toledo Filho et al. (1997), esse fato pode ter como causa o adensamento comprometido que o aumento da fração de fibras na mistura acarreta. Tendo como agravante também a propriedade de absorção que a fibra de sisal oferece, conforme apresentado na Tabela 2. Assim como Savastano Júnior e

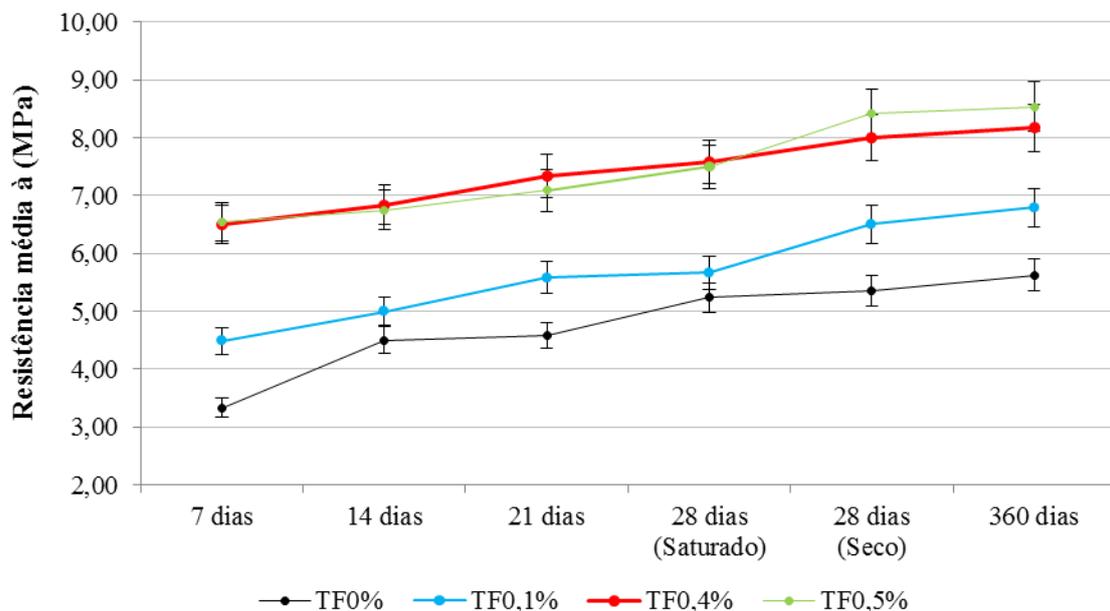
Agopyan (1999) constataram em algumas fibras vegetais, essa característica pode levar a um acúmulo de água na zona de transição entre a fibra e a matriz de cimento, que conseqüentemente trará uma maior porosidade da região em seu estado endurecido, o que provocará pontos de fragilidade, suscetíveis ao rompimento quando submetidos a solicitação.

Além das motivações supracitadas outro fator para esse comportamento pode ocorrer pela aglomeração de fibras que geram bolsões nas amostras, criando espaços frágeis ocasionando concentração de tensões e facilitando a ruptura, efeito observado nas dispersões dos resultados apresentados na Figura 2, que indica um material não homogêneo, resultante da distribuição da adição.

3.2.3 Resistência mecânica a tração por compressão diametral

Os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral são apresentados na Figura 3, estando presentes as porcentagens de fibras de sisal adicionadas à mistura e suas correspondentes resistências médias nos intervalos de 7, 14, 21, 28 e 360 dias, como também aos 28 dias no estado seco.

Figura 3: Resultados da resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autor, 2019.

A análise da Figura 3 permite observar que a adição de fibras de sisal aumenta a resistência média à tração consideravelmente, apresentando diferença significativa (valor - $p < 0,05$). Essa característica é perceptível logo aos sete primeiros dias, quando comparado a

mistura de referência, em que se registrou um aumento de 96,37% entre as concentrações de 0,0% (2,2 MPa) e 0,5% (4,32 MPa) de fibras.

Essa influência significativa da resistência a tração pode ser provocada pelas características geométricas e pela textura superficial oferecidas pelo material. Segundo Monteiro et al. (2006) a rugosidade que os compostos fibrosos possuem podem ajudar na adesão entre esses e a matriz, que ao ser submetida a esforços de tração ou flexão, assim como mencionado, a fibra atua como uma espécie de ponte entre as microfissuras iniciais distribuindo as tensões ao longo da peça, aumentando o seu reforço pós-fissuração, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4: Rompimento diametral dos corpos: a) Mistura com 0,0% de fibra; b) Mistura com 0,4% de fibra.



