



REDEMAT

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP – UEMG

Dissertação



“Estudo de compósitos cimentícios com adição de fibra natural da *Moringa oleifera*”



Autor: Marina Keiko Ishihara
Orientadora: Profa. Dra. Kátia Monteiro Novack

Março de 2022



REDEMAT

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP – UEMG

Marina Keiko Ishihara

“Estudo de compósitos cimentícios com adição de fibra natural da *Moringa oleifera*”

Dissertação de mestrado apresentada à Rede Temática de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte das exigências para a conclusão da pós-graduação em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Compósitos

Orientadora: Profa. Kátia Monteiro Novack

Co-Orientadores: Prof. Guilherme Jorge Brigolini Silva

Profa. Cristiane Medina Finzi-Quintão

Ouro Preto, março de 2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

I79e Ishihara, Marina Keiko.
Estudo de compósitos cimentícios com adição de fibra natural da Moringa oleifera. [manuscrito] / Marina Keiko Ishihara. - 2022.
63 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Kátia Monteiro Novack.
Coorientadores: Profa. Dra. Cristiane M. Finzi Quintão, Prof. Dr. Guilherme Jorge Brigolini.
Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais.
Área de Concentração: Processos de Fabricação.

1. Compósitos cimentícios. 2. Moringa oleifera. 3. Fibra natural. 4. Argamassa. I. Brigolini, Guilherme Jorge. II. Novack, Kátia Monteiro. III. Quintão, Cristiane M. Finzi. IV. Universidade Federal de Ouro Preto. V. Título.

CDU 62-5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA DE
MATERIAIS



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marina Keiko Ishihara

Estudo de compósitos cimentícios com adição de fibra natural da Moringa *Oleifera*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Materiais

Aprovada em 05 de abril de 2022.

Membros da banca

Profª Drª Kátia Monteiro Novack - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Leonardo Gonçalves Pedroti - Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Júlia de Castro Mendes - Universidade Federal de Ouro Preto
Profª Drª Cristiane Medina Finzi Quintão - Universidade Federal de São João Del Rei
Prof. Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva - Universidade Federal de Ouro Preto

O Prof. Gilberto Henrique Álvares Tavares da Silva, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 11/04/2022



Documento assinado eletronicamente por **Gilberto Henrique Tavares Alvares da Silva, COORDENADOR(A) DE CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**, em 11/04/2022, às 13:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [h
p://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?
acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0309035** e o código CRC **81780512**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.004537/2022-50

SEI nº 0309035

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000

Telefone: (31)3559-1596 - www.ufop.br

AGRADECIMENTOS

Em um país onde a pesquisa e o ensino são tidos como gasto e não investimento, o sucesso de uma pesquisa só é possível com a colaboração e boa vontade de professores, técnicos e estudantes das instituições de ensino. Toda pesquisa é relevante em sua área de conhecimento e necessária para melhoria do bem-estar e qualidade de vida como um todo. Por trás de todo desenvolvimento tecnológico há um pesquisador em um laboratório que, muitas vezes, é mal equipado ou que não possui recursos suficientes. Dito isto, não posso deixar de agradecer:

À Rede Temática de Engenharia de Materiais (REDEMAT/UFOP) pela oportunidade de estar em uma pós-graduação;

Aos professores Kátia Novack, Guilherme Brigolini e Cristiane Finzi pelas orientações e trocas de conhecimento;

Ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMC²) da UFOP pelo espaço e ajuda na realização deste trabalho;

Ao Laboratório de Tratamentos Térmicos e Microscopia Óptica (LTM) da UFOP pela preparação e tratamento das amostras recebidas;

Ao NanoLab pelas análises realizadas, especialmente à Vânia;

À CAPES pelo apoio e fomento da pesquisa.

Também não posso deixar de agradecer aos amigos me apoiaram ao longo do caminho:

Aos meus amigos da graduação, Ana Luiza, Aurélio e Betânia, por estarem presentes e comemorarem cada passo comigo! Amo vocês;

À República Imprevisto, minha casa em Ouro Preto;

E à amiga Nathália, que sempre esteve solícita quando o assunto era pesquisa, seja pra comemorar um bom resultado ou só tomar um café e reclamar dos resultados ruins.

O mestrado abriu portas para mim e hoje tenho certeza que meu lugar é na sala de aula, passando conhecimento e também aprendendo com os alunos. A educação muda o mundo e vivo nela uma revolução. Obrigada!

SUMÁRIO

Capítulo 1. Introdução.....	1
Capítulo 2. Objetivos	3
2.1 Objetivos Gerais	3
2.2 Objetivos Específicos	3
Capítulo 3. Revisão Bibliográfica	4
3.1 Fibras naturais	4
3.1.1 Histologia vegetal	4
3.1.2 Epiderme.....	7
3.1.3 Propriedades mecânicas da fibra vegetal.....	8
3.2 Moringa <i>oleifera</i>	9
3.3 Produtos de hidratação do cimento e zona de transição.....	10
3.1.4 Adesão e interface fibra/matriz.....	12
3.1.5 Hidróxido de cálcio e as fibras naturais.....	14
Capítulo 4. Metodologia	15
4.1 Caracterização das fibras de Moringa <i>oleifera</i>	15
4.1.1 Teor de extrativos totais.....	15
4.1.2 Teor de cinzas	16
4.1.3 Teor de lignina	16
4.1.4 Umidade natural.....	18
4.1.5 Teor de absorção de água	18
4.1.6 Massa específica	18
4.2 Preparação dos corpos de prova	19
4.1.7 Caracterização dos corpos de prova	21
4.1.8 Caracterização morfológica dos corpos de prova.....	21
Capítulo 5. Resultados e discussão	23
5.1 Caracterização das fibras de Moringa <i>oleifera</i>	23
5.1.1 Caracterização química.....	23
5.1.2 Caracterização física.....	24

5.2 Agregado miúdo	28
5.3 Ensaio do compósito.....	29
Capítulo 6. Conclusões	43
6.1 Sugestão para trabalhos futuros.....	44
Capítulo 7. Bibliografia.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Vagem, sementes e folhas da Moringa oleifera (Fonte: Trade Winds Fruit)	1
Figura 3.1: Classificação de fibras vegetais (adaptado de Lopes, 2017)	4
Figura 3.2: Constituição estrutural de uma fibra vegetal (Silva, 2003 apud Rong et al. 2001) .	6
Figura 3.3: Esquema de alguns campos de pontoação. A a D - Vista em corte (porção superior) e vista frontal (porção inferior). A' a D' - Detalhe da estrutura em corte (Apezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro, 2012).....	7
Figura 3.4: Propriedades de fibras vegetais e fibras poliméricas (adaptado de Silva, 2003).....	8
Figura 3.5: Países em que a moringa é encontrada (Furlan, 2013)	9
Figura 3.6: Casca da semente da Moringa oleifera	10
Figura 3.7: Desenvolvimento típico dos produtos de hidratação do cimento (Domone, 1994)	12
Figura 5.1: Detalhe da casca da semente de Moringa oleifera.....	25
Figura 5.2: Micrografia da fibra onde observa-se (a) vista frontal da epiderme da parte escura da casca da semente de moringa e (b) região parenquimática contendo esclereides e células parenquimáticas com barras de espessamento lignificadas.....	26
Figura 5.3: Detalhe das esclereides (ou células pétreas)	26
Figura 5.4: Detalhe da epiderme (a) parte escura da casca e (b) parte clara da casca (asa).....	27
Figura 5.5: Mapa de elementos da fibra de moringa obtido por EDS.....	28
Figura 5.6: Curva granulométrica do agregado miúdo	29
Figura 5.7: Média dos espalhamentos das argamassas	30
Figura 5.8: Consistência da argamassa de referência REF-02 no flow-test.....	30
Figura 5.9: Consistência da argamassa com fibras AF10-02 no flow-test.....	31
Figura 5.10: Aspecto dos corpos de prova	31
Figura 5.11: Velocidade de propagação do pulso dos corpos de prova aos 7 dias	33
Figura 5.12: Velocidade de propagação de pulso dos corpos de prova aos 28 dias.....	33
Figura 5.13: Resultados do ensaio de compressão para 7 dias.....	35
Figura 5.14: Resultados do ensaio de compressão para 28 dias.....	35
Figura 5.15: Distribuição das fibras no corpo de prova cilíndrico AF10-02 rompido por compressão aos 7 dias	36
Figura 5.16: Micrografia da amostra AF10-01 rompida aos 28 dias com aumento de 500x...	37
Figura 5.17: Micrografia da amostra AF50-01 rompida aos 28 dias com aumento de 100x...	38

Figura 5.18: Micrografia da amostra AF10-02 rompida aos 7 dias com aumento de (a) 1000x e (b) 3000x	39
Figura 5.19: Micrografia da amostra AF10-01 rompida aos 7 dias com aumento de 5000x...	39
Figura 5.20: Micrografia da amostra AF25-01 rompida aos 7 dias com aumento de 5000x...	40
Figura 5.21: Micrografia da amostra AF10-02 rompida aos 28 dias com aumento de 5000x.	41
Figura 5.22: Micrografia da amostra AF75-01 rompida aos 28 dias com aumento de 3000x.	41
Figura 5.23: Micrografia e espectro da região, obtida por EDS, da amostra AF25-01 rompida aos 7 dias com aumento de 3000x.....	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Composição química provável de algumas fibras vegetais, % em peso (adaptado de Silva, 2003)	5
Tabela 3.2: Principais produtos de hidratação do Cimento Portland (adaptado de Bezerra (2006)).....	11
Tabela 4.1: Relação água/cimento e espalhamento das argamassas de referência	20
Tabela 4.2: Traços e suas respectivas consistências	21
Tabela 5.1: Teor de extrativos totais	23
Tabela 5.2: Teor de lignina	23
Tabela 5.3: Composição da fibra.....	24
Tabela 5.4: Resultados da caracterização física	24
Tabela 5.5: Caracterização da areia.....	28
Tabela 5.6: Critério utilizado para a avaliação da qualidade do concreto (adaptado de Cánovas (1988)	32

RESUMO

Como uma alternativa atrativa aos materiais de engenharia tradicionais, o estudo de materiais compósitos com fibras naturais vem avançando cada vez mais. Isto se deve ao fato de que as fibras se apresentam como uma solução de baixo custo, boa disponibilidade e baixo impacto ambiental. Seguindo a tendência de se obter materiais mais baratos e sustentáveis, este projeto aborda o estudo de compósito com matriz cimentícia de Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP-V ARI) e reforço de fibra da Moringa *oleifera*. Ensaio com a casca *in natura* foram realizados para melhor conhecimento do material estudado. Quimicamente, foi determinado o teor de cinzas, teor de lignina e o teor de extrativos totais. Fisicamente, foi determinado o teor de absorção, a umidade natural e a massa específica da fibra. A topografia e um mapa de elementos da fibra foram observados através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e da Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS). Depois, a casca da semente da moringa foi misturada a dois traços distintos de argamassa, nos teores de 0,0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10% em relação a massa de cimento. Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos, submetidos ao ensaio de Velocidade de Pulso Ultrassônico e Resistência à Compressão, aos 7 e 28 dias. Estes corpos de prova rompidos foram analisados em MEV e EDS, para análise da interface fibra/matriz e compostos formados devido à adição da fibra. Os resultados mostram que a presença da fibra não permitiu a formação de compostos hidratados de cimento suficientes, resultando em uma matriz porosa, com presença de fissuras e baixa resistência mecânica. Há grande presença de portlandita na interface da fibra e da matriz de cimento, e conseqüente meio alcalino, o que ataca a fibra natural. Com isto, a adição de fibra neste tipo de compósito impossibilita a sua utilização onde há necessidade de resistência mecânica.

Palavras-chave: *Compósito cimentício, Moringa oleifera, argamassa, fibra natural*

ABSTRACT

As an attractive alternative to traditional engineering materials, the study of composite materials with natural fibers is advancing more and more. This is due to the fact that the fibers present themselves as a low cost solution, good availability and low environmental impact. Following the trend of obtaining cheaper and more sustainable materials, this project addresses the study of composite with cementitious matrix of Portland Cement of High Initial Resistance (CP-V ARI) and fiber reinforcement of *Moringa oleifera*. Tests with the fresh husk were performed to better understand the studied material. Chemically, ash content, lignin content and total extractives content were determined. Also, absorption content, natural moisture and specific density of the fiber were determined. The topography and a map of fiber elements were observed using the Scanning Electron Microscope (SEM) and Dispersive Energy Spectroscopy (EDS). Then, the moringa seed husk was mixed with two different mortar dosages, in the contents of 0.0%, 2.5%, 5.0%, 7.5% and 10% by weight of cement. Cylindrical specimens were made, submitted to the Ultrasonic Pulse Speed test and Compression Strength test, at 7 and 28 days. These broken specimens were analyzed in SEM and EDS, for analysis of the fiber/matrix interface and compounds formed due to the addition of the fiber. The results show that the presence of the fiber delayed the formation of hydrated cement compounds, resulting in a porous matrix, with the presence of cracks and low mechanical resistance. There is a large presence of portlandite at the fiber and cement matrix interface, and consequently alkaline environment, which attacks the natural fiber. The addition of moringa fiber in this type of composite makes it impossible to use it where there is a need for mechanical strength.

Keywords: *Cement composites, Moringa oleifera, mortar, natural fiber*

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Materiais compósitos de matriz cimentícia vêm sendo utilizados, cada vez mais, em grandes estruturas de engenharia, por exemplo, pontes e edifícios. Essa ampliação em seu uso é devido ao fato que os materiais compósitos combinam boas características de resistência, densidade e dureza. Além disto, o desenvolvimento de novos materiais e métodos de produção permite que a gama de aplicação desses materiais seja ampliada (Mahajan e Aher, 2012).

Como uma alternativa atrativa aos materiais de engenharia tradicionais, o estudo de materiais compósitos com fibras naturais vem avançando cada vez mais. Isto se deve ao fato de que as fibras se apresentam como uma solução de baixo custo, boa disponibilidade e baixo impacto ambiental, contrário aos tradicionais materiais de engenharia, como aço (Ditterberg e Gangarao, 2012).

A *Moringa oleifera* Lam. (moringa) (Figura 1.1) é uma planta tropical e tem diversas aplicações, como no ramo industrial (óleo extraído da semente na indústria cosmética), medicinal (todas as partes da planta), condimentar (raízes) e combustível (madeira e óleo) (Rodrigues, Muniz, *et al.*, 2016). O potencial de exploração e uso da moringa tem atraído a comunidade científica e produtores em todo o mundo.



Figura 1.1: Vagem, sementes e folhas da *Moringa oleifera* (Fonte: Trade Winds Fruit)

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC), apesar da crise econômica que atingiu o setor, o Brasil encontra-se como o 4º maior consumidor mundial de produtos de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (HPPC). Ainda, de acordo com Almeida, Sá, *et al.* (2017), o Brasil é o país que mais utiliza o óleo da moringa na indústria cosmética. A extração do óleo da semente gera resíduos na indústria cosmética, como a torta e a casca da semente.

A utilização da Moringa *oleifera* como reforço em compósitos poliméricos não é novidade. Nayak e Khunita (2019) obtiveram sucesso ao desenvolver compósitos de politereftalato de etileno (PET) com fibras mercerizadas da casca da fruta de moringa. Além de melhorar as propriedades mecânicas da matriz de PET (alcançando resistência à tração de 65,92 MPa e tração na flexão de 98,49 MPa), também confirmou maior estabilidade térmica dos compósitos.

Estudos de Bharath, Madhu, *et al.* (2020) indicam que a fibra da moringa pode ser considerada como uma fibra ecológica e com potencial para utilização em biocompósitos com aplicação em produtos de engenharia. Aplicações bem sucedidas desta fibra também são encontradas em matrizes de polipropileno (PP) (Sá Filho, 2013) e em matrizes de polietileno de alta densidade (PEAD) (Aprelini, 2016).

