

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES
TRATAMENTOS (FIBRA/MATRIZ) NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS
REFORÇADOS COM FIBRA DE MALVA

FABRÍCIO DE AMORIM RODRIGUES

MANAUS
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FABRÍCIO DE AMORIM RODRIGUES

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES
TRATAMENTOS (FIBRA/MATRIZ) NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS
REFORÇADOS COM FIBRA DE MALVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Materiais Regionais e Não Convencionais para Estruturas e Pavimentos.

Orientadora: Prof^a. Dra. Virginia Mansanares Giacon
Co-orientador: Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho

MANAUS
2015

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

R696e Rodrigues, Fabrício de Amorim
Estudo da influência de diferentes tratamentos (fibra/matriz) nas propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras de malva / Fabrício de Amorim Rodrigues. 2015
99 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Virginia Mansanares Giacon
Coorientador : João de Almeida Melo Filho
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Compósito. 2. Tratamento. 3. Fibras de Malva. 4. Resíduo Cerâmico. I. Giacon, Virginia Mansanares II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

FABRÍCIO DE AMORIM RODRIGUES

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES
TRATAMENTOS (FIBRA/MATRIZ) NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS
REFORÇADOS COM FIBRA DE MALVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Materiais Regionais e Não Convencionais para Estruturas e Pavimentos.

Aprovado em 21 de dezembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Virginia Mansanares Giacon, D. Sc. Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Prof^a Ângela Mari dos Santos Costella, D. Sc. Membro
Universidade Federal do Amazonas

Prof. José Carlos Calado Sales Júnior, D. Sc. Membro
Universidade Federal do Amazonas

Dedico aos meus pais Selma e
Armando Rodrigues, obrigado por
tudo.

AGRADECIMENTOS

Ao grande Criador, por me dar forças, saúde, oportunidades, por me ajudar a vencer desafios e a superar os obstáculos impostos pelas mais diversas adversidades.

Aos meus amados pais, Selma e Armando Rodrigues, pelo exemplo de dedicação, sabedoria, incentivo e apoio a mim e às minhas escolhas.

Aos meus queridos irmãos Susy, Armando Jr, Clarissa e Sabrina, e também aos meus cunhados Paulo Roberto, Cledisson e Josy, pelo amor, carinho, incentivo e principalmente por me ajudar sempre que precisei.

Aos meus sobrinhos Camilla, Ana Luísa, Gabriel e Vinícius, pela felicidade de os terem sempre ao meu lado.

Aos professores do curso, por nos dedicarem seu tempo e conhecimento, ajudando com o andamento e conclusão deste trabalho.

Ao professor DSc. João de Almeida Melo Filho, co-orientador desta pesquisa, pelo seu conhecimento passado a mim e por ajudar na melhor elaboração e finalização do trabalho.

À querida orientadora DSc. Virginia Mansanares Giacon, pela dedicação, carinho, conhecimento, afinidade, comprometimento, mas acima de tudo, pela amizade e pelas palavras de incentivo e apoio sempre presentes durante todo o processo desta dissertação.

Aos amigos Thaiany Mota, Igor Bezerra, Wanderson Félix e Edda Félix, pela afinidade e amizade.

Às queridas amigas Andrezza Barbosa e Viviane Rebelo, pelas horas perdidas me auxiliando no laboratório, pelas palavras de carinho e incentivo e principalmente pela amizade verdadeira construída ao longo desse último ano.

À Daiana Cavalcante, pelo incentivo, amizade e ajuda sempre presente.

À Gleiciany Portela, pela amizade e pelos momentos de descontração, me fazendo sorrir mesmo nos momentos mais sérios.

Aos técnicos e colaboradores dos laboratórios, em especial ao Rosinaldo Rabelo, por sua disponibilidade e apoio, sempre buscando ajudar com a melhoria do trabalho.

A todos que colaboraram de forma direta e indireta para a conclusão deste trabalho.

À FAPEAM pelo apoio financeiro, sem o qual este trabalho não seria possível.