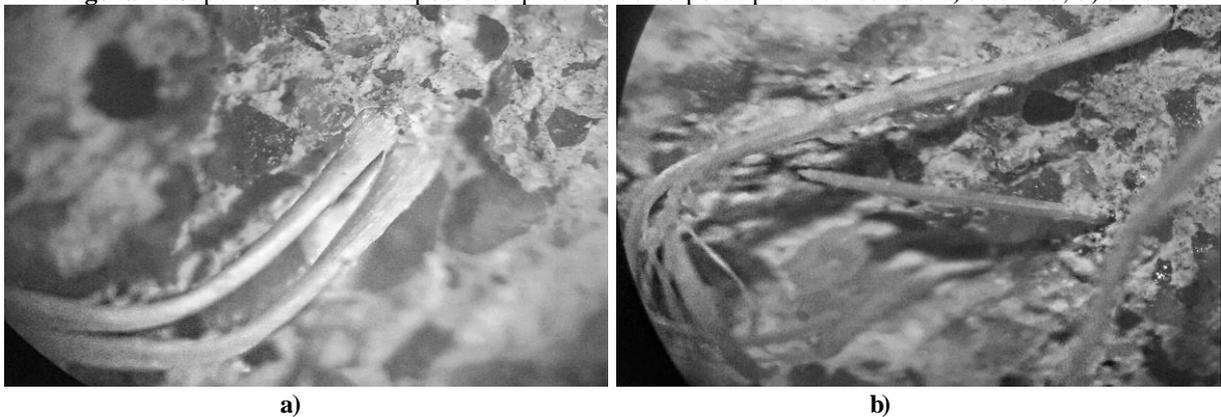
Fonte: Autor, 2019.

A fissuração em um corpo de prova submetido a carregamento impede que os esforços gerados sejam distribuídos, ocorrendo uma concentração das tensões principalmente nas extremidades da fissura, esse processo se estende até que se chegue a uma intensidade que leve a ruptura da estrutura (MENDES, 2016). Na Figura 4b, observa-se que as fibras inibem a confluência dessas tensões o que promove múltiplas fissuras, e para que ocorra a sua abertura é necessária uma quantidade de energia maior que a utilizada nos corpos isentos de fibra, como verificado nos resultados da tração na Figura 3. Já na Figura 4a, verifica-se fissuração concentrada com uma única linha de ruptura.

Esse comportamento de múltiplas fissuras também foi verificado nos estudos de Silva et al. (2009), o mesmo sob um foco microestrutural, observou que as fibras de sisal, conseguiram acomodar as tensões dentro da região de resposta elástica do compósito, inibindo as fissuras iniciais e levando a redistribuição das tensões proveniente da energia absorvida, motivando o surgimento de várias linhas de ruptura.

Outra característica importante a se observar diz respeito às diferenças nos valores da tração aos 28 dias entre os corpos de prova secos e úmidos ($\text{valor-p} < 0,05$), como apresentado na Figura 3. Nota-se um relativo aumento na resistência dos corpos de prova secos em relação aos submersos, todos com adição de fibras. Esse comportamento pode ocorrer devido a aderência das fibras à matriz cimentícia que é fragilizada em decorrência da saturação dos capilares presentes no material, desencadeando uma ruptura por deslizamento como pode ser visualizado na Figura 5a, em que as fibras se mantêm íntegras no que diz respeito a suas condições superficiais. Em contrapartida o processo de secagem promove um aumento do número de fibras que apresentaram ruptura ao longo de sua estrutura observado na Figura 5b, potencializando a resposta do material a tração direta.

Figura 5: Superfície das fibras após o rompimento do corpo de prova em estado: a) saturado; b) seco.



Fonte: Autor, 2019.

Esse comportamento interfacial das amostras é um resultado da baixa adesão química da fibra de sisal aos compostos cimentícios, assim como é apresentado por Li et al. (2008). Além disso, a capacidade de absorção de água e o caráter hidrofílico da fibra podem levar a formação de uma lâmina de líquido sobre sua superfície que favorece a perda de contato físico com a matriz, podendo ocasionar uma ruptura por deslizamento total ou parcial.

3.2.4 Absorção de água por capilaridade

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade são apresentados na Tabela 4 abaixo, verificando-se uma pequena redução nos valores referentes aos corpos de prova com fibras. Fenômeno acentuado na comparação entre as amostras de 0,0% e 0,1% de adição, constatando-se uma variação de três pontos percentuais no índice médio de absorção

nos 10 primeiros minutos. Essa diferença é pouco significativa, como apresentado no teste estatístico com valor- $p > 0,05$, esse comportamento pode indicar que a fibra de sisal agiu na obstrução inicial dos poros permeáveis da mistura, proporcionando uma barreira de absorção nos primeiros instantes (CARVALHO et al., 2016).