No entanto, a utilização da fibra da moringa em matrizes não poliméricas, como é o caso da matriz cimentícia, é pouco abrangente. Trabalhos como Susilorini, Hardjasaputra, *et al.* (2014) e Susilorini, Santosa, *et al.* (2016) utilizam o pó da semente da moringa com e sem casca como polímero natural em argamassas modificadas para maior resistência a ambientes agressivos. Os estudos se mostraram muito promissores, pois o pó da moringa agiu como um aditivo que coagula íons metálicos na água.

Desta forma, afim de usar a casca da semente da moringa em uma nova aplicação, esta pesquisa irá abordar o estudo de compósito com matriz cimentícia e reforço de fibra da casca da semente da Moringa *oleifera*.

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral deste trabalho é o estudo da influência da adição de fibras da *Moringa oleifera* em compósitos cimentícios.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos tem-se:

- Análise das propriedades físicas e químicas das fibras da casca da semente da *Moringa oleifera*;
- Comparação de propriedades do compósito cimentício com e sem adição de fibras naturais, abrangendo a análise microestrutural e mecânica;
- Verificação da influência do teor de fibra adicionada ao compósito;

CAPÍTULO 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 FIBRAS NATURAIS

As fibras naturais utilizadas na produção de compósitos podem ser subdivididas em fibras de origem animal e vegetal. Por sua vez, as de origem vegetal são obtidas dos caules, folhas, frutos ou sementes de vegetais, como demonstrado com alguns exemplos na Figura 3.1.

Escolher utilizar uma fibra vegetal em detrimento de uma fibra sintética representa uma redução no impacto no meio ambiente. Dentre as vantagens de se utilizar essa matéria prima, estão as boas propriedades mecânicas, térmicas e de isolamento acústico, baixa densidade e baixo custo de extração. Além disso, são fontes renováveis e de fácil obtenção.

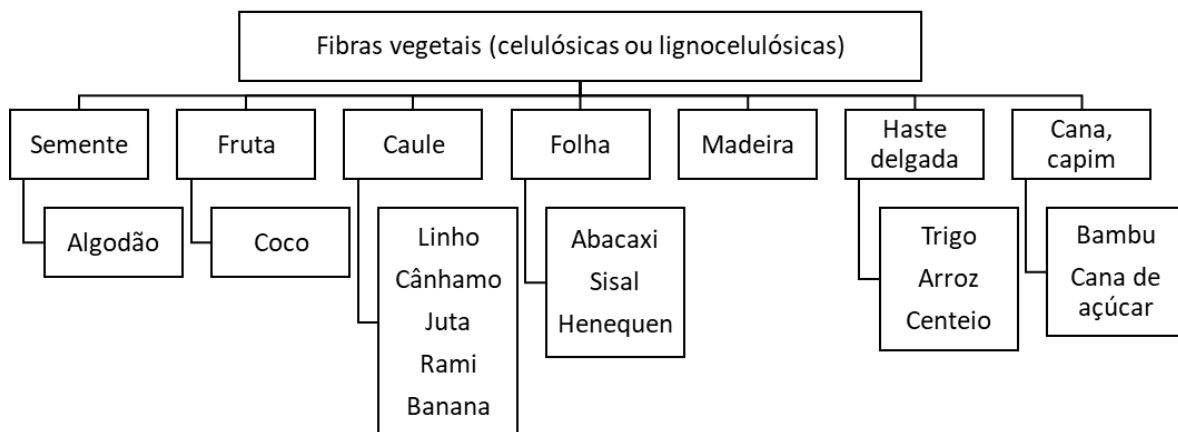


Figura 3.1: Classificação de fibras vegetais (adaptado de Lopes, 2017)

De acordo com a EMBRAPA (2017), o Brasil é o quinto país no mundo com maior área cultivável. Isto demonstra um grande potencial de recursos renováveis no país. As fibras vegetais são cada vez mais atraentes para pesquisadores e indústrias, sempre em busca de se agregar valor aos resíduos gerados pela população e pela própria indústria, assim surgindo materiais alternativos e de menor custo (Lopes, 2017).

3.1.1 HISTOLOGIA VEGETAL

Apezato-da-Glória e Carmello-Guerreiro (2012) definem a anatomia vegetal como o ramo da botânica que estuda a estrutura interna dos órgãos vegetais, seja partes ou órgãos considerando sua posição no corpo vegetal ou durante seu desenvolvimento. Já a histologia

vegetal, de acordo com as mesmas autoras, é o estudo específico dos tecidos vegetais. Os tecidos são grupos de células que geralmente realizam as mesmas funções.

Fibras vegetais consistem basicamente de: celulose, hemicelulose e lignina, que são moléculas polares. Coexistindo com menores percentuais de pectina, cera e substâncias solúveis em água. A porcentagem individual desses componentes varia com os diferentes tipos de fibras (Tabela 3.1). Esta variação também pode ser efetuada pelas condições de cultivo e colheita.

Tabela 3.1: Composição química provável de algumas fibras vegetais, % em peso (adaptado de Silva, 2003)

	Sisal	Coco	Algodão	Juta	Linho	Rami	Kenaf
Celulose	67-78	36-43	82,7	61-71,5	64,1	68,6	31-39
Hemicelulose	10-14,2	0,15-0,25	5,7	13,6-20,4	16,7	13,1	21,5
Lignina	8-11	41-45	-	12-13	2,0	0,6	15-19
Pectina	10	3-4	5,7	0,2	0,2	1,9	-
Solúveis em água	16,2	-	1,0	1,1	3,9	5,5	-
Ceras	2	-	0,6	0,5	0,5	0,3	-
Ângulo espiral	20	41-45	-	8,0	10,0	7,5	-
Teor de umidade	11,0	-	10,0	12,6	10,0	8,0	-

A celulose é um polissacarídeo semicristalino e é responsável pela natureza hidrofílica das fibras. É o componente principal da parede celular vegetal e é formada por monômeros de glicose unidos por ligação β -1,4 (Apezato-da-Glória e Carmello-Guerreiro, 2012). Da parede celular, é o polissacarídeo mais estável, e, unido por pontes de hidrogênio intra e intermolecular, forma uma estrutura filamentosa chamada microfibrila (Apezato-da-Glória e Carmello-Guerreiro, 2012).

A hemicelulose é um polissacarídeo completamente amorfo com menor peso molecular em comparação com a celulose. Sua cadeia é ramificada e composta por diferentes açúcares com cadeiras de 5 e 6 carbonos. A natureza amorfa das hemiceluloses resulta em ser parcialmente solúvel em água e soluções alcalinas (Rowell, Han e Rowell, 2000).

Celulose e hemicelulose são ligadas por ligações de hidrogênio e juntas são conhecidas como holocelulose, que é considerado um componente estrutural da fibra. É o constituinte majoritário das fibras, geralmente presente em torno de 65-70% da massa seca da planta. (Rowell, Han e Rowell, 2000).

Por fim, a lignina é um polímero amorfo, composta principalmente de aromáticos e possui unidades poliméricas de fenilpropano. É um componente hidrofóbico da fibra e age

como um material de cementação, que une as várias fibras elementares, formando a chamada fibra técnica. A principal função da lignina é conferir rigidez à parede celular.

A hemicelulose age como uma interface entre a microfibrila de celulose e a lignina (Silva, 2003). Cada fibra elementar, de forma geral, é composta por várias microfibrilas em espiral ao longo do eixo da fibra, com um lúmen no centro (Figura 3.2).

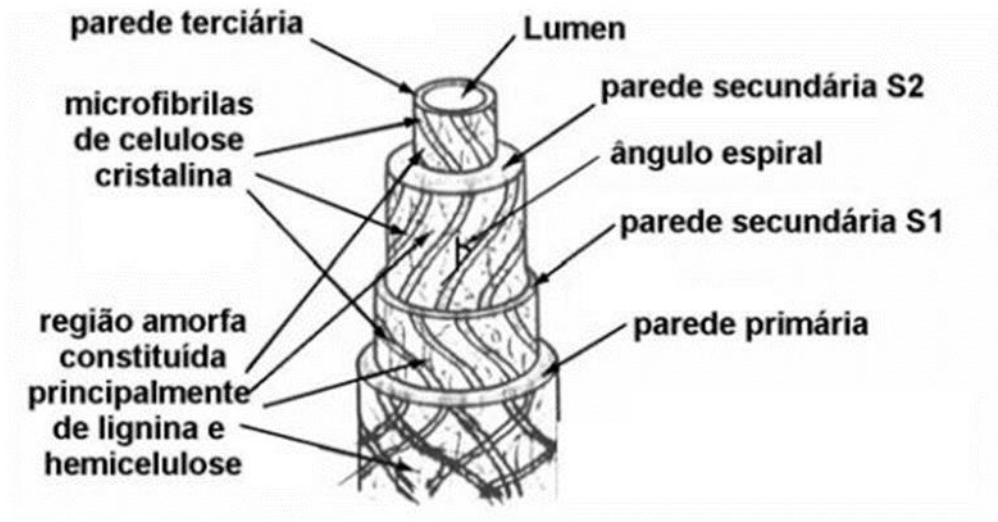


Figura 3.2: Constituição estrutural de uma fibra vegetal (Silva, 2003 apud Rong et al. 2001)

Dependendo do tipo de parede celular, muitas outras substâncias orgânicas e inorgânicas são encontradas em quantidades variáveis (Apezato-da-Glória e Carmello-Guerreiro, 2012):

1. Orgânicas:

a. Proteínas

i. Extensina: confere rigidez à parede

ii. α -expansiva: atua na expansão irreversível da parede

b. Lignina

c. Lipídios (tornam a parede celular impermeável à água)

i. Suberina

ii. Cutina

iii. Ceras

2. Inorgânicas:

- a. Oxalato de cálcio
- b. Carbonato de cálcio

Os campos de pontuação (Figura 3.3) permitem a intercomunicação da célula vegetal e são formados quando há menor deposição de microfibrilas de celulose durante a formação da parede vegetal.

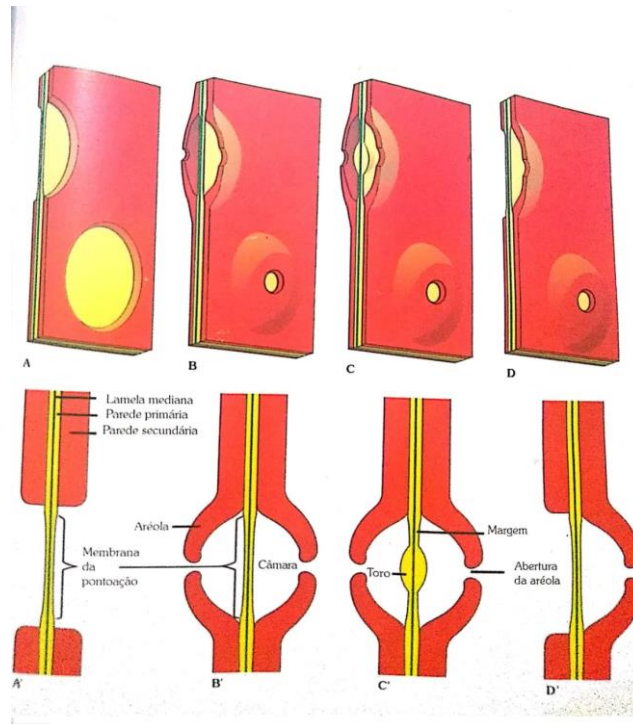


Figura 3.3: Esquema de alguns campos de pontuação. A a D - Vista em corte (porção superior) e vista frontal (porção inferior). A' a D' - Detalhe da estrutura em corte (Apezato-da-Glória e Carmello-Guerreiro, 2012)

3.1.2 EPIDERME

A epiderme é a parte mais externa dos órgãos vegetais e está em contato direto com o meio externo, sendo sua principal função o revestimento. Ela impede a invasão de agentes patogênicos, restringe a perda de água e, ao mesmo tempo, permite sua passagem com sais minerais, além de fazer as trocas gasosas com o meio (Apezato-da-Glória e Carmello-Guerreiro, 2012).

A parede celular da epiderme apresenta cutina. A cutina é formada por poliésteres insolúveis de alto peso molecular (lipídios). Se encontra impregnada às paredes epidérmicas ou está presente como uma camada separada por pectina (assim, chama-se de cutícula). A cutícula pode apresentar ornamentação e é uma camada protetora.

3.1.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA FIBRA VEGETAL

As propriedades mecânicas da fibra dependem diretamente da composição da sua estrutura (Figura 3.4). A composição e a orientação das fibrilas são únicas para cada fibra. Cada fibra pode ser extraída de uma parte de sua planta original, e suas propriedades são únicas. Estas propriedades estão relacionadas com o diâmetro e comprimento da fibra, o seu grau de cristalinidade, condições de plantio e tratamento recebido pela fibra (Marinelli, Monteiro, *et al.*, 2008). Como a obtenção deste tipo de material não possui um controle tecnológico, há uma grande variabilidade nas propriedades de um mesmo grupo de fibras naturais (Silva, 2004).

Apesar de possuírem excelente resistência mecânica, trabalhar com fibras naturais exige um cuidado maior quanto ao seu meio de utilização (Ehrenbring e Tutikian, 2016). Isto porque, segundo os mesmos autores, *in natura*, as fibras naturais não suportam ataques de reagentes químicos como álcalis, presentes no meio em que são inseridas.

Fibra	Diâmetro (µm)	Densidade (g/cm ³)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Alongamento (%)
Algodão	16-21	1,5-1,6	287-597	5,5-12,6	7-8
Juta	200	1,3	393-773	26,5	1,5-1,8
Linho	-	1,5	345-1035	27,6	2,7-3,2
Cânhamo	-	-	690	-	1,6
Rami	-	1,5	400-938	61,4-128	3,6-3,8
Sisal	50-300	1,45	511-635	9,4-22	3-7
Coco	100-450	1,15-1,45	131-175	4-13	15-40
Vidro - E	8-14	2,5	2000-3500	70	1,8-3,2
Vidro - S	10	2,5	4590	86	5,7
Kevlar-49	12	1,48	2800-3792	131	2,2-2,8
Carbono	7-10	1,6-1,9	4000	230-240	1,4-1,8

Figura 3.4: Propriedades de fibras vegetais e fibras poliméricas (adaptado de Silva, 2003)

Há uma enorme variedade entre as fibras vegetais estudadas, bem como seu campo de aplicação. Zhang, Tan, *et al.* (2020) estudaram o efeito da adição de fibras de juta em concretos de ultra-alto desempenho (UHPC). Neste trabalho, foi feita a substituição das tradicionais fibras de polipropileno por fibras de juta. Apesar da fibra natural ter um comportamento crítico, quando exposta a altas temperaturas, em relação a fibra sintética, verificou-se que 10 kg/m³ de juta são necessários para eliminar a fragmentação do UHPC, em oposição a 3 kg/m³ de polipropileno.

O estudo e aplicação das fibras de curauá pode ser encontrado nos trabalhos de Teixeira, Santos, *et al.* (2019) e Zukowski, Silva e Toledo Filho (2018). O primeiro verifica a influência do teor e comprimento das fibras de curauá em compósitos cimentícios extrudados, obtendo

resultados satisfatórios para adição de 2% de fibra com comprimento de 10mm, superiores aos da literatura, e uso do compósito voltado para revestimento em ambientes internos. O segundo adiciona fibras tratadas em dois estágios de curauá em concretos de endurecimento por deformação. Os tratamentos feitos antes da adição na matriz (ciclos de lavagem e tratamento alcalino) se mostraram eficientes para melhorar a zona de transição entre reforço e matriz.