RESUMO

Desde a antiguidade é conhecida a utilização em larga escala de fibras naturais ou outros materiais orgânicos e inorgânicos como reforço de matrizes frágeis a fim de melhorar suas propriedades mecânicas. As fibras vegetais apresentam inúmeras vantagens no uso em compósitos uma vez que possuem baixo custo, baixa densidade e abrasividade, são atóxicas, biodegradáveis, abundantes na natureza entre outros fatores. A partir disso, optou-se em utilizar a fibra de malva (*Urena Lobata Linn*), difundida na região amazônica e comercializada no comércio local, como agente de reforço em compósitos cimentícios. Este estudo buscou o desenvolvimento de compósitos laminares cimentícios com fibras longas e alinhadas de malva, com teor de 6% em volume de fibras, dispersas em 5 camadas longitudinais, tendo como resultado final uma placa laminar. Foram propostos dois tipos de tratamento aos compósitos: impregnação das fibras por meio de imersão em verniz a base de copolímeros acrílicos em emulsão, com o intuito de diminuir a hidrofobicidade e tratamento da matriz por resíduo cerâmico cominuído em substituição parcial de 50% ao cimento Portland, a fim de proporcionar uma diminuição do hidróxido de cálcio, melhorando a resistência mecânica do compósito e protegendo o reforço vegetal. Os compósitos foram caracterizados mecanicamente através de ensaios de tração direta e de flexão em 4 pontos, além de análise microestrutural óptica e eletrônica de varredura. Já as fibras foram caracterizadas por termogravimetria e análise morfológica, utilizando microscopia óptica e de varredura, com o intuito de avaliar o tratamento com verniz. Os resultados de microscopia eletrônica indicaram que não houve melhoramento interfacial entre fibra e matriz após o tratamento. Por outro lado, os ensaios mecânicos, indicaram que os compósitos com a substituição parcial de resíduo cerâmico apresentaram resultados iguais ou superiores quando comparados aos de matriz de cimento Portland, tanto para o reforço com as fibras tratadas quanto as sem tratamento, levando a considerar a relevância da fibra de malva como agente de reforço promissor para compósitos de alta resistência.

Palavras-chave: Compósito; tratamento; fibras de malva; resíduo cerâmico

ABSTRACT

Since ancient times it has been known the use range of natural fibers and other organic and inorganic materials such as reinforcing agent in matrix to improve their mechanical properties. The vegetable fibers have numerous advantages for use in composites such as low cost, low density and abrasion, are nontoxic, biodegradable, abundant in nature and other factors. From this, it was decided to use the mauve fiber (*Urena lobata Linn*), widespread in the Amazon region and sold in the local market, as a reinforcing agent in cement composites. This study aimed to develop laminar cement composites with long alignments of mauve fibers, consisting of 6% by volume of fibers dispersed in 5 longitudinal layers, to obtain a laminar plate. It was proposed two kinds of treatment to the composite: impregnating the fibers by immersion coating based on acrylic copolymer emulsion in order to decrease hydrophilicity and matrix treating with comminuted ceramic waste in 50% partial replacement of the Portland cement to provide calcium hydroxide decrease and improving the mechanical strength of the composite protecting the vegetable filler. The composites were characterized by direct tensile, 4 points bending, optical microstructural analysis and scanning electron. The fibers were characterized by thermogravimetry and morphological analysis using optical and scanning microscopy in order to evaluate varnish treatment. The results of electron microscopy showed no improvement interfacial between fiber and matrix after treatment. Moreover, the mechanical tests showed that the composite with the partial substitution of ceramic waste have presented the same or superior results when compared to the Portland cement matrix, both for the reinforcement with the treated fibers and the untreated, leading to consider the mauve fiber relevance as a promising reinforcement agent for high strength composites.