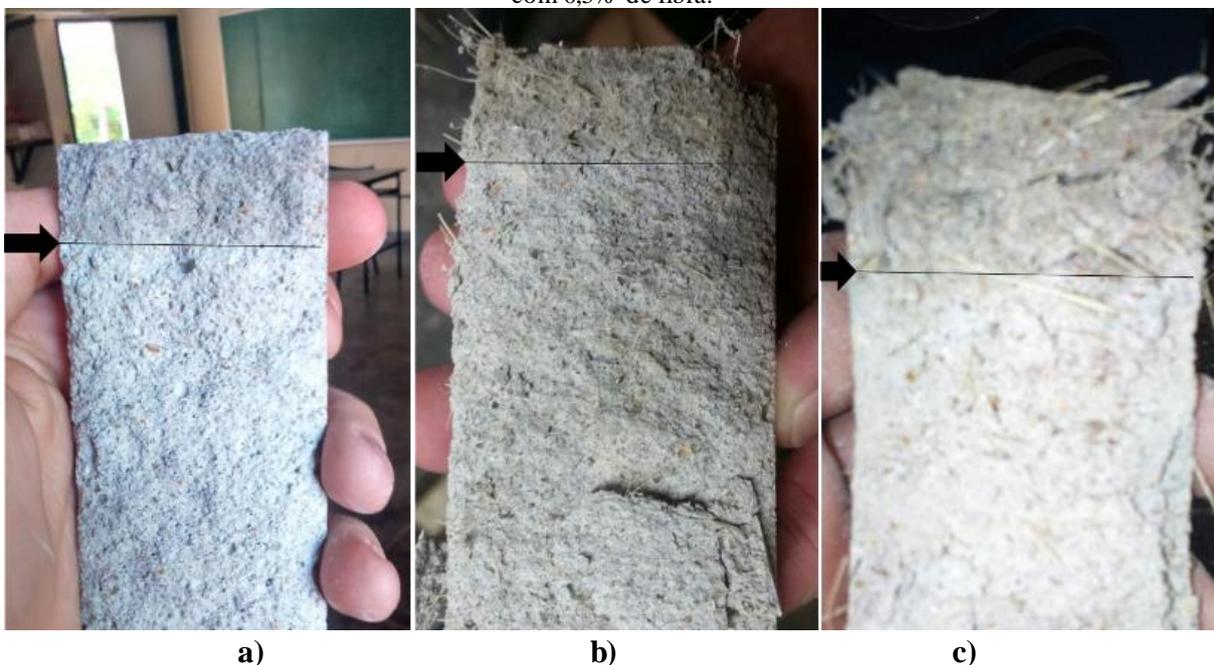
Tabela 4: Resultados da absorção por capilaridade.

Teor de Fibra	C _{10min} (%)	C _{90min} (%)
0,0%	10,87	26,16
0,1%	7,98	26,16
0,4%	9,85	16,14
0,5%	9,51	22,76

Fonte: Autor, 2019.

Ao analisar os índices de absorção nos corpos de prova, nos instantes ensaiados, esses apresentam valores similares, com pouca variação nas diferentes proporções de fibra empregada, com ressalva a porcentagem de 0,4% de sisal aos 90 min. Essa uniformidade também é apresentada nas linhas de água proveniente da absorção, como mostrado nas imagens da Figura 6.

Figura 6: Linha da absorção d'água: a) Mistura com 0,0% de fibra; b) Mistura com 0,1% de fibra; c) Mistura com 0,5% de fibra.



Fonte: Autor, 2019.

Condizente com os valores de absorção presentes na Tabela 3, em que apresentam pouca variação, as linhas de absorção de corpos com ou sem fibras se comportam de maneira

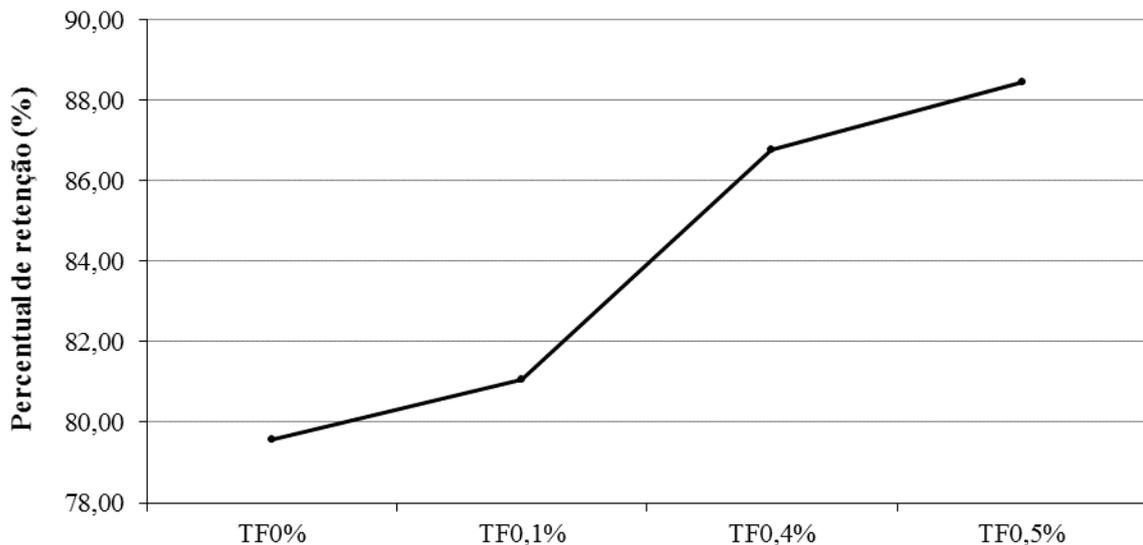
bastante similar, como é observado na Figura 6, com uma distribuição aproximadamente uniforme sem picos de absorção.