Diaz (2016) estudou o comportamento mecânico de compósitos cimentícios reforçados com fibras de pupunha, conseguindo resultados mecânicos superiores quando comparados aos às matrizes sem adição de fibra. Izquierdo (2011) utilizou fibras de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural. Em seu trabalho, bons resultados foram encontrados para blocos e prismas, assim como em mini paredes, para o comprimento de fibra de 20mm e 1% de adição.

3.2 MORINGA OLEIFERA

A *Moringa oleifera* Lam. (moringa) é uma espécie leguminosa, perene e arbórea, da família Moringaceae e é nativa da Índia, hoje distribuída em várias regiões tropicais (Figura 3.5), como na região nordeste do Brasil. Ela tem a capacidade de crescer em locais com solos pobres de nutrientes e de clima quente e seco (como é o caso da região árida e semi-árida do Brasil) e não suporta inundações e supersaturação do solo. A moringa se adapta melhor em solos arenosos com boa drenagem e em locais com baixa pluviosidade (Furlan, 2013). Nestas regiões, a moringa é conhecida como Lírio Branco ou Acácia-Branca (Shiguetomo, 2013). Originalmente, foi introduzida no Brasil em 1950 como planta ornamental, e desde então tem sido difundida por ser uma planta de uso múltiplo.

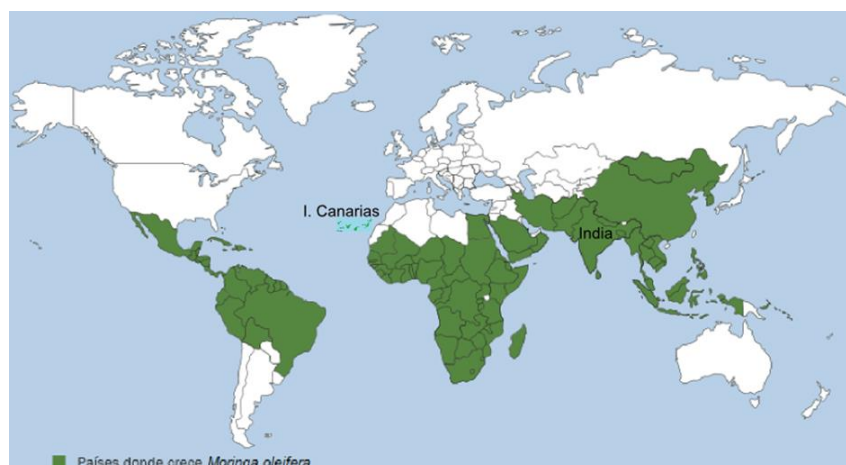


Figura 3.5: Países em que a moringa é encontrada (Furlan, 2013)

Os frutos da moringa são suas vagens, que contém três sulcos longitudinais, de 20 a 45 cm e 2 a 2,5 cm de largura. Cada vagem contém aproximadamente 20 sementes globulares, protegidas por sua casca marrom escura com asas cor de creme (Figura 3.6). Em relação ao seu cultivo, a moringa tem grande velocidade de crescimento, facilidade de propagação e a capacidade de aceitar podas grandes (Furlan, 2013).



Figura 3.6: Casca da semente da Moringa oleifera

3.3 PRODUTOS DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO E ZONA DE TRANSIÇÃO

A hidratação do cimento gera os produtos de hidratação. O comportamento do cimento endurecido está fortemente relacionado às condições em que as reações de hidratação ocorrem. Algumas das fases formadas estão apresentadas na Tabela 3.2.

A hidratação do cimento é dividida em três fases: período dormente, pega e endurecimento. Durante o período dormente, a fluidez da pasta mantém-se relativamente constante e a reatividade da mistura é baixa. Entre 2 e 4 horas depois, começa o início de presa, onde a resistência ainda é muito baixa. O real endurecimento começa apenas com o fim de presa, onde a reatividade da reação é máxima (Bezerra, 2006).

Tabela 3.2: Principais produtos de hidratação do Cimento Portland (adaptado de Bezerra (2006))

Fase	Simbologia
Silicato de cálcio hidratado	C-S-H
Hidróxido de Cálcio	CH
Etringita	$C_6AS_3H_{32}$
Monossulfato	C_4ASH_{12}
Hidrogranada	C_3AH_6
Hidróxido de Ferro	FH_3

Ao entrar em contato com a água, o sulfato de cálcio e os compostos de cálcio começam a entrar em solução, e essa fase líquida se torna rapidamente saturada de vários íons (Mehta e Monteiro, 2014). A interação entre cálcio, sulfato, aluminato e íons hidroxilas forma o trissulfoaluminato de cálcio hidratado, conhecido como etringita (Equação 3.1).



Pouco tempo depois, começam a aparecer cristais de hidróxido de cálcio e de silicato de cálcio hidratado ((Equação 3.2 e (Equação 3.3), que começam a preencher os espaços vazios que eram ocupados por água e partículas de cimento em dissolução (Mehta e Monteiro, 2014).



Depois de alguns dias, a etringita, que é um composto instável, se transforma em cristais de monossulfato ((Equação 3.4), que tem formato hexagonal bem definido. Essa característica também é comum dos aluminatos de cálcio hidratados, formador em cimentos com baixo teor de sulfato ou alto teor de C_3A (Mehta e Monteiro, 2014).



Na Figura 3.7 estão as quantidades acumuladas de cada produto ao longo do tempo. Ao fim de 1 dia de hidratação, é evidente a maior presença de C-S-H e CH (Domone, 1994). Vários fatores podem alterar a quantidade desses produtos no cimento endurecido, como a temperatura, presença de álcalis, pressão, umidade relativa do ar, superfície específica, relação água/cimento,

entre outros (Mehta e Monteiro, 2014). Esses fatores podem alterar as características do produto final, como a resistência mecânica e a cristalinidade, de acordo com os mesmos autores.

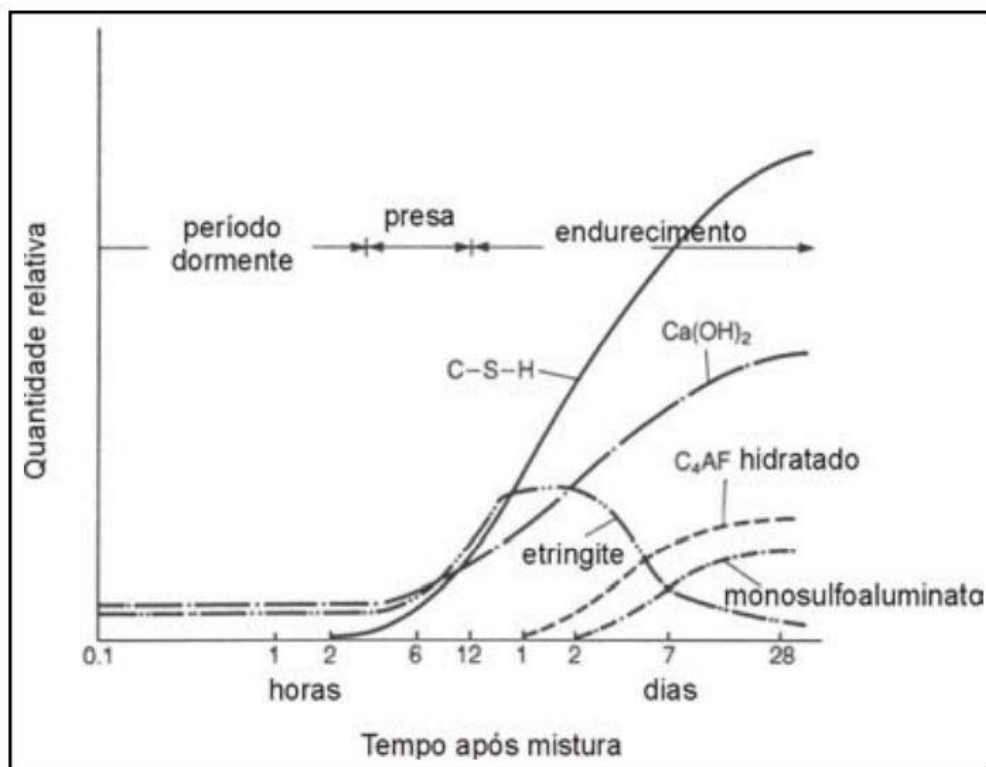


Figura 3.7: Desenvolvimento típico dos produtos de hidratação do cimento (Domone, 1994)

A pasta de cimento e o cimento endurecido, apesar de compostos pelos mesmos elementos, possuem propriedades muito distintas. Também, a microestrutura na zona de transição ou interface difere da matriz de cimento. A zona de transição é um concentrador de tensão e, portanto, a região mais crítica em uma argamassa ou concreto. A microestrutura na zona de transição tem grande influência na rigidez e no módulo de elasticidade do cimento endurecido (Mehta e Monteiro, 2014).

3.1.4 ADESÃO E INTERFACE FIBRA/MATRIZ

A presença da fase dispersa evita a ruptura brusca do material, além de diminuir a área total da fissura na matriz e da área total de fissuras ao longo do compósito. (Choudounsky e Vicili, 2007). Isto se deve ao fato de que a incorporação de fibras faz com que o compósito cimentício passe a apresentar um comportamento pseudo-dúctil ao invés de frágil (Guimarães, Silva Filho e Pacheco, 2011). A adição da fibra também pode ajudar a amenizar o fenômeno de

fissuração precoce da argamassa, comum durante a cura deste tipo de compósito (Mazzoli, Monosi e Plescia, 2015).

O que define a eficiência do compósito produzido é a força de ligação ou adesão entre as fases. A resistência final do compósito está diretamente relacionada com esta ligação, ou, segundo Callister (2002), uma ligação adequada é essencial para maximizar a transmitância da tensão de uma matriz fraca para as fibras mais fortes.

Um fator que deve ser considerado ao ser estudado o desempenho de compósitos reforçados com fibras naturais é a interface entre matriz e reforço e a adesão e interação da fibra com a matriz. A matriz deve unir firmemente as fibras, distribuir uniformemente a carga aplicada e transferi-la para as fibras (Wang, Zheng e Zheng, 2011).

Somente com o desenvolvimento de uma ligação química ou interação física na interface é possível obter adesão entre as partes. Este estudo se faz necessário para melhor dimensionar a mistura e obter um produto final que apresente baixo custo e desempenho exigido (Guimarães, Silva Filho e Pacheco, 2011).

Cada sistema reforço/matriz é único e possui uma característica interfacial específica. Conhecer as propriedades do compósito resultante envolve o estudo das suas interfaces/interfases e pode ser feito de duas formas: do ponto de vista estrutural e morfológico ou do ponto de vista essencialmente mecânico (Neto e Pardini, 2006).

Considerando a microestrutura das fases envolvidas, alguns modelos explicam o mecanismo de adesão de um compósito. Algumas delas são a interdifusão, atração eletrostática, ligação química, sinterização reativa e adesão mecânica (Neto e Pardini, 2006). No presente trabalho, destaca-se a ligação química e física, devido à incompatibilidade do reforço e da matriz, e a adesão mecânica, pela geometria da fase reforço.

A ligação química ocorre quando é formado um grupamento químico na superfície da fibra e um grupo químico na superfície da matriz (Neto e Pardini, 2006). A adesão depende do número e tipo de ligações formadas. A ligação química pode ser melhorada com o tratamento da fibra (mercerização) ou substituição parcial de Cimento Portland por caulinita.

Quando o reforço é de uma fibra vegetal, a incompatibilidade se torna mais evidente devido às características heterogêneas deste tipo de material. A diferença de umidade entre as fibras adicionadas pode causar a movimentação diferencial, o que leva à micro fissuração da matriz cimentícia. Este fenômeno é conhecido como dano progressivo e pode levar a uma baixa resistência mecânica do compósito por afetarem a ligação entre fibras e matriz (Silva, 2002).

A rugosidade superficial e porosidade da fibra explicam a adesão mecânica entre reforço e matriz. Ela envolve o ancoramento mecânico da interface (Neto e Pardini, 2006).

3.1.5 HIDRÓXIDO DE CÁLCIO E AS FIBRAS NATURAIS

É importante salientar neste ponto os efeitos da hidratação do Cimento Portland, com consequente liberação de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2 ou CH) sobre as fibras naturais. Estes tipos de compósitos tendem a sofrer um processo de envelhecimento, o que reduz sua resistência (Savastano Jr. e Agopyan, 1993). O que ocorre é a migração do Ca(OH)_2 , que por mineralização, altera a estrutura da fibra natural (Silva, Toledo Filho, *et al.*, 2010).

De acordo com Savastano Jr. e Agopyan (1999), o Ca(OH)_2 impregna o lúmen e a parede das fibras, assim causando um enfraquecimento precoce da fibra vegetal. Além disso, há a variação do volume das fibras com a absorção de água, o que também causa a perda precoce de resistência mecânica.

CAPÍTULO 4. METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DE MORINGA *OLEIFERA*

A pesquisa foi dividida em etapas, a começar pela escolha da planta de origem das fibras. A *Moringa oleifera* foi a escolhida, com foco nas fibras da casca da semente. O material foi fornecido pelo Laboratório de Síntese e Desenvolvimento de Polímeros e Compósitos (LAPCOM) da UFOP, obtidos de diversos estados, como do Ceará e Goiás.

Como não havia estudo prévio da aplicação desta fibra em compósitos cimentícios, optou-se por utilizá-la sem tratamento prévio. Além disso, para melhor conhecer as propriedades desta fibra, além da literatura existente (Aprelini, 2016), a casca foi preparada para ensaios de acordo com as normas TAPPI T 264 cm-97 (1997) e TAPPI 257 cm-02 (2002). Os materiais lignocelulósicos foram reduzidos a partículas menores que 1,0 mm em liquidificador industrial e, em seguida, peneirados para obtenção da fração 40/60 mesh.

Foi realizada a caracterização química de teor de extrativos totais, teor de cinzas e teor de lignina, de acordo com as normas TAPPI T 204 om-97 (1997), TAPPI 211om-02 (2002) e TAPPI 222 om-02 (2002), respectivamente.

A caracterização física foi feita com o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). No laboratório, foi determinada a umidade natural, o teor de absorção de água e a massa específica da fibra.

Para conhecer a morfologia da casca da semente de moringa, o MEV foi utilizado com Elétrons Secundários (SE). Neste modo, o contraste de imagem é dado principalmente pela topografia da amostra e, assim, pode-se ter uma ideia mais real da topografia analisada.

4.1.1 TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS

Extrativos são compostos que não pertencem à parede celular. São compostos de baixa ou média massa molecular, que podem ser extraídos em água ou em solventes orgânicos. Os constituintes solúveis em água são sais ou minerais orgânicos, açúcares e polissacarídeos. Já os compostos solúveis em solventes orgânicos são os ácidos e ésteres graxos, álcoois de cadeia longa, esteroides, compostos fenólicos e glicosídeos (Silvério, Barbosa, *et al.*, 2006).

Para esta determinação, as fibras da casca da *Moringa oleifera* foram pesadas e dispostas em papel filtro para tratamento prévio em extrator Soxlet, com solução de cicloexano/etanol (1:1 v/v) por 50 horas, removendo assim os extrativos orgânicos.

Após essa extração, as fibras foram colocadas em água em temperatura ambiente por 6 horas, para remoção dos extrativos polares solúveis em água. Em seguida, essas fibras foram secas em estufa até massa constante. A determinação do teor de extrativos totais foi calculada com a diferença das massas inicial e final.