Keywords: Composite; treatment; mauve fibers; ceramic waste

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O empilhamento de sucessivas camadas de reforço com fibras orientadas para um compósito laminar.	19
Figura 2 – Reações de hidratação dos óxidos presentes no cimento	22
Figura 3 – Resíduo cerâmico	43
Figura 4 – Divisão do trabalho em etapas	44
Figura 5 - Fibra embonecada de malva. (a) Boneca de fibra de malva. (b) Comprimentos variados da fibra de malva. (c) Corte das pontas e padronização do tamanho.....	45
Figura 6 - Limpeza da fibra. (a) Fibras imersas durante 24 horas. (b) Retirada do restante de material orgânico em água corrente.	46
Figura 7 - Preparação das fibras de malva. (a) Penteamento das fibras. (b) Fibras totalmente desembaraçadas e alisadas.	46
Figura 8 – Padronização das camadas (a) Fibras cortadas obedecendo ao tamanho da forma de molde (b) Pesagem de cada camada obedecendo ao volume de 06%. (c) Pesagem de cada camada obedecendo ao volume de 10%. d) Tapete confeccionado. ..	47
Figura 9 – Tratamento das fibras. (a) Amostras para tratamento com diluições em verniz (b) Medidor de umidade Ohaus.	48
Figura 10 – Cominuição do resíduo cerâmico (RC). (a) Moinho de abrasão Los Angeles. (b) RC após britagem no moinho de abrasão. (c) Moinho de bolas. (d) RC na peneira 200 após sair do moinho de bolas.....	49
Figura 11 – Granulômetro a laser modelo Mastersizer MS2000.....	50
Figura 12 – Material separado para o início de confecção dos compósitos.	51
Figura 13 – Produção da matriz: (a) Misturador de bancada; (b) Materiais secos em processo de homogeneização; (c) Adição de superplastificante diluído em água; (d) Aplicação de desmoldante na forma de acrílico.....	52
Figura 14 – Moldagem do compósito I: a) Aplicação da base; b) Espalhamento com auxílio de espátula; c) Aplicação da primeira camada de fibra; d) Homogeneização da fibra com a argamassa; e) Homogeneização da fibra com a argamassa vista superior; f) Camada seguinte de argamassa; g) Última camada de argamassa finalizando o compósito; h) Placa cerâmica colocada para a distribuição uniforme da carga; i) Placa de aço colocada para a distribuição uniforme da carga; j) Detalhe da tampa acrílica com os parafusos, porcas e arruelas; l) Forma fechada; m) Desmolde após 24 horas; n) Placa laminada finalizada após desmole; o) Processo de cura de 28 dias em imersão em água.	53
Figura 15 – Corte da placa para ensaio das amostras	55

Figura 16 – Processo de embutimento: a) amostras totalmente preenchidas com resina poliéster; b) Processo de cura por 24 horas.	57
Figura 17 – amostras e lixadeira: a) amostras após desmolde; b) lixadeira politriz utilizada para o desbaste das amostras.	57
Figura 18 – Equipamento eletrônico de varredura de bancada	58
Figura 19 – Ensaio de termogravimetria: a) Equipamento termogravimétrico; b) Cadinhos de platina	59
Figura 20 – Equipamento eletromecânico utilizado nos ensaios de tração direta e flexão em 4 pontos.....	59
Figura 21 – Amostra presa nas garras metálicas para o ensaio de tração direta.....	60
Figura 22 – Detalhe da amostra no ensaio mecânico de flexão em 4 pontos.....	60
Figura 23 – Detalhes das amostras: a) vista superior da amostra com fibra sem tratamento; b) detalhes da distribuição das fibras no interior do compósito; c)vista superior da amostra de fibra com tratamento; d) detalhes da distribuição das fibras após tratamento.	67
Figura 24 – Detalhes das amostras: a) vista lateral da amostra com fibra sem tratamento; b) detalhes das camadas das fibras; c) vista lateral da amostra de fibra com tratamento; d) detalhes da má aderência das fibras no interior do compósito.....	68
Figura 25 – Amostras com substituição parcial por resíduo cerâmico: a) vista superior da amostra com fibra sem tratamento; b) detalhes da distribuição das fibras no interior do compósito; c) vista superior da amostra com fibra com tratamento; d) detalhes da distribuição das fibras tratadas no interior do compósito.	69
Figura 26– Amostras com RC: a) detalhe das 5 camadas de fibra de malva no interior da amostra do compósito; b) má aderência das fibras de malva na matriz.	70
Figura 27 – MEV das fibras sem e com tratamento de verniz: a) dispersão dos filamentos e lúmens aparentes; b) filamentos parcialmente unidos pelo tratamento	70
Figura 28 – Detalhes das fibras: a) fibra sem tratamento; b) fibra com tratamento	71
Figura 29 – MEV dos Compósitos: a) Amostra matriz cimentícia e fibra sem tratamento; b) Amostra matriz cimentícia e fibra com tratamento; c) Amostra matriz com substituição e fibra sem tratamento; d) Amostra matriz com substituição e fibra com tratamento	72
Figura 30– Termogravimetria das fibras sem e com tratamento	73
Figura 31 – Curvas típicas do ensaio de tração direta e as regiões analisadas.....	74
Figura 32 – Imagens de amostras após o ensaio de tração direta: a) Amostras ensaiadas no equipamento e formação das fissuras; b) Após ensaio apenas as fissuras maiores	