Esse comportamento observado, em que os maiores teores de fibra proporcionaram um menor valor de absorção e que a amostra de referência possui o maior índice, vai de encontro ao que Borges et al. (2019) determinou em seus estudos aplicando fibras, entre elas o sisal, em concreto. Segundo o mesmo a porosidade total do compósito é geralmente aumentada, no entanto isso não necessariamente implica em uma maior permeabilidade, uma vez que para tal fato ocorrer deve existir uma interconectividade entre os poros da matriz, que por sua vez pode ter sido reduzida com a presença das fibras, além da possível redução das microfissuras internas, uma característica importante para argamassa a depender de sua aplicação.

3.2.5 Retenção de água

Os valores referentes ao ensaio de retenção de água são apresentados na Figura 7, comparando a relação entre a porcentagem de água retida após sucção padrão determinada em norma e o teor de fibra adicionado (TF (Teor de Fibra) de 0%, 0,1%, 0,4% e 0,5%).

Figura 7: Retenção de água em função do teor de fibras incorporado.

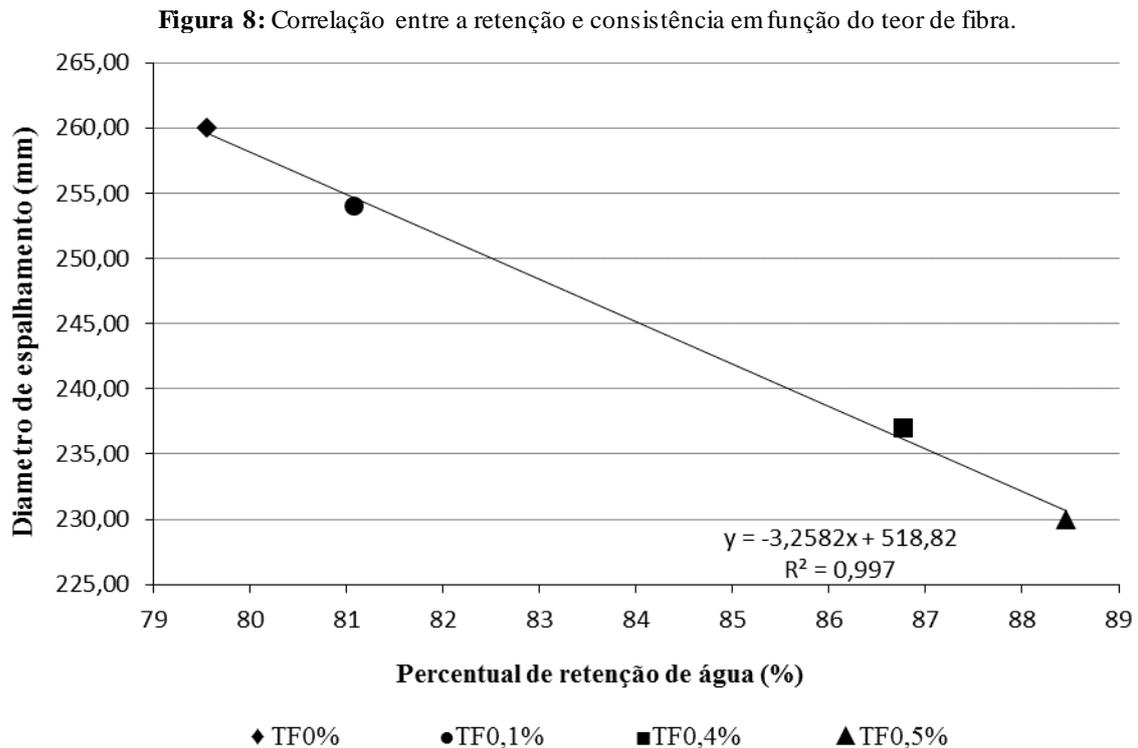


Fonte: Autor, 2019.

A partir da análise da Figura 7 é observável que o maior consumo de fibra implica diretamente no maior grau de retenção de água. Esse fato vai de encontro às características intrínsecas das fibras que apresentam elevados valores e absorção provenientes da

configuração estrutural da mesma, propriedade enfatizada nos estudos de Toledo Filho et al. (2009), e que foram experimentalmente encontradas e apresentadas na Tabela 2.