4.1.2 TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas é a quantidade de resíduos inorgânicos ou resíduo mineral fixo (sódio, potássio, magnésio, cálcio, ferro, fósforo, cobre, cloreto, alumínio, zinco, manganês, entre outros) encontrado na fibra, remanescentes da queima em altas temperaturas (Krumreich, Sousa, *et al.*, 2013).

Para esta determinação, os cadinhos foram tarados a 800°C. Neles, foi colocado 1,0g de fibra, e o conjunto foi aquecido externamente com um bico de Bunsen, o que promoveu a combustão lenta da amostra. Quando a chama no interior do cadinho cessou, ele foi colocado na mufla a 800 °C por 4 horas. Depois desse tempo, as amostras foram colocadas em dessecador para esfriar e pesadas até constância de massa.

O cálculo do teor de cinzas foi feito com a Equação 4.1:

$$\text{Teor de cinzas} = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100 \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde:

m_1 é a massa após a queima;

m_2 é a massa antes da queima.

4.1.3 TEOR DE LIGNINA

A determinação do teor de lignina foi feita pelo método Klason, que separa o ensaio em lignina insolúvel e solúvel.

4.1.3.1 TEOR DE LIGNINA KLASON INSOLÚVEL

Foi pesada 1,0g de amostra livre de extrativos, que foi transferido para almofariz com 15 mL de ácido sulfúrico (72%). A mistura foi macerada e colocada em repouso por 24 horas para um maior desfibrilamento e maior eficiência da hidrólise ácida.

Esta mistura foi transferida para um balão volumétrico de 1 litro, que foi completado com 560 mL de água destilada (até o volume). O balão foi aquecido sob refluxo por 4 horas. Em seguida, a lignina insolúvel foi filtrada em um funil de vidro sinterizado nº3, previamente tarado.

O filtrado foi separado para quantificação de lignina solúvel através da técnica de espectroscopia na região ultravioleta (UV). Já o funil com o resíduo foi seco em estufa à $101\pm 1^\circ\text{C}$ por 24 horas. O material foi resfriado em dessecador e pesado até atingir massa constante.

A determinação do teor de lignina insolúvel é dada pela Equação 4.2:

$$T_i(\%) = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100 \quad \text{Equação 4.2}$$

Onde:

T_i é o teor de lignina insolúvel, % em massa;

m_1 : massa de lignina Klason insolúvel;

m_2 : massa da amostra livre de extrativos.

4.1.3.2 TEOR DE LIGNINA KLASON SOLÚVEL

O filtrado obtido anteriormente foi submetido a espectroscopia na região do ultravioleta, sendo avaliadas as absorvâncias nos comprimentos de onda de 280 e 215 nm. A concentração de lignina solúvel foi calculada pela Equação 4.3:

$$L_s = \frac{4,53 \cdot (A_{215}) - A_{280}}{300} \quad \text{Equação 4.3}$$

Onde:

L_s é a concentração de lignina solúvel, em g/L;

A_{215} e A_{280} são os valores para as absorvâncias nos comprimentos de onda de 215 e 280 nm, respectivamente.

Os valores de A_{215} e A_{280} devem ser ajustados, de acordo com a Equação 4.4 e a Equação 4.5, antes de aplicá-los à Equação 4.3, pois os produtos resultantes da degradação da celulose e polioses podem também absorver energia nessa região.

$$A_{215} = 0,15 \cdot C_D + 70 \cdot C_L \quad \text{Equação 4.4}$$

$$A_{280} = 0,68 \cdot C_D + 18 \cdot C_L \quad \text{Equação 4.5}$$

Onde:

CD é a concentração de carboidratos, em g/L;

CL é a concentração de lignina solúvel em g/L.

Assim, o valor de lignina total é calculado somando os valores obtidos para lignina insolúvel e solúvel.

4.1.4 UMIDADE NATURAL

Para a determinação da umidade já presente na fibra, *in natura*, um cadinho foi tarado em balança científica, com precisão de 0,001 g. Uma quantidade da fibra foi pesada e depois colocada em estufa por 24 horas para retirada da água presente. Após esse período, a amostra foi pesada até constância de massa. A umidade natural presente na fibra é obtida com a diferença das massas inicial e final.

4.1.5 TEOR DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

É importante determinar a quantidade de água que a fibra da moringa pode absorver, pois ela será inserida em uma mistura que contém água. Para essa determinação, a fibra *in natura* foi pesada e depois, imersa em água por 24 horas para saturar.

Quando saturada, foi cuidadosamente seca por fora, para a obtenção de uma amostra saturada com superfície seca. As fibras assim foram pesadas e a diferença dos pesos indica a quantidade de água que a fibra absorveu.

4.1.6 MASSA ESPECÍFICA

Há duas massas específicas a serem calculadas: a massa específica real e a aparente. A relação entre a massa do material seco e o seu volume excluindo os poros permeáveis é chamada de massa específica real. Já a massa específica aparente leva em conta esses poros.

Para iniciar essa determinação, dentro de um béquer de 50 mL foi colocada uma quantidade de fibra, previamente pesada, e água até cobrir toda a fibra. O béquer foi tampado e colocado em repouso por 24 horas em temperatura ambiente.

Depois, a fibra foi transferida para uma placa de Petri e deixada secar naturalmente, sendo pesada para obtenção de massa saturada. Em seguida, a fibra foi colocada em uma proveta de 50 mL com volume inicial de 30 mL de água. O volume final, que é o volume V_f mais a fibra, foi de 32 mL.

A solução da proveta foi levada à estufa e colocada pra secar a 60°C até constância de massa, obtendo o valor da massa seca. O valor da massa específica real (ρ_{real}) é dado pela Equação 4.6, em g/cm³:

$$\rho_{real} = \frac{M_s}{(V_f - V_i) - \left[\frac{M_{sat} - M_s}{\rho_{\text{água}}} \right]} \quad \text{Equação 4.6}$$

A massa específica aparente ($\rho_{aparente}$) foi calculada utilizando a Equação 4.7:

$$\rho_{aparente} = \frac{M_s}{(V_f - V_i)} \quad \text{Equação 4.7}$$

Onde, para a Equação 4.6 e Equação 4.7 temos que:

M_{sat} é a massa saturada seca ao ar, em gramas;

M_s é a massa seca em estufa durante 24 horas, em gramas;

V_i é o volume inicial da proveta com água destilada, em cm³;

V_f é o volume final medido na proveta após a inserção da fibra, em cm³;

$\rho_{\text{água}}$ é a massa específica da água, igual a 0,997 g/cm³ em 25°C de temperatura ambiente.

4.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para a adição no compósito, a casca *in natura* foi triturada grosseiramente, em almofariz e utilizou-se a fração passada na peneira 8 da série Tyler (abertura de 2,36 mm).

O cimento escolhido foi o CP V-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial) da marca Nacional. Sua massa unitária (UM) é igual a 0,91 g/cm³. O CP V-ARI foi escolhido por conter menos adições e, portanto, menos variáveis de análise.

O agregado miúdo escolhido foi a areia do tipo comum, proveniente do rio. Ao ser coletada, foi feita a determinação da sua granulometria (ABNT NBR 7181, 1984), da massa específica (ABNT NM 52, 2003) e massa unitária em estado solto (ABNT NBR NM 45, 2006). Para a mistura da argamassa, ela foi utilizada após ser seca em estufa.

A água utilizada na mistura foi retirada diretamente da rede de abastecimento gerenciado pelo Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto (SEMAE).

As misturas de argamassa foram feitas em argamassadeira mecânica, de acordo com a ABNT NBR 13276 (2002), de forma a diminuir variações excessivas para um mesmo traço de argamassa.

Foram utilizados dois traços de referência (REF-01 e REF-02) e, de acordo com o índice de consistência (flow-test) (ABNT NBR 13276, 2002), estabeleceu-se a relação água/cimento da argamassa (Tabela 4.1). O espalhamento da argamassa na mesa de abatimento é parâmetro para determinação da trabalhabilidade da massa. Estabeleceu-se a consistência média de $26 \pm 0,5$ cm para os traços de referência.

Tabela 4.1: Relação água/cimento e espalhamento das argamassas de referência

Tipo	Identificação	Relação água/cimento	Flow-test (média em cm)
1:2	REF-01	0,72	26.2
1:3	REF-02	1,02	25.8

A fibra foi incorporada à argamassa em forma de adição. Logo, as proporções de material (cimento, areia e água) foram constantes para cada adição. Em relação à quantidade de adição da fibra, seguindo a literatura, foram adicionados aos traços de referências as quantidades de 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10% de fibra em relação à massa de cimento da mistura.

Os traços (cimento:areia:água:fibra) em volume e a média dos espalhamentos das argamassas produzidas (medido em 3 diâmetros diferentes, de acordo com norma) estão na Tabela 4.2

Tabela 4.2: Traços¹ e suas respectivas consistências

Tipo	Identificação	% Fibra natural	Traço (volume)	Flow-test (média em cm)
1:2	REF-01	0	1:2:0.72:0	26,2
	AF25-01	2,5	1:2:0.72:0.025	19,7
	AF50-01	5,0	1:2:0.72:0.05	17,9
	AF75-01	7,5	1:2:0.72:0.075	-
	AF100-01	10,0	1:2:0.72:0.1	-
1:3	REF-02	0	1:3:1.02:0	25,8
	AF25-02	2,5	1:3:1.02:0.025	23,2
	AF50-02	5,0	1:3:1.02:0.05	17,4
	AF75-02	7,5	1:3:1.02:0.075	17,8
	AF100-02	10,0	1:3:1.02:0.1	-

Inicialmente, foram confeccionados 8 corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) de acordo com a ABNT NBR 5738 (2015) para cada traço. Foram separado 4 corpos de prova para serem ensaiados aos 7 dias e 4 aos 28 dias. Estes corpos de prova foram submetidos à cura em câmara úmida a 26±1°C.

4.1.7 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Aos 7 e 28 dias de idade, estes corpos de prova foram submetidos a ensaios não destrutivos para a determinação da velocidade de pulso ultrassônico, e posterior obtenção do módulo de elasticidade dinâmico (E_{din}), de acordo com ABNT NBR 8802 (2019). Em seguida, foram ensaiados à compressão uniaxial, de acordo com a ABNT NBR 7215 (2019).

Para obtenção da velocidade do pulso ultrassônico, foi utilizado o modelo de equipamento TICO, da PROCEQ Testing Instruments, com transdutores planos de 54 Hz. Os ensaios mecânicos foram realizados na prensa hidráulica universal EMIC DL 20000. Ambos foram feitos no Laboratório de Materiais de Construção da UFOP.

4.1.8 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS CORPOS DE PROVA

Como o desempenho do compósito está ligado a como as fibras se comportam em relação a matriz, a investigação da interface fibra/matriz deve ser investigada. Para tal, após o

¹ A sigla AF faz referência aos traços com adição de fibra. Após AF, os dois números são referentes a porcentagem de fibra adicionada. Os últimos dois números se referem ao tipo de traço, sendo 01 correspondente ao traço 1:2, e 02 correspondente ao traço 1:3 (cimento:areia).

ensaio de compressão, amostras da argamassa foram colocadas imersas por 24 horas em álcool isopropílico a fim de parar a hidratação do cimento. Depois, foram colocadas na dessecadora sob vácuo para retirar qualquer resquício de água livre que a amostra pudesse conter. Estas amostras foram embutidas com resina epóxi e metalizadas com carbono e ouro. Esta preparação foi feita no Laboratório de Tratamentos Térmicos (LTM) da UFOP. Quando prontas, foram para análise no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) no NanoLab da UFOP, onde utilizou-se o Microscópio Eletrônico TESCAN VEJA 3 acoplado a Sistema de Microanálises Oxford.

Para evitar a queima da fibra de moringa, a voltagem máxima utilizada no MEV foi de 15 kV. Elétrons secundários (SE) foram utilizados para a análise da topografia da fibra e também da superfície de fratura dos compósitos. As imagens feitas por elétrons retro espalhados (BSE) nos compósitos permitiram um maior contraste por peso atômico, o que facilita a distinção dos elementos presentes no compósito com adição de fibras.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DE MORINGA *OLEIFERA*

5.1.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Os resultados para a determinação dos extrativos totais são mostrados na Tabela 5.1. Este resultado difere da literatura, onde Aprelini (2016) encontrou um valor de extrativos de 14,462%. Como dito no item 3.1.1, as propriedades da fibra de uma mesma planta pode variar muito entre si, pois dependem do grau de cristalinidade, condições de plantio e da parte da planta que provem.

Tabela 5.1: Teor de extrativos totais

Teor de extrativos (%)	
Orgânicos	23,627
Polares	7,969
Extrativos Totais	31,596

Os teores de lignina encontrados estão na Tabela 5.2 são compatíveis com a literatura. Aprelini (2016) encontra o valor de lignina total de 32,159%. Ao compararmos este resultado com a Tabela 3.1, nota-se que o teor de lignina presente na casca da semente de moringa é consideravelmente superior a outras fibras apresentadas na mesma tabela (que variam de 0,6% a 19%), com exceção da fibra de coco, que apresenta teor de lignina em torno de 43%.

Tabela 5.2: Teor de lignina

Lignina insolúvel (%)	Lignina solúvel (%)	Teor de lignina (%)
34,508	0,274	34,782

Esta fibra apresentou uma baixa porcentagem de holocelulose (Tabela 5.3), consequência da diferença de teor de extrativos. O constituinte majoritário da holocelulose é a celulose. Uma baixa quantidade de holocelulose representa uma fibra pouco resistente mecanicamente.

Savastano Jr, Nolasco e Oliveira (1997) em seu trabalho fizeram um compilado de propriedades de fibras naturais, onde relatam uma variação de até 100% das propriedades para

uma mesma fibra. Então, essa diferença de teor de holocelulose encontrada para a fibra de moringa não é incomum (em torno de 45,7 %).

Tabela 5.3: Composição da fibra

Composição da casca da semente de <i>Moringa oleifera</i>			
Teor de lignina (%)	Teor de extrativos(%)	Teor de cinzas (%)	Holocelulose (%)
34,782	31,596	2,6	31,0

A composição química da fibra de *Moringa oleifera* revela características desejáveis para adição em compósitos cimentícios. O alto teor de lignina presente garante que a fibra tem resistência às intempéries, fungos e bactérias. Tecidos lignificados resistem a ataque de microorganismos, prevenindo a penetração de enzimas que podem destruir sua estrutura (Apezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro, 2012).

As fibras analisadas e utilizadas possuem menor teor de holocelulose e, conseqüentemente, menor teor de celulose. A falta desse componente estrutural na fibra faz com que a resistência mecânica dela seja relativamente baixa, ao contrário das amostras analisadas por Aprelini (2016).

5.1.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Na Tabela 5.4 estão os resultados dos ensaios de umidade natural, teor de absorção de água, massa específica aparente e real. A fibra *in natura* não possui uma porcentagem alta de umidade natural, com valor encontrado de 8,79%, porém, a fibra tem a capacidade de absorver quase quatro vezes o seu peso em água.

Tabela 5.4: Resultados da caracterização física

Caracterização física da casca da semente de <i>Moringa oleifera</i>	
Umidade natural (%)	8,79
Teor de absorção de água (%)	390,16
Massa específica aparente (g/cm ³)	1,291
Massa específica real (g/cm ³)	0,975

Os valores para a massa específica real e massa específica aparente (Tabela 5.4) são condizentes com a literatura. As fibras vegetais são muito porosas e, pelo seu alto teor de

absorção de água, é de se esperar que a diferença entre a massa específica real e aparente seja relativamente grande.

As micrografias da fibra feitas no MEV revelam uma anatomia heterogênea da fibra. Foram observadas tanto a parte clara da casca quanto a parte escura (Figura 5.1).