A retenção em argamassa é uma importante característica visto que a perda da água de amassamento pode comprometer os processos de hidratação do aglomerante, como também influenciar outras características da argamassa entre elas a consistência. A Figura 8 a seguir apresenta uma correlação entre os ensaios de retenção de água e de consistência em função do teor de fibra incorporado.



Fonte: Autor, 2019.

A linearidade inversa, com correlação R^2 de 0,997, entre a retenção e o espalhamento da mistura vão mais uma vez de encontro às propriedades naturais da fibra e de suas implicações nos comportamentos anteriormente mencionados. Essa associação de características (retenção e consistência) representa o papel de dupla retenção que a fibra oferece, tanto sob o aspecto absorvente quanto físico ao agir como uma malha que leva a conglomeração de partículas.

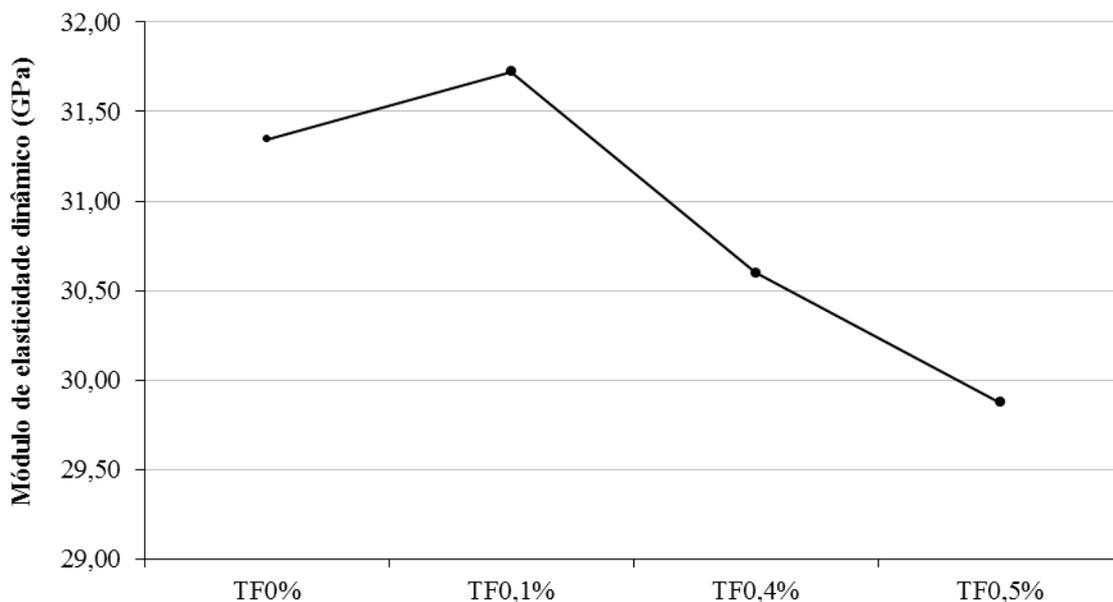
Vale ressaltar que, embora a retenção de água apresente uma relação crescente frente ao teor de fibra, esse comportamento não necessariamente pode ser julgado como positivo, já

que uma das possíveis motivações é a absorção da água pelo sisal, podendo resultar em alterações semelhantes às provenientes da ausência de água.

3.2.6 Modo de elasticidade dinâmico por propagação de onda ultrassônica

Os valores obtidos no ensaio, modo de elasticidade dinâmico por propagação de onda ultrassônica, são apresentados na Figura 9 abaixo em função do teor de fibra incorporado. No que diz respeito a análise estatística verificou-se que os resultados possuem 95% de confiança com valor-p menor que 0,05 ($\text{valor-p} < 0,05$).

Figura 9: Módulo de elasticidade dinâmico em função do teor de fibras incorporado.



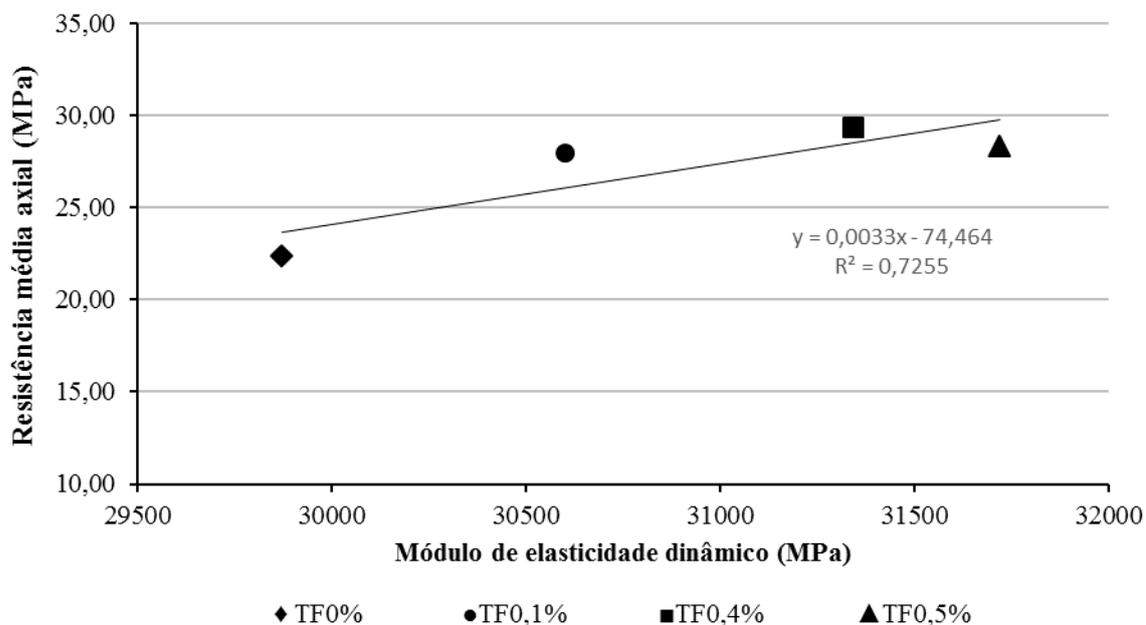
Fonte: Autor, 2019.

A partir da Figura 9 é possível observar que a adição de fibra, em geral, levou a redução direta do módulo de elasticidade, com exceção da proporção de 0,1%, chegando a uma redução de 4,66% para o teor de fibra incorporado de 0,5%. Essa redução proveniente da adição de fibras vegetais de sisal também foi observada nos estudos de Colonetti e Godinho (2017) e Borges et al. (2019), obtendo uma queda de 15,9% com a 0,3% de fibra e 16,60% para 0,5% do material, respectivamente, ambas em concreto sob um aspecto estático.

Esse comportamento vai de encontro às características mecânicas obtidas para o ensaio de compressão axial, como o observado na Figura 10, apresentado a correlação entre o

desempenho mecânico sob solicitação axial e os valores de módulo de elasticidade, ambos aos 28 dias.

Figura 10: Correlação entre o módulo de elasticidade e resistência a compressão em função do teor de fibra.



Fonte: Autor, 2019.

O comportamento linear positivo da reta de tendência indica a correlação diretamente proporcional entre as propriedades, com R^2 de 0,7255 resultante da proporção de 0,1% de fibra incorporada que ao observar a curva na Figura 10 apresenta-se como o ponto de maior variação.

Essa relação vai de encontro as observações da literatura no que diz respeito ao comportamento elástico de um composto cimentício, sendo o módulo de elasticidade uma correspondente da deformabilidade e rigidez da mistura, que por sua vez possui ligação intrínseca com a capacidade de resistência a solicitações (TOLEDO FILHO et al., 1997). Como já mencionado, a adição de fibra pode comprometer processos importantes de produção e endurecimento da argamassa, como seu adensamento e a absorção de água de amassamento, levando a alterações na homogeneidade da matriz e conseqüentemente influenciando no desempenho da mesma.

4 CONCLUSÃO

Mesmo com a redução da resistência à compressão axial e do módulo de elasticidade nos compostos com a adição de fibras, é válido destacar o significativo ganho de desempenho a níveis de resistência à tração por compressão diametral, o que torna as argamassas com adição de fibras vegetais mais eficientes quando comparadas às argamassas de referência, possuindo assim um potencial de aplicação em matrizes cimentícias que necessitam de resistência a tração.

É importante ressaltar que mesmo a fibra sendo um material de propriedade hidrocópica, a absorção apresenta comportamentos semelhantes nos corpos de prova estudados, sejam eles adicionados ou não de fibras. Além disso é possível notar que o acréscimo da quantidade do material fibroso na matriz cimentícia, reduz o diâmetro de espalhamento da argamassa, no entanto essa característica não necessariamente representa perdas reais de sua trabalhabilidade, uma vez que o sisal retém as partículas de agregados de maior granulometria.

Tendo em vista a utilização de fibras vegetais provindas da planta *Agave Sisalana* e sua posterior aplicação a um compósito cimentício que requer durabilidade prolongada, é fundamental uma análise referente a biodegradação da fibra neste meio. Visto que a interação da fibra vegetal com o meio alcalino presente nos compósitos cimentícios pode acelerar o processo de biodegradação da mesma, devido principalmente a migração do hidróxido de cálcio para os lúmens e as paredes da fibra.

REFERÊNCIAS

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa- Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 10024**: Chapa dura de fibra de madeira - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

BELLO, C. B. C. et al. Experimental tests for the characterization of sisal fiber reinforced cementitious matrix for strengthening masonry structures. **Construction and Building Materials**, v. 219, p. 44-55, 2019.