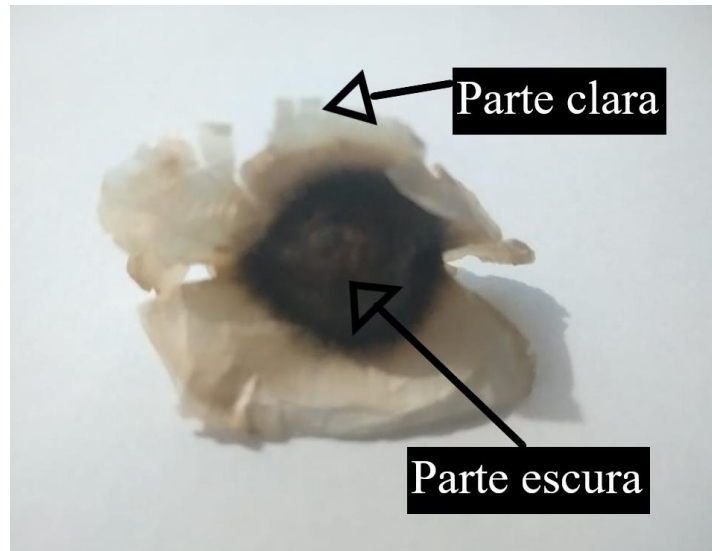


Figura 5.1: Detalhe da casca da semente de Moringa oleifera

Na Figura 5.2 temos, ao mesmo tempo, a vista frontal da epiderme e seu corte transversal. A parte observada é a região escura da casca da semente. Nesta região, a epiderme possui ornamentação na cutícula com formato de colmeia (Figura 5.2 (a)). A região da Figura 5.2 (b) é parenquimática e contém esclereides e células parenquimáticas com barras de espessamento lignificadas.

Na Figura 5.3 pode-se ver o detalhe da região da Figura 5.2 (b). As esclereides (ou células pétreas) são frequentemente encontrados agrupadas. Também contém barras de espessamento lignificada e numerosas pontoações simples.

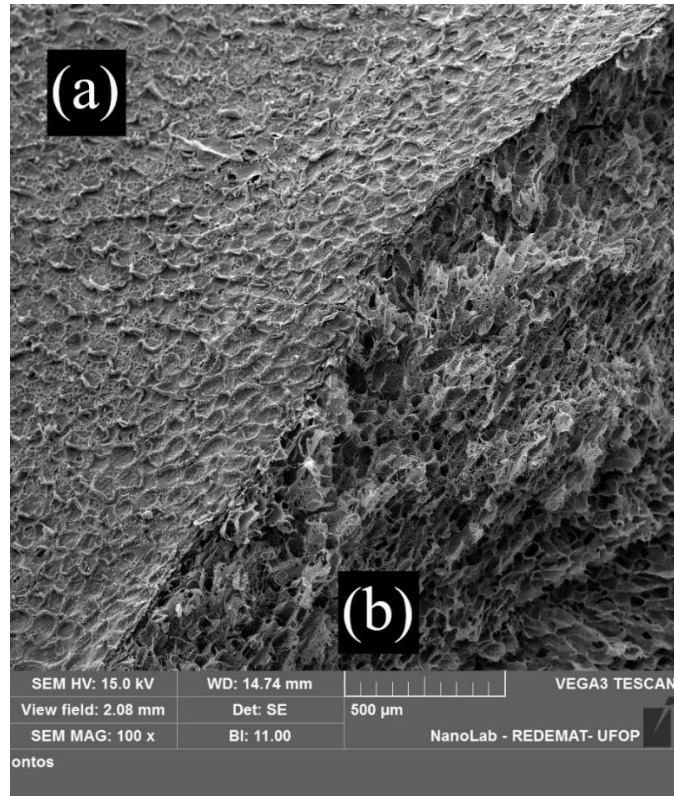


Figura 5.2: Micrografia da fibra onde observa-se (a) vista frontal da epiderme da parte escura da casca da semente de moringa e (b) região parenquimática contendo esclereides e células parenquimáticas com barras de espessamento lignificadas

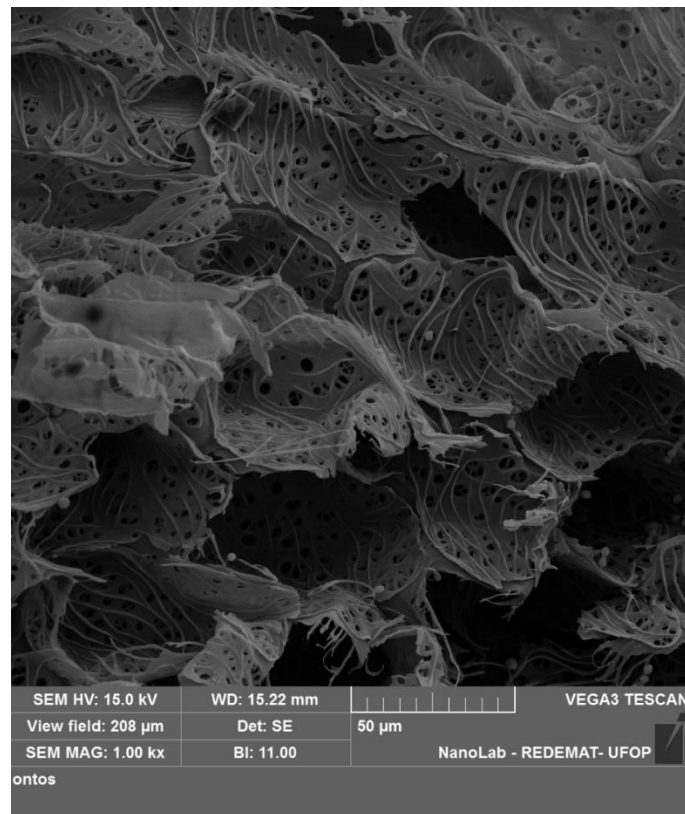


Figura 5.3: Detalhe das esclereides (ou células pétreas)

Na Figura 5.4, onde observa-se tanto a parte escura (Figura 5.4 (a)) como a parte clara da casca (Figura 5.4 (b)), é possível perceber que a epiderme não possui ornamentação contínua. Na região clara da casca a ornamentação é estriada, quase lisa.

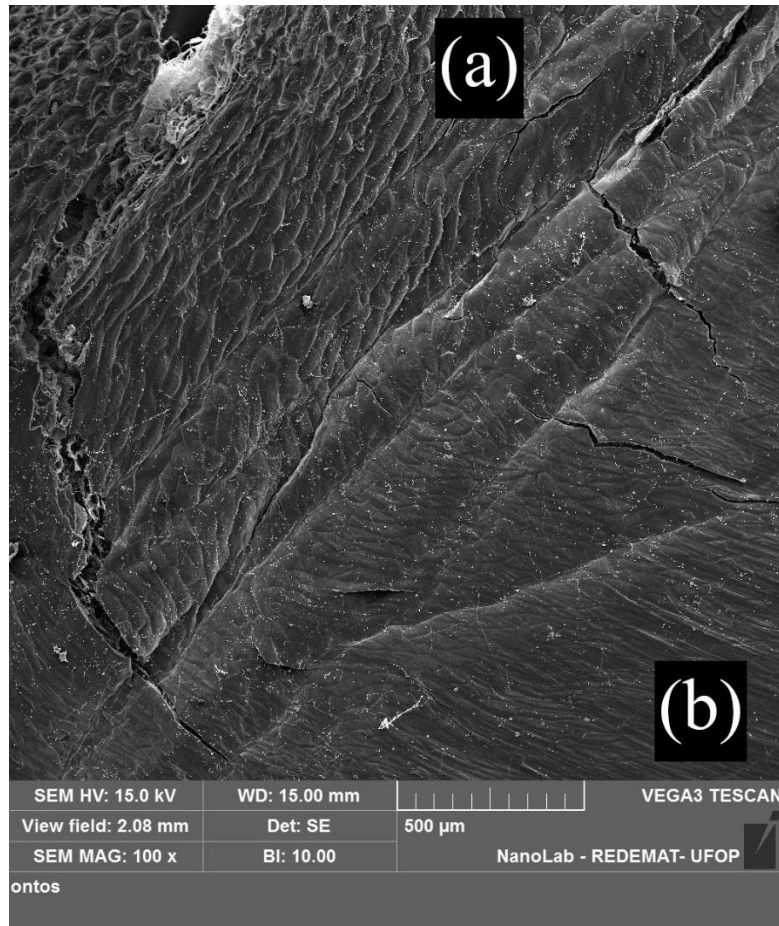


Figura 5.4: Detalhe da epiderme (a) parte escura da casca e (b) parte clara da casca (asa)

Desta mesma micrografia, foi feito um mapa de elementos da região (Figura 5.5). Como esperado, a composição química da fibra é majoritariamente de carbono (C) e oxigênio (O), com a presença de alguns minerais fixos em menor quantidade, como potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca).

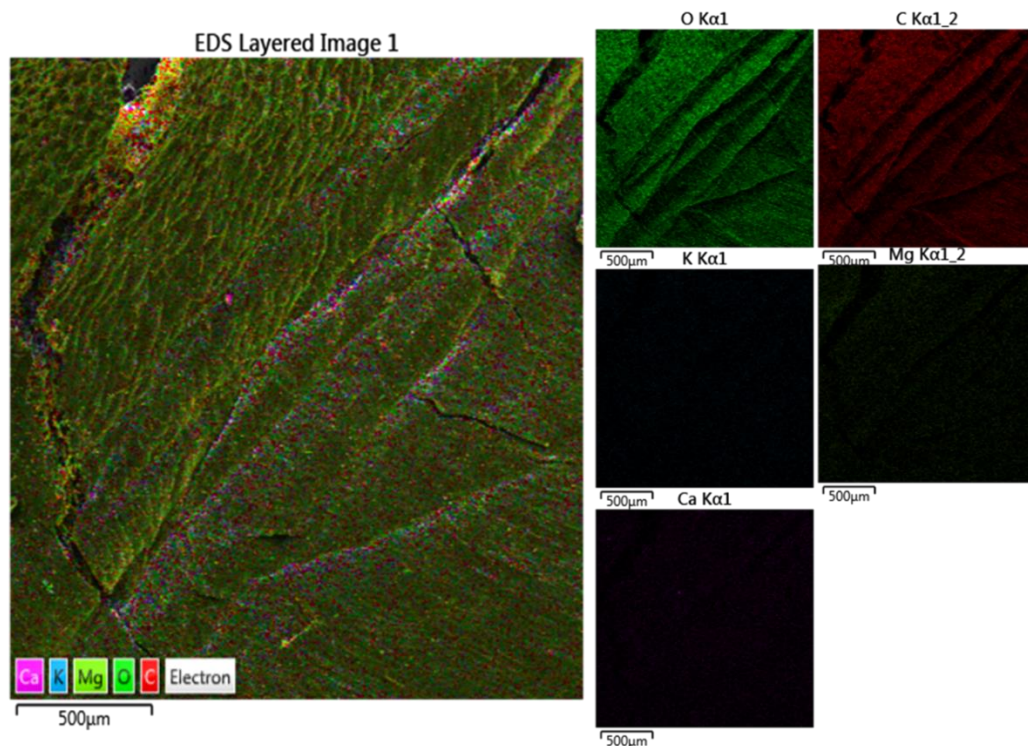


Figura 5.5: Mapa de elementos da fibra de moringa obtido por EDS

5.2 AGREGADO MIÚDO

A caracterização física da areia está na Tabela 5.5, e sua granulometria na Figura 5.6. O módulo de finura (MF) da areia utilizada é de 3,54. Este é um módulo de finura alto, sendo assim, a areia é caracterizada como uma areia grossa. O valor de massa específica encontrado é compatível com o tipo de areia comum.

Tabela 5.5: Caracterização da areia

Caracterização areia	
Massa específica (g/cm ³)	2,65
Massa Unitária estado solto (g/cm ³)	1,33

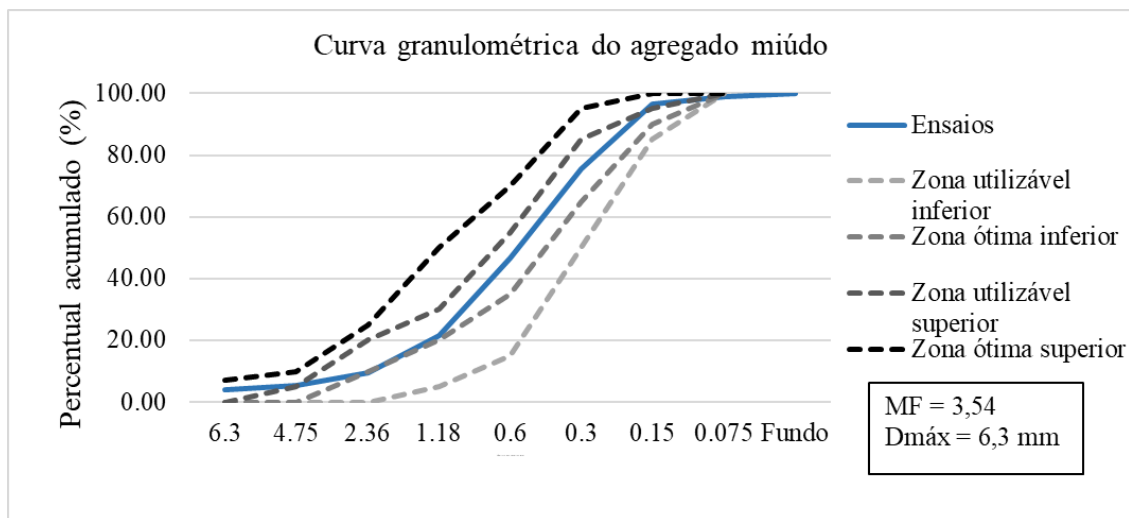


Figura 5.6: Curva granulométrica do agregado miúdo

5.3 ENSAIOS DO COMPÓSITO

O ensaio de consistência indicou que a adição de fibra *in natura* resulta em uma argamassa menos fluida, ou seja, com menor trabalhabilidade. Ao incorporar a fibra na pasta de cimento, há aumento na área superficial, o que demanda água de molhagem (Figueiredo, 2000).

Da Tabela 4.2, tem-se o gráfico com a média dos espalhamentos dos compósitos produzidos (Figura 5.7). Para as misturas de AF75-01, AF100-01 e AF100-02, os resultados do flow-test descartados, pois a massa fragmentou na mesa de espalhamento.

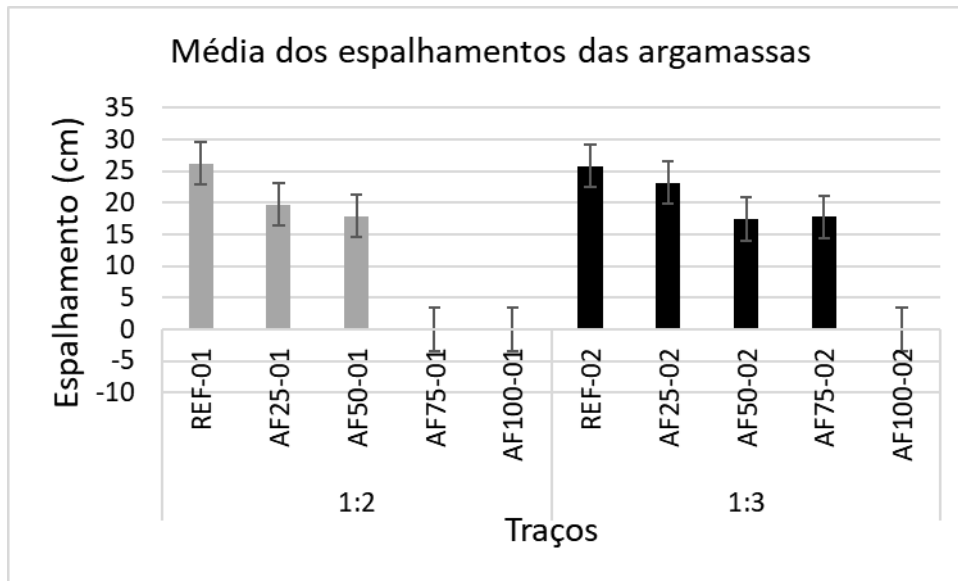


Figura 5.7: Média dos espalhamentos das argamassas

A diferença da consistência das argamassas é evidente ao compararmos a Figura 5.8 com a Figura 5.9. Além do aumento da área superficial, a celulose das fibras vegetais é responsável pela natureza hidrofílica das fibras. O alto teor de absorção de água da fibra (390,16%) confirma que a água presente na mistura da argamassa foi absorvida pelas fibras, diminuindo, assim, a trabalhabilidade da pasta. A fibra da moringa, por ter muitas regiões de pontoação absorve água facilmente. Esta absorção causa um inchamento da fibra, com conseqüente perda de resistência mecânica da mesma.