BONATO, M. M. et al. Photocatalytic mortars and concretes with addition of coconut and sisal fibers to reduce environmental impacts of pollutant gases. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, p. 537-545, 2014.

BORGES, A. P. S. N. et al. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, e12364, 2019.

BRASIL, Economia e Emprego. Preços em alta favorecem produção de sisal no Semiárido. Portal Brasil, 2016.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015.

BRAZ, M. C. A.; NASCIMENTO, F. B. C. Concreto reforçado com fibras de aço. **Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v.3, n.1, p. 43-56, 2015.

CARASCHI, J. C. et al. Compósitos biodegradáveis de polihidroxibutirato (PHB) reforçado com farinha de madeira: propriedades e degradação. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 24, p. 1609-1614, 2002.

CARVALHO, R. R. C. et al. Utilização de fibra de sisal como agente de reforço em matriz cimentícia para fabricação de blocos de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 60. Águas de Lindóia, 2016. **Anais**, Águas de Lindóia: ABCERAM, v.1, p.1619-1627, 2016.

COLONETTI, L. M.; GODINHO, D. S. S. **Estudo do efeito da adição de fibras de sisal nas propriedades do concreto**. Artigo (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 194**: Agregado-Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1998.

IZQUIERDO, I. S. **Utilização de pós residuais e fibra de sisal em blocos de concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

JOSEPH, K., et al. A review on sisal fiber reinforced polymer composites. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p. 367-379, 1999.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**. 6ª ed., São Paulo: Atlas, 2001.

LAM, P. T. I. et al. Methodology for upstream estimation of construction waste for new building projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 1003-1012, 2019.

LI, Y. et al. Interfacial studies of sisal fiber reinforced high density polyethylene (HDPE) composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 39, n. 4, p. 570-578, 2008.

LI, Z. et al. Effect of freeze-thaw cycles on mechanical and porosity properties of recycled construction waste mixtures. **Construction and Building Materials**, v. 210, p. 347-363, 2019.

LIMA, P. R. L. et al. Characterization and treatment of sisal fiber residues for cement-based composite application. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 812-825, 2014.

LIMA, P.; TOLEDO FILHO, R. D. Uso de metacaulinita para incremento da durabilidade de compósitos à base de cimento reforçados com fibras de sisal. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n.4, p. 7-19, 2008.

MARTIN, A. R., et al. Caracterização Química e Estrutural de Fibra de Sisal da Variedade Agave sisalana. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n.1, p. 40-46, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª edição. São Paulo: IBRACON, 2014.

MELO, K. M. et al. Study of the reuse potential of the sisal fibers powder as a particulate material in polymer composites. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, p. 4019-4025, 2019.

MENDES, R. R. **Estudo experimental de corpos de prova de concreto com fibras de aço sujeitos à tração por compressão diametral e à tração direta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

MONTEIRO, S. N. et al. Efeito da interface fibra/matriz sobre a resistência de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco. **Revista Matéria**, v.11, n.4, p.395-402, 2006.

MOTTA, L. A. C. **Caracterização de Fibras curtas empregadas na construção Civil**. São Paulo: EPUSP, 2007.

PAULA, P. G. **Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica**. Dissertação (Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PEREIRA, M. V., et al. On the Strengthening of Cement Mortar by Natural Fibers. **Materials Research**, v.18, n.1, p.177-183, 2015.

PIACENTINI, P.. Brasil não consegue dar o destino adequado para resíduos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 70, n. 2, p. 13-15, 2018.

PICKERING, K. L. et al. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 83, p. 98-112, 2016.

SALAZAR, V. L. P. **Estudo da biodegradação das fibras de coco e de sisal visando às aplicações na indústria automotiva**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

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

SAVASTANO JÚNIOR, H.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 103-110, 2000.

SILVA, F. A. et al. Cracking mechanisms in durable sisal fiber reinforced cement composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 31, p. 721-730, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Cadernos de técnicos de composições para: contrapiso, contrapiso acústico e contrapiso autonivelante**. v. 007. Grupo Contrapiso, 2015.

TOLEDO FILHO, R. D. et al. Comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras naturais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.1, n.1, p.79-88, 1997.

TOLEDO FILHO, R. D. **Materiais compostos reforçados com fibras naturais: caracterização experimental**. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

TOLEDO FILHO, R.D., et al. Durability of compression molded sisal fiber reinforced mortar laminates. **Construction & Building Materials**, v. 23, p. 2409-2420, 2009.

APÊNDICE A – RESUMO DOS CÁLCULOS ESTATÍSTICOS

- Resistência mecânica a compressão axial 7 dias**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	66,62694	16,65673	0,055489
0,001	4	69,55852	17,38963	1,278475
0,004	4	72,62336	18,15584	2,386042
0,005	4	73,28963	18,32241	5,049531

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	7,043819	3	2,34794	1,070953	0,397968	3,490295
Dentro dos grupos	26,30861	12	2,192384			
Total	33,35243	15				

- Resistência mecânica a compressão axial 14 dias**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	91,94517	22,98629	0,665872
0,001	4	101,5394	25,38486	0,346254
0,004	4	99,9404	24,9851	2,663489
0,005	4	75,28844	18,82211	1,054298

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	108,3008	3	36,10027	30,52933	6,73E-06	3,490295
Dentro dos grupos	14,18974	12	1,182478			
Total	122,4905	15				

- **Resistência mecânica a compressão axial 21 dias**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	110,6007	27,65018	0,221957
0,001	4	106,6031	26,65077	0,88783
0,004	4	109,9344	27,48361	0,499404
0,005	4	80,61859	20,15465	0,388425

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	153,8165	3	51,27216	102,6667	8,02E-09	3,490295
Dentro dos grupos	5,99285	12	0,499404			
Total	159,8093	15				

- **Resistência mecânica a compressão axial 28 dias**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	117,2634	29,31585	3,551319
0,001	4	113,2658	28,31645	0,221957
0,004	4	111,9333	27,98331	0,665872
0,005	4	89,28009	22,32002	0,221957

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	119,857	3	39,95234	34,28571	3,64E-06	3,490295
Dentro dos grupos	13,98332	12	1,165276			
Total	133,8403	15				

- **Resistência mecânica a compressão axial 360 dias**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	139,8633	34,96582	3,893311
0,001	4	134,773	33,69324	0,245662
0,004	4	129,8692	32,46731	1,514549
0,005	4	103,5916	25,89789	0,751459

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	195,5169	3	65,17231	40,70102	1,45E-06	3,490295
Dentro dos grupos	19,21494	12	1,601245			
Total	214,7319	15				

- **Resistência mecânica a tração por compressão diametral 7 dias**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	13,3416	3,3354	0,222498
0,001	4	17,94445	4,486113	0,117368
0,004	4	26,01612	6,50403	0,166873
0,005	4	26,18289	6,545723	0,149491

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	29,98625	3	9,995415	60,92633	1,56E-07	3,490295
Dentro dos grupos	1,968689	12	0,164057			
Total	31,95493	15				

- **Resistência mecânica a tração por compressão diametral 14 dias**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	18,01116	4,50279	0,50062
0,001	4	20,0124	5,0031	0,166873
0,004	4	29,35152	7,33788	0,349322
0,005	4	28,3509	7,087725	0,18078

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	24,82937	3	8,276457	27,6436	1,13E-05	3,490295
Dentro dos grupos	3,592784	12	0,299399			
Total	28,42216	15				

- **Resistência mecânica a tração por compressão diametral 21 dias**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	18,3447	4,586175	0,086913
0,001	4	22,68072	5,67018	0,889991
0,004	4	30,35214	7,588035	0,43109
0,005	4	30,0186	7,50465	0,166873

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	25,75413	3	8,584709	21,80427	3,79E-05	3,490295
Dentro dos grupos	4,724603	12	0,393717			
Total	30,47873	15				

- **Resistência mecânica a tração por compressão diametral 28 dias estado saturado**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	21,34656	5,33664	0,889991
0,001	4	20,34594	5,086485	0,013906
0,004	4	27,35028	6,83757	0,055624
0,005	4	27,01674	6,754185	0,125155

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	10,17928	3	3,393092	12,51282	0,000527	3,490295
Dentro dos grupos	3,254031	12	0,271169			
Total	13,43331	15				

- **Resistência mecânica a tração por compressão diametral 28 dias estado seco**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	21,01302	5,253255	0,166873
0,001	4	26,01612	6,50403	0,166873
0,004	4	32,01984	8,00496	0,166873
0,005	4	33,68754	8,421885	0,097343

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	25,28132	3	8,427107	56,37209	2,41E-07	3,490295
Dentro dos grupos	1,793889	12	0,149491			
Total	27,07521	15				

- **Resistência mecânica a tração por compressão diametral 360 dias**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	21,98933	5,497333	0,00671
0,001	4	27,15867	6,789667	0,018078
0,004	4	32,69867	8,174667	0,16636
0,005	4	34,16867	8,542167	0,003811

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	23,23379	3	7,744596	158,8969	6,36E-10	3,490295
Dentro dos grupos	0,584877	12	0,04874			
Total	23,81866	15				

- **Modo de elasticidade dinâmico por propagação de onda ultrassônica**

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	4	125374,5332	31343,63	388611,5
0,001	4	126885,0531	31721,26	624498,3
0,004	4	122399,8956	30599,97	607353,2
0,005	4	119492,276	29873,07	69521,78

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	8059696	3	2686565	6,358791	0,007947	3,490295
Dentro dos grupos	5069955	12	422496,2			
Total	13129650	15				