Figura 5.8: Consistência da argamassa de referência REF-02 no flow-test



Figura 5.9: Consistência da argamassa com fibras AF10-02 no flow-test

A diminuição da trabalhabilidade da argamassa reflete diretamente no aspecto do corpo de prova ao ser deformado: os corpos de prova com adição de fibra têm aspecto mais poroso quando comparados com os corpos de prova de referência, como mostrado na Figura 5.10. A variação do teor de umidade durante a produção do compósito faz com que a água aja como um lixiviante, causando um aumento na porosidade do material (Silva, 2002).



Figura 5.10: Aspecto dos corpos de prova

De acordo com a ABNT NBR 8802 (2019), os principais fatores que influenciam a velocidade do pulso ultrassônico através do corpo de prova são:

- A distância entre as superfícies em que os transdutores estão em contato;
- Presença de reforço;
- Densidade do corpo de prova;
- Tipo e características dos agregados;

- Tipo de cimento;
- Grau de hidratação do cimento.

Uma avaliação prévia da qualidade da argamassa pode ser feita, de acordo com a Tabela 5.6. Este parâmetro deve ser avaliado junto com os resultados mecânicos. Uma maior velocidade do pulso ultrassônico pode indicar um compósito mais homogêneo (Cánovas, 1988).

Tabela 5.6: Critério utilizado para a avaliação da qualidade do concreto (adaptado de Cánovas (1988))

Velocidade de propagação linear (m/s)	Qualidade do concreto
$V > 4500$	Excelente
$3500 < V < 4500$	Ótimo
$3000 < V < 3500$	Bom
$2000 < V < 3000$	Regular
$V < 2000$	Ruim

A Figura 5.11 e Figura 5.12 são gráficos que mostram os resultados para a velocidade do pulso ultrassônico dos corpos de prova para os 7 dias e 28 dias, respectivamente. Ao relacionar a Tabela 5.6 com esses resultados, nota-se que a argamassa produzida pode ser classificada como de qualidade regular a boa, pois os valores de velocidade obtidos estão entre 2500-3500 m/s. Com os desvios padrões, os traços apresentam resultados semelhantes estatisticamente.

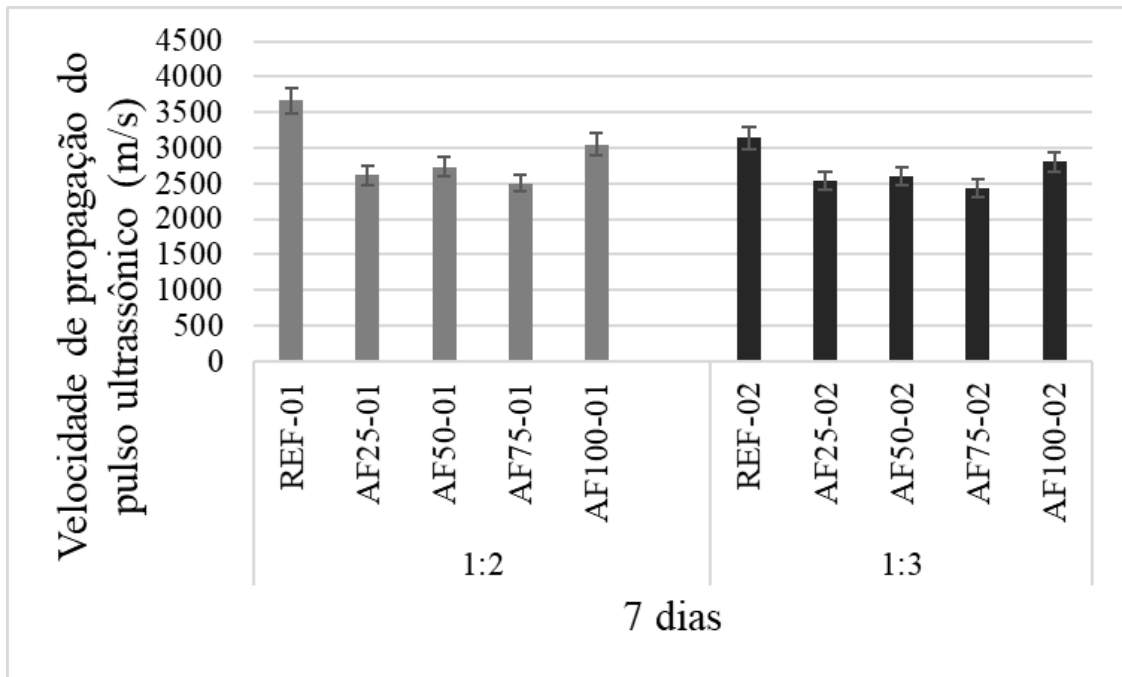


Figura 5.11: Velocidade de propagação do pulso dos corpos de prova aos 7 dias

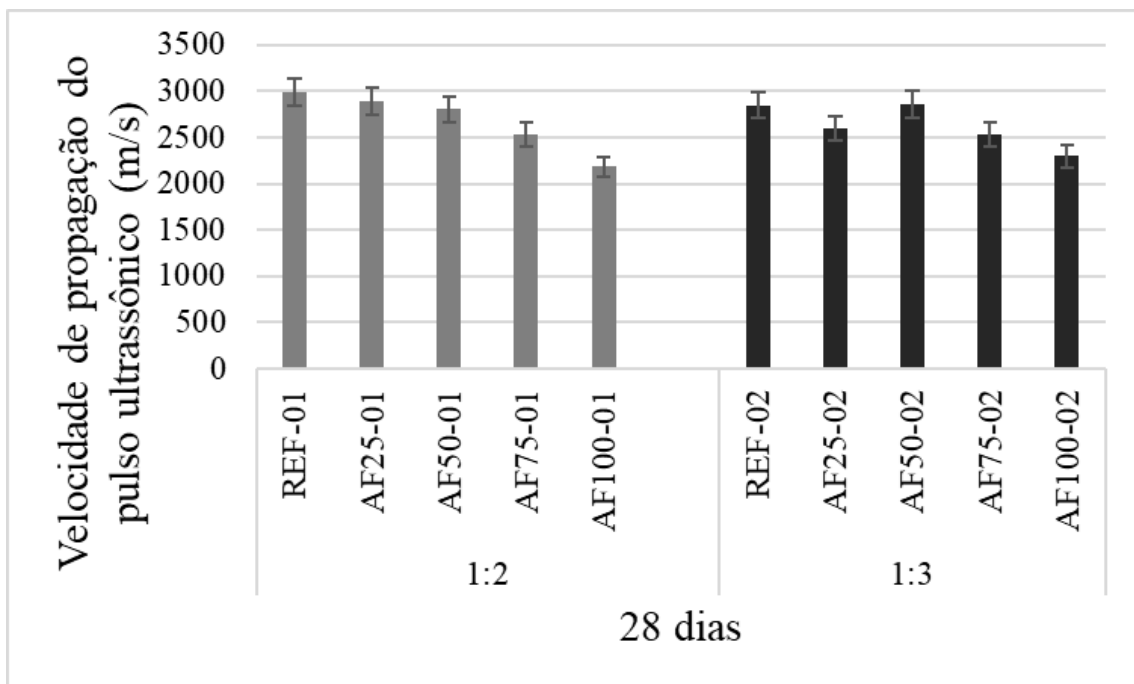


Figura 5.12: Velocidade de propagação de pulso dos corpos de prova aos 28 dias

O módulo de elasticidade dinâmico determina a capacidade de deformação da argamassa, sem que esta apresente ruptura ou fissura quando sujeita a solicitações diversas. Ou seja, quanto maior o módulo de elasticidade dinâmico, menor é a capacidade de deformação da argamassa.

A redução na trabalhabilidade da argamassa reflete diretamente nos resultados do ensaio de compressão. O aspecto poroso dos corpos de prova com adição de fibra foi confirmado com relativas baixas velocidades de pulso ultrassônico.

Não houve incremento de resistência mecânica ao adicionar a fibra aos traços, como mostrado na Figura 5.13 e Figura 5.14. Com o aumento da idade, os compósitos cimentícios tendem a ter um aumento de resistência mecânica e módulo de elasticidade. A adição da fibra natural pode ter contribuído para esta queda de três formas:

- 1) Incompatibilidade física entre fibra e matriz cimentícia: A fibra natural possui características heterogêneas, como a sua umidade. A diferença de umidade presente nas fibras causa micro fissuração e diminui a adesão entre fibra e matriz, afetando o desempenho mecânico do compósito;
- 2) Incompatibilidade química: A fibra sofre ataque alcalino ao ser inserida na matriz cimentícia, como citado no item 3.1.5. O elevado pH da água na pasta de cimento decompõe os constituintes da fibra, diminuindo a capacidade da fibra agir como reforço e quebrando a aderência com a matriz (Silva, 2002). Como não há aderência, não há transferência de esforços, e a fibra passa a se comportar como enchimento na matriz.
- 3) Insuficiência de água na mistura: A alta absorção de água pela fibra durante a hidratação do cimento pode não ter permitido a formação de compostos suficientemente hidratados. Esta absorção causa um aumento na relação água/cimento na zona de transição entre a matriz e reforço. Consequentemente, há um aumento na idade de hidratação do cimento (Savastano Jr. e Agopyan, 1993).

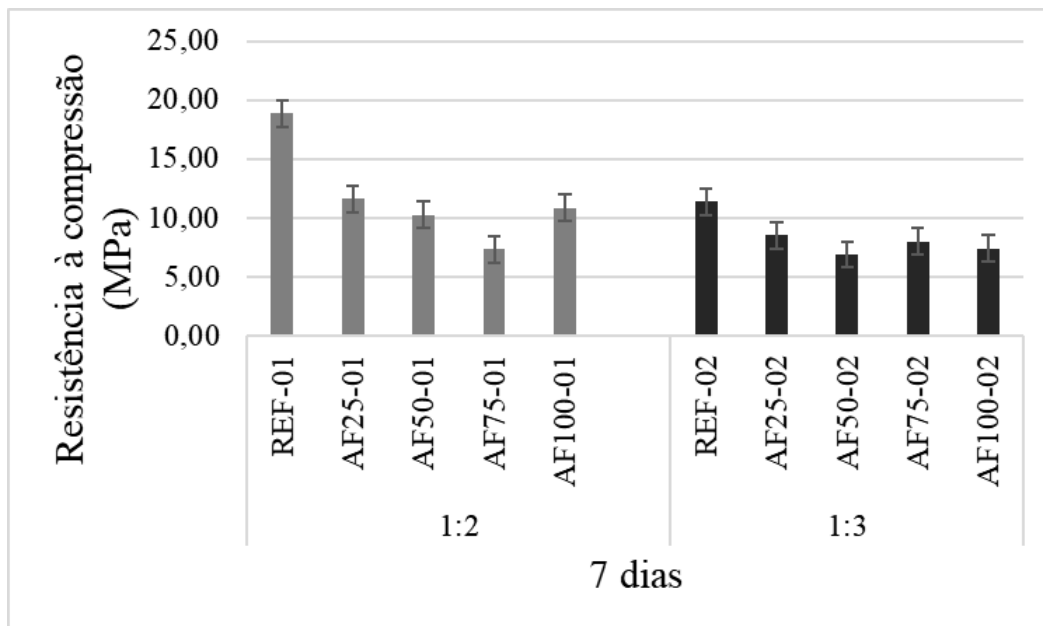


Figura 5.13: Resultados do ensaio de compressão para 7 dias

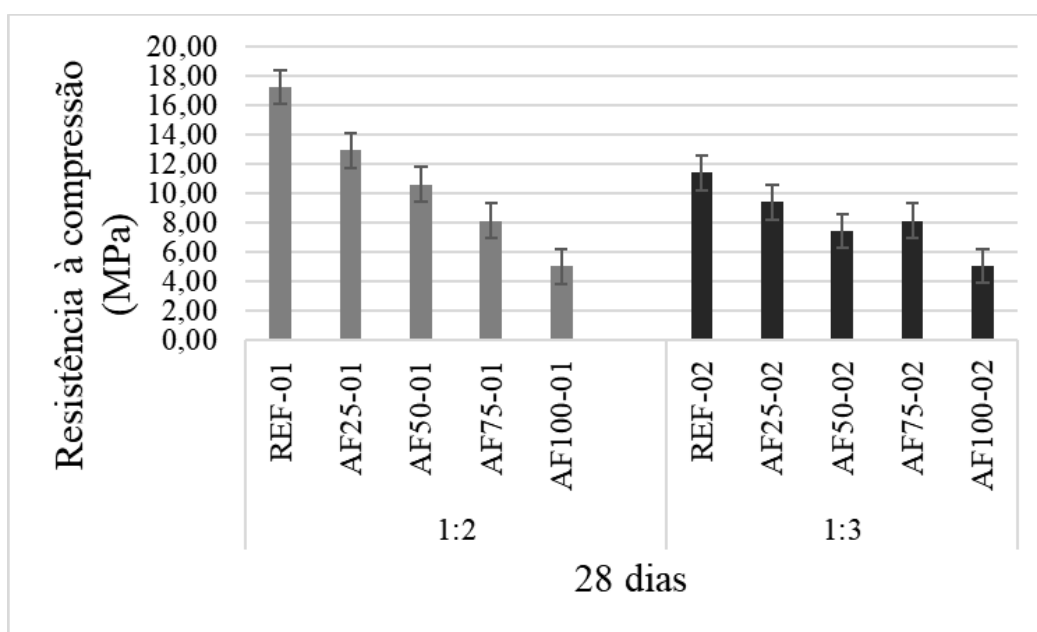


Figura 5.14: Resultados do ensaio de compressão para 28 dias

A simples observação a olho nu do corpo de prova da Figura 5.15 mostra que a fibra foi misturada adequadamente à matriz, apresentando-se uniformemente distribuída. Pode-se ter um melhor entendimento pode-se ter com o auxílio do MEV.



Figura 5.15: Distribuição das fibras no corpo de prova cilíndrico AF10-02 rompido por compressão aos 7 dias

As micrografias apresentadas a seguir são formadas com o uso de elétrons retro espalhados (BSE) ou elétrons secundários (SE). As fases de hidratação do cimento podem ser diferenciadas pelos tons de cinza e pelo formato do cristal. O grão de cimento não hidratado pode ser identificado pelo tom de cinza claro (quase branco), o hidróxido de cálcio (portlandita) em tons de cinza médio e outros produtos da hidratação estão em cinza escuro.

Nesse momento, é importante salientar que as reações de hidratação para os diferentes componentes do cimento Portland consomem quantidades de água diferentes (Bezerra, 2006). Logo, para as amostras estudadas, os produtos de hidratação do cimento terão forma e incidência diferentes para cada teor de fibra adicionado.

Na Figura 5.16 a ruptura ocorreu na fibra, onde é possível observar as esclereides na parede interna. Essa ruptura pode ter ocorrido pelo enfraquecimento da fibra devido ao meio alcalino em que foi inserida. É possível notar que parte da epiderme foi coberta pela pasta de cimento.

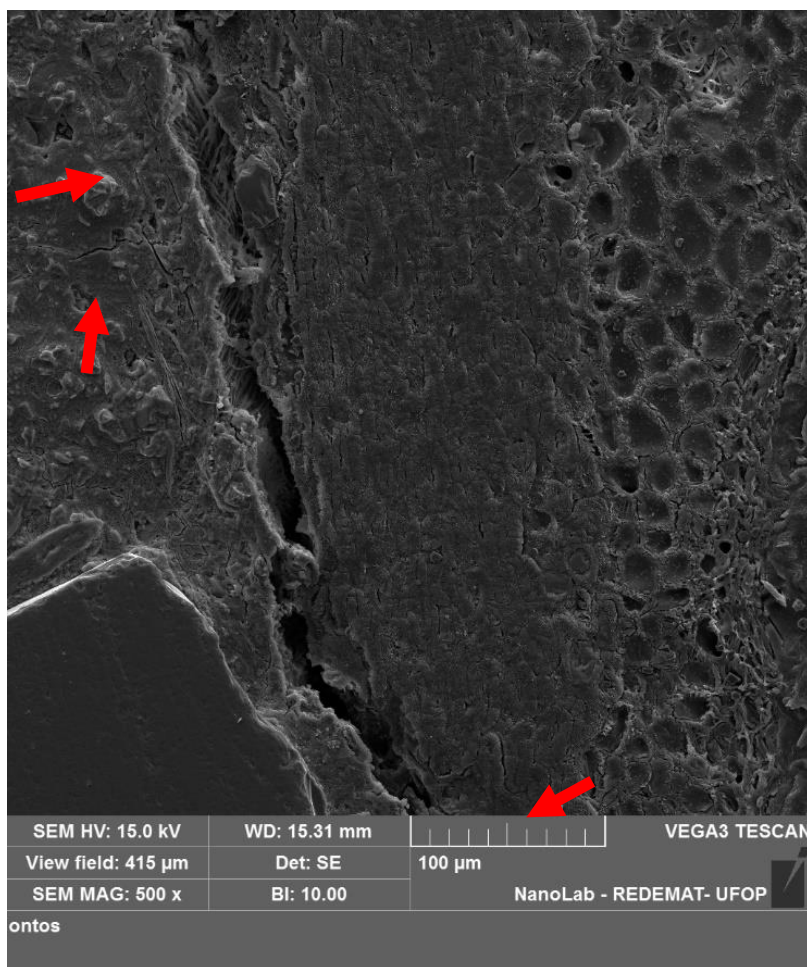


Figura 5.16: Micrografia da amostra AF10-01 rompida aos 28 dias com aumento de 500x

Já na Figura 5.17 a fissura ocorre na interface da fibra/matriz. A fibra está cortada transversalmente, onde a epiderme interna e externa, assim como as esclereides da parte interna estão à mostra. Há presença de microfissuras na interface e oclusões, formadas por ar incorporado na pasta de cimento.

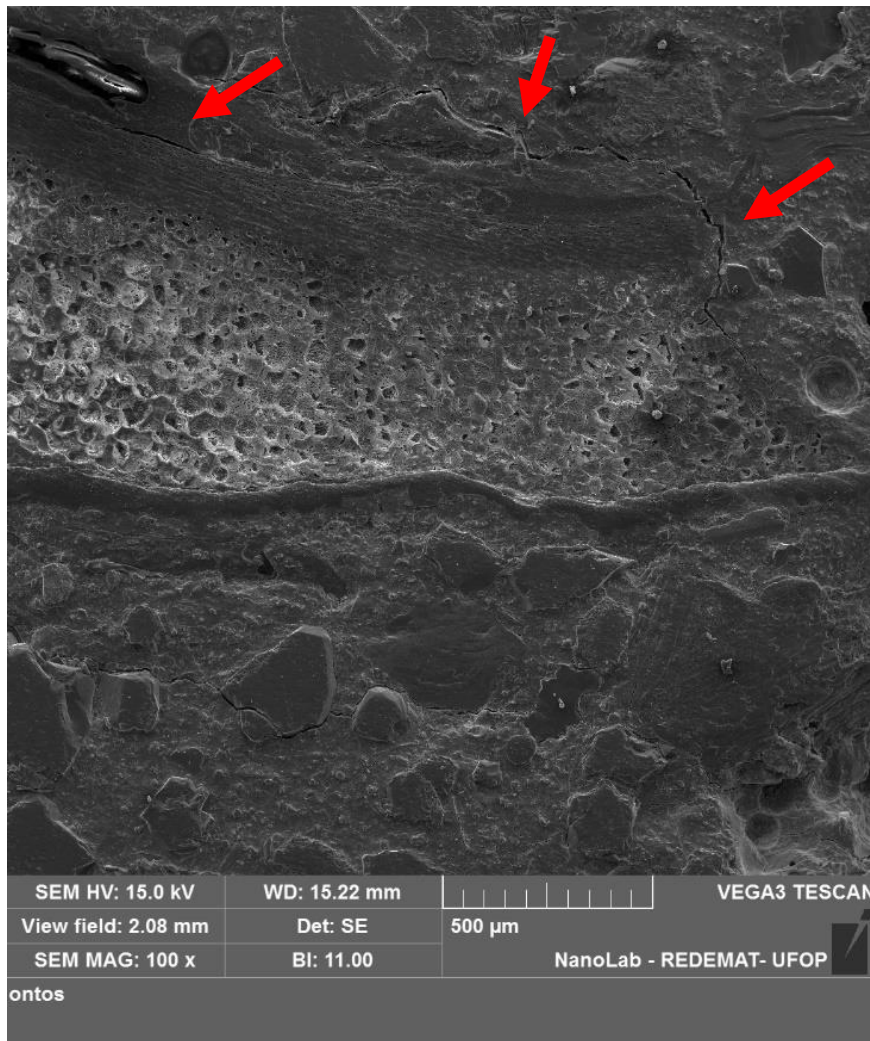


Figura 5.17: Micrografia da amostra AF50-01 rompida aos 28 dias com aumento de 100x

Na Figura 5.18 observa-se a presença de grãos de cimento parcialmente hidratados (cinza claro) em meio às esclereides da fibra e presença de cristais de hidróxido de cálcio. Na Figura 5.19, a alta porosidade da fibra vegetal induz à formação de cristais de portlandita, que não são formados na interface, mas no interior da zona de transição (Savastano Jr. e Agopyan, 1999). Com disponibilidade de espaço e água, há a formação de núcleos de portlandita.

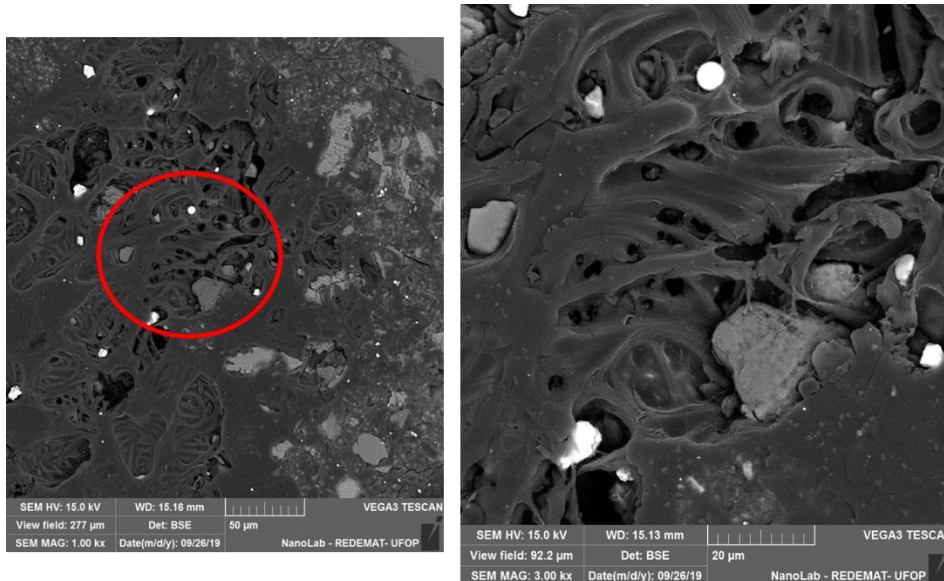


Figura 5.18: Micrografia da amostra AF10-02 rompida aos 7 dias com aumento de (a) 1000x e (b) 3000x



Figura 5.19: Micrografia da amostra AF10-01 rompida aos 7 dias com aumento de 5000x

Na Figura 5.20 pode-se observar a porosidade presente na interface fibra/matriz. O elevado teor água/cimento na zona de transição causa um aumento na porosidade dessa zona, principalmente nas idades iniciais (Savastano Jr. e Agopyan, 1993).

A Figura 5.21 evidenciam o fenômeno de petrificação da fibra: as lacunas da fibra são preenchidas por compostos químicos provenientes da hidratação do cimento. A petrificação

causa um enrijecimento nas fibras, o que a impede de deformar. Assim, a fibra passa a ter comportamento frágil, apresentando fissuras.

A Figura 5.22 mostra a concentração de hidróxido de cálcio na epiderme da fibra (presença de pequenos cristais de portlandita). Aos 28 dias há um maior acúmulo de portlandita perto da fibra. A portlandita é um componente chave para uma boa performance mecânica. Porém, sua presença juntamente com a fibra vegetal torna este tipo de compósito fraco pois o hidróxido de cálcio causa a petrificação das fibras com o preenchimento do lúmen.

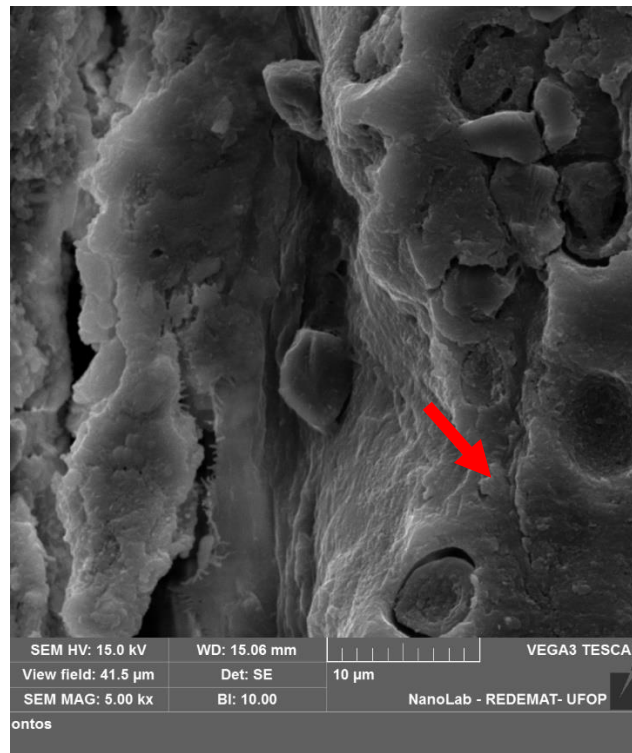


Figura 5.20: Micrografia da amostra AF25-01 rompida aos 7 dias com aumento de 5000x

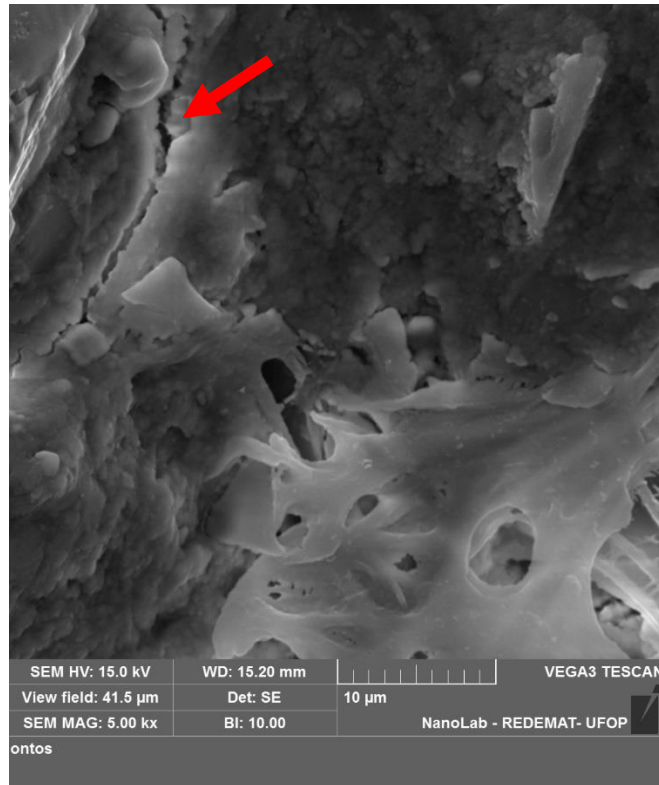


Figura 5.21: Micrografia da amostra AF10-02 rompida aos 28 dias com aumento de 5000x

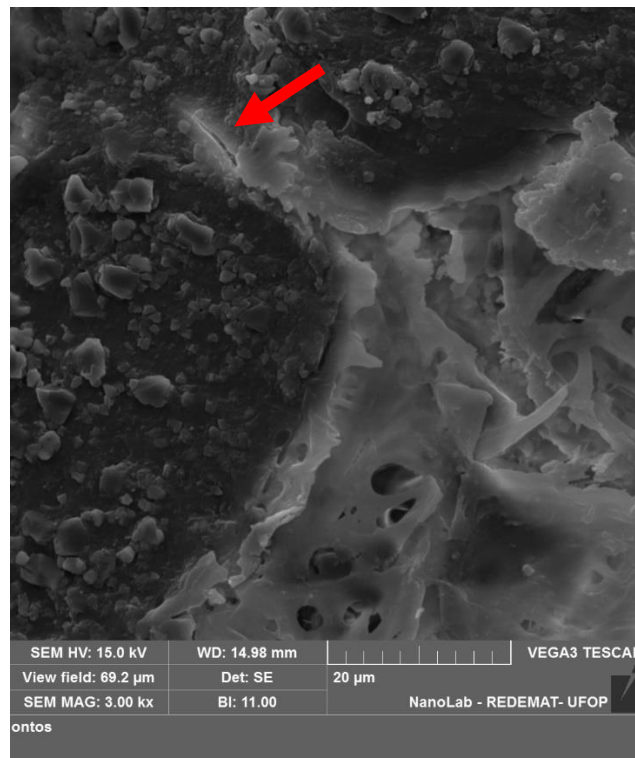


Figura 5.22: Micrografia da amostra AF75-01 rompida aos 28 dias com aumento de 3000x

Na Figura 5.23 é mostrada a micrografia da amostra AF25-01 com o espectro de elementos da região. A interface é porosa, apresenta fissuras e é rica em cristais. Nela, pode-se

observar a presença de cristais de hidróxido de cálcio e de silicato hidratado de cálcio perto da epiderme da fibra. Também é possível ver alguns vazios, causados pela inclusão de ar na matriz.

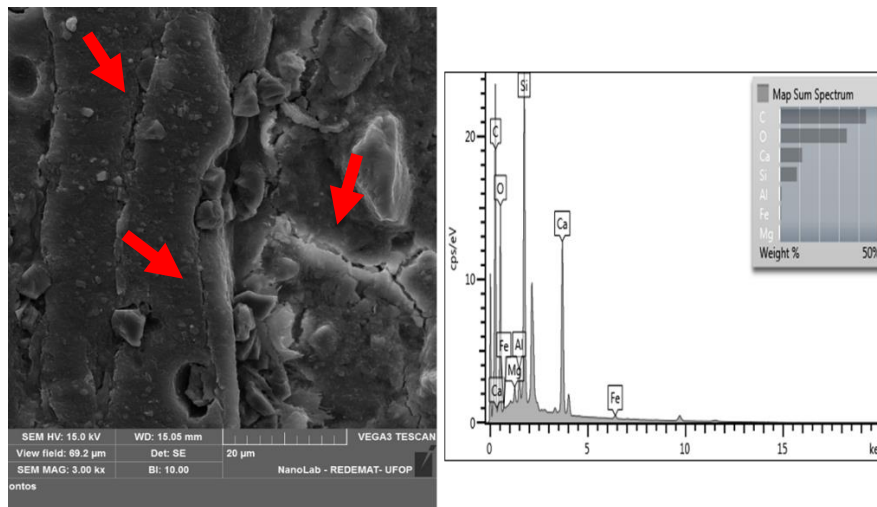


Figura 5.23: Micrografia e espectro da região, obtida por EDS, da amostra AF25-01 rompida aos 7 dias com aumento de 3000x

As informações obtidas nas micrografias estão de acordo com os resultados dos ensaios mecânicos. Os compostos hidratados de cimento não foram suficientes para garantir a resistência mecânica do compósito produzido.

A insuficiência de água para a hidratação do cimento também pode ser observada pela quantidade de microfissuras presentes na interface do compósito, indicadas com uma seta vermelha nas micrografias. Essas microfissuras são concentradoras de tensão. A portlandita presente próxima às fibras também colaborou para a baixa resistência mecânica do compósito.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo o estudo da influência da adição de fibra de *Moringa oleifera* em um compósito cimentício. Além disso, pode-se conhecer melhor a morfologia da fibra, bem como suas propriedades. Dos ensaios realizados com o compósito produzido, podemos concluir:

1. A fibra de moringa tem alto teor de holocelulose, o que explica seu caráter hidrofílico. Ela tem um alto teor de absorção de água (390,16%), o que torna a sua estrutura fraca pela variação de volume;
2. A fibra tem potencial de uso como reforço em compósitos pela sua morfologia e possível ancoragem mecânica com a matriz. Porém, há incompatibilidade com a matriz de cimento, já que a fibra sofre ataque alcalino e absorve muita água da mistura;
3. A adição da fibra sem tratamento diminuiu a trabalhabilidade da pasta de cimento, com conseqüente dificuldade de moldagem e resulta em corpos de prova porosos;
4. Ainda que a resistência mecânica tenha diminuído com a adição de fibra, o teor de menor adição (2,5%) foi o que apresentou o melhor resultado dentre os compósitos feitos. A queda maior foi para o maior teor de adição (10%), sendo os resultados para 28 dias discrepantes em relação aos de 7 dias. O compósito ensaiado aos 7 dias apresenta resistência maior do que o ensaiado aos 28 dias;
5. As micrografias permitem um melhor entendimento da interface fibra/matriz:
 - a) Os cristais de silicato de cálcio hidratado e hidróxido de cálcio estão presentes na interface e até na parte interna da fibra. Há uma alta concentração principalmente de hidróxido de cálcio nessa região, componente que não contribui efetivamente para a resistência final do compósito;
 - b) Há presença de microfissuras na interface da fibra/matriz. Estas são concentradores de tensão e podem levar o compósito ao colapso, pois são a parte mais frágil do sistema.
6. Com os resultados obtidos, não é possível a utilização do compósito onde há necessidade de resistência mecânica.

7. Além disso, a alta concentração de lignina presente é responsável por torná-la antifúngica e resistente a intempéries. Mais estudos relacionados a estas características devem ser feitos.

6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Apesar dos resultados encontrados não terem se mostrado satisfatórios, é cada vez mais necessário o reaproveitamento de material na construção civil. Para trabalhos futuros utilizando a fibra da moringa nesse tipo de compósito, sugere-se.

1. Tratamento químico da fibra, a fim de reduzir o ataque alcalino;
2. Avaliar teores menores de adição de fibra;
3. Avaliar granulometrias menores da fibra adicionada;
4. Avaliar viabilidade de carbonatação para diminuir o meio alcalino;
5. Estudo de aplicação do compósito para fins não estruturais;
6. Se aplicável, análise econômica e de viabilidade de produção.

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFIA

ABCP. **Parâmetros da dosagem racional do concreto**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1984.

ABCP. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002. 28 p.

ABIHPEC. Brasil é o quarto maior mercado de beleza e cuidados pessoais do mundo. **Associação Brasileira de Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos**, 2020. Disponível em: <https://abihpec.org.br/brasil-e-o-quarto-maior-mercado-de-beleza-e-cuidados-pessoais-do-mundo/>. Acesso em: 2020.

ABNT NBR 12655. **Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

ABNT NBR 13276. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002.

ABNT NBR 13279. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

ABNT NBR 5733. **Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991.

ABNT NBR 5738. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2. ed. Rio de Janeiro: [S.n.], 2015.

ABNT NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: [S.n.], 1994.

ABNT NBR 6118. **Projeto de Estrutura de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

ABNT NBR 7181. **Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.

ABNT NBR 7200. **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998.

ABNT NBR 7211. **Agregados para concreto - Especificação**. 2. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

ABNT NBR 7215. **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.

ABNT NBR 8802. **Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.

ABNT NBR NM 45. **Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.

ABNT NBR NM 67. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: [S.n.], 1998.

ABNT NBR NM 9. **Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

ABNT NM 52. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

ALMEIDA, Cláudia Beatriz L. *et al.* Estudo prospectivo da Moringa na indústria de cosméticos. **Caderno de Prospecção**, Salvador, v. 10, n. 4, p. 905-9018, 2017.

ANBT NBR 9779. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

APEZZATO-DA-GLÓRIA, Beatriz; CARMELLO-GUERREIRO, Sandra M. **Anatomia vegetal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2012.

APRELINI, Leonardo O. **Caracterização térmica, mecânica e morfológica de polietileno de alta densidade com fibras da casca da semente da Moringa oleifera**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Ouro Preto, p. 69. 2016.

ASSCOM | GRUPO TIRADENTES. Pesquisas estudam potencial do óleo de moringa para uso na indústria. **Portal Unit**, 2021. Disponível em: <https://portal.unit.br/blog/noticias/pesquisas-estudam-potencial-do-oleo-de-moringa-para-uso-na-industria/>. Acesso em: Maio 2022.

BEZERRA, Ulisses T. **Compósitos Portland-Biopolímero para Cimentação de Poços de Petróleo**. Universidade Federal do Rio Grande Do Norte - Programa de Pós Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais. Natal. 2006.

BHARATH, K. N. *et al.* Alkaline Effect on Characterization of Discarded Waste of Moringa oleifera Fiber as a Potential Eco-friendly Reinforcement for Biocomposites. **Journal of Polymers and the Environment**, 2020. ISSN <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01818-4>.

CALLISTER, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5. ed. [S.l.]: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: [S.n.], 1988.

CENTURIONE, Sérgio L. **A mineralização do clínquer portland e seus benefícios tecnológicos**. Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. São Paulo. 1999.

CHODOUNSKY, M. A.; VIECILI, F. A. **Pisos industriais de concreto: aspectos teóricos e executivos**. São Paulo: Reggenza, 2007.

CRISTALDI, Giuseppe *et al.* **Composites Based on Natural Fibre Fabrics**. University of Catania - Department of Physical and Chemical Methodologies for Engineering. Catania, Italy. 2010.

DIAZ, Juan P. V. **Comportamento Mecânico de Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibras de Pupunha**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 147. 2016.

DITTERNBERG, D. B.; GANGARAO, H. V. S. Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 43, n. 8, p. 1419-1429, 2012.

DOMONE, P. L. Concrete - Constituent materials of concrete. **Construction Materials**, 1994.

EHRENBRING, Hinoel Z.; TUTIKIAN, Bernardo F. Concretos reforçados com fibras naturais e fibras recicladas. **Resíduos sólidos e mudanças climáticas**, Porto Alegre, 2016.

EMBRAPA. **Nasa confirma dados da Embrapa sobre área plantada no Brasil**. [S.l.]: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30972114/nasa-confirma-dados->

da-embrapa-sobre-area-plantada-no-brasil#:~:text=assegura%20Evaristo%20Miranda.-,As%20maiores%20%C3%A1reas%20cultivadas%20est%C3%A3o%20na%20%C3%8Dndia%20(179%2C8%20milh%C3%B5e.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.

FURLAN, Marcos Roberto. Quintais Imortais, 2013. Disponível em: <http://quintaisimortais.blogspot.com/2013/11/cultivo-y-usos-potenciales-de-la.html>. Acesso em: 20 Janeiro 2020.

GUIMARÃES, Diego; SILVA FILHO, Luiz Carlos P.; PACHECO, Alexandre R. Pisos industriais em concreto armado: determinação de teores ótimos de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos. **Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto**, Florianópolis, 2011. ISSN ISSN 2175-8182.

IZQUIERDO, Indara S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 128. 2011.

KRUMREICH, Fernanda D. *et al.* **Teor de cinzas em acessos de abóboras (Cucurbita máxima L.) do Rio Grande do Sul**. VIII Simpósio de Alimentos para a Região Sul. Passo Fundo, RS: [s.n.]. 2013.

LIMA, Paulo Roberto L.; TOLEDO FILHO, Romildo 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. ISSN ISSN 1678-8621.

LOPES, Bruno L. S. **Polímeros reforçados por fibras vegetais: Um resumo sobre esses compósitos**. São Paulo: Blücher, 2017.

MAHAJAN, G. V.; AHER, V. S. Composite Material: A Review over Current Development and Automotive Application. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 2, n. 11, November 2012.

MARINELLI, Alessandra L. *et al.* Vegetais Naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MAZZOLI, Alida; MONOSI, Saveria; PLESCIA, Eleonora S. Evaluation of the early-age-shrinkage of fiber reinforced concrete (FRC) using image analysis methods. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 596-601, 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª. ed. São Paulo: IBRACON - Instituto Brasileiro de Concreto, 2014.

MICHAELIS, Henriete; MICHAELIS, Carolina. **Dicionário Michaelis da Língua Portuguesa**. [S.l.]: Editora Melhoramentos Ltda., 2020.

MOREIRA, Anabela M. **Materiais Compósitos**. Instituto Politécnico de Tomar. Tomar, Portugal, p. 11. 2008.

NAYAK, Subhakanta; KHUNTIA, Sujit K. Development and study of properties of Moringa oleifera fruit fibers/polyethylene terephthalate composites for packaging applications. **Composite Communications**, n. 15, p. 113-119, 2019. ISSN 2452-2139.

NETO, Flaminio L.; PARDINI, Luiz C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

NGUONG, C. W.; LEE, S. N. B.; SUJAN, D. A Review on Natural Fibre Reinforced Polymer. **International Journal of Materials and Metallurgical Engineering**, v. 7, n. 1, 2013.

PICANÇO, Marcelo D. S. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 101. 2005.

RIPPER, Ernesto. **Manual prático de materiais de construção**. São Paulo: Pini, 1995.

RODRIGUES, Luciana A. *et al.* Qualidade de mudas de Moringa oleifera Lam. cultivadas em substratos com fibra de coco verde e compostos orgânicos, Viçosa, v. 63, n. 4, p. 545-552, 2016.

ROWELL, Roger M.; HAN, James S.; ROWELL, Jeffrey S. Characterization and Factors Effecting Fiber Properties. **Natural Polymers and Agrofibers Composites**, São Carlos, p. 115-134, 2000.

SÁ FILHO, Daniel M. **Obtenção e caracterização de compósitos de polipropileno com cascas das sementes de Moringa oleifera**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Ouro Preto, p. 72. 2013.

SANTOS, Carlos Alberto Batista dos *et al.* **Conservação dos recursos naturais**. Paulo Afonso: SABEH, 2016.

SAVASTANO JR., H.; NOLASCO, AM; OLIEIRA, L. **Disponibilidade de resíduos de alguns tipos de fibra vegetal, no Brasil, para uso em componentes de construção.** Memórias del Seminario Iberoamericano de Materiales Fibrorreforzados. Cali. Universidad del Valle: [s.n.]. 1997. p. 128-132.

SAVASTANO JR., Holmer; AGOPYAN, Vahan. **Caracterização da zona de transição entre fibras e Pasta de Cimento Portland.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo. São Paulo, p. 21p. 1993.

SAVASTANO JR., Holmer; AGOPYAN, Vahan. Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 21, p. 49-57, 1999.

SHIGUEMOTO, Érica S. **Composição nutricional e propriedades funcionais do murici (Byrsonima crassifolia) e da moringa (Moringa oleifera).** Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 125. 2013.

SILVA, Aluizio C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 128p. 2002.

SILVA, Everton; MARQUES, Maria; CELSO, Junior F. Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1555-1561, 2012.

SILVA, Flávio D. A. *et al.* Physical and mechanical properties of durable sisal fiber - cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 5, p. 777-785, 2010. ISSN 5// 2010. ISSN 0950-0618.

SILVA, Flávio D. A. **Tenacidade de materiais compósitos não convencionais.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 234. 2004.

SILVA, Rosana V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais.** Universidade de São Paulo. São Carlos. 2003.

SILVÉRIO, Flaviano O. *et al.* Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, p. 1009-1016, 2006.

SUSILORINI, Rr. M. I. R. *et al.* **Compressive Strength Optimization of Natural Polymer Modified Mortar with Moringa oleifera in Various Curing Medias.**

Proceeding Architecture ICETIA (The Internacional Conference on Engineering Technology and Industrial Application). [S.l.]: [s.n.]. 2014. p. 107-110.

SUSILORINI, Rr. M. I. R. *et al.* **The increase of Compressive Strength of Natural Polymer Modified Concrete with Moringa oleifera.** Engineering Internation Conference (EIC). [S.l.]: American Institute of Physics. 2016.

TAPPI, T 2. C.-9. **Preparation of wood for chemical analysis.** Atlanta: Tappi Press, 1997.

TAPPI, T 2. C.-9. **Solvent extractives of wood and pulp.** Atlanta: Tappi Press, 1997.

TAPPI, T 211 om-02. **Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C.** Atlanta: Tappi Press, 2002.

TAPPI, T 222 om-02. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp.** Atlanta: Tappi Press, 2002.

TAPPI, T257 C.-0. **Sampling and preparing wood for analysis.** Atlanta: Tappi Press, 2002.

TEIXEIRA, R. S. *et al.* Impact of content and length of curauá fibers on mechanical behavior of extruded cementitious composites: Analysis of variance. **Cement and Concrete Composites**, v. 102, p. 134-144, 2019.

TRADE Winds Fruit. **Trade Winds Fruit.** Disponível em: <http://www.tradewindsfruit.com/moringa-oleifera--seeds>. Acesso em: abril 2019.

WANG, Ru-Min; ZHENG, Shui-Rong; ZHENG, Yujun. **Polymer Matrix Composites and Technology.** 1. ed. [S.l.]: Woodhead Publishing, 2011.

WESTMAN, M. P. *et al.* **Natural Fiber Composites: A Review.** Pacific Northwest National Laboratory operated by Battelle for the United States Department of Energy. Washington. 2010.

ZHANG, Dong *et al.* Effect of natural fibers on thermal spalling resistance of ultra-high performance concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 109, 2020.

ZUKOWSKI, Bartosz; SILVA, Flávio D. A.; TOLEDO FILHO, Romildo D. Design of strain hardenig cement-based composites with alkali treated natural curauá fiber. **Cement and Concrete Composites**, v. 89, p. 150-159, 2018.