ficavam em evidência; c) Marcação com lápis para melhor visualização da fissura; d) Detalhe das fissuras.	79
Figura 33– Curvas típicas do ensaio de tração direta e regiões analisadas.	80
Figura 34 – Diferença entre as curvas das amostras de matriz com resíduo cerâmico e cimento Portland.....	82
Figura 35 – Imagens de amostras após o ensaio de flexão direta: a) Amostras ensaiadas no equipamento e formação das fissuras; b) Após ensaio apenas as fissuras maiores ficavam em evidência; c) Marcação com lápis para melhor visualização da fissura; d) Detalhe das fissuras.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exigências Químicas	26
Tabela 2 – Exigências Físicas.....	26
Tabela 3 - Principais fontes de fibras comerciais	32
Tabela 4 – Resistência física da fibra de malva.....	33
Tabela 5 – Análise química comparativa da fibra de juta com a fibra de malva.....	34
Tabela 6 – Produção estadual de Juta/malva	36
Tabela 7 – Propriedades físico-químicas do verniz.....	43
Tabela 8 – Parâmetros de qualidade da água1	44
Tabela 9 - Dados técnicos do superplastificante	44
Tabela 10 – Produção e configuração das placas laminadas	55
Tabela 11 – Resultado do ensaio de fluorescência de raios-x	63
Tabela 12 – ensaio granulométrico do cimento.....	65
Tabela 13 – Caracterização da areia	65
Tabela 14 – Amostras sem e com tratamento a base de verniz ensaiadas com 28 dias .	74
Tabela 15 – Amostras sem e com tratamento a base de verniz ensaiadas com 56 dias .	75
Tabela 16 – Amostras de matriz com substituição por resíduo cerâmico e de cimento Portland.....	75
Tabela 17 – Influência do volume de fibras em matriz com resíduo cerâmico.....	76
Tabela 18 – Amostras com tratamento nas fibras em matrizes com substituição e em cimento Portland.....	77
Tabela 19 – Amostra da matriz com substituição parcial com reforço de fibras sem e com tratamento	77
Tabela 20 – 10 Ciclos de molhagem e secagem para amostras com matriz cimentícia .	78
Tabela 21 – Amostras do compósito com 28 dias e reforço sem e com tratamento de verniz	80
Tabela 22 – Amostras do compósito com 56 dias e reforço sem e com tratamento de verniz	81

Tabela 23 – Amostras com alteração da matriz com substituição parcial de resíduo cerâmico.....	82
Tabela 24 – Amostras com diferentes volumes de fibras	83
Tabela 25 – Amostras com matriz com substituição e fibras com e sem tratamento.....	83
Tabela 26 – Diferença entre diferentes matrizes e fibras com tratamento	84
Tabela 27 – Amostras com matriz cimentícia aos 10 ciclos de envelhecimento	84

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Relação da perda de água x tempo 1	62
Gráfico 2 – Laudo de Análise Sedimentométrica Granulometria por espalhamento a laser.....	64
Gráfico 3 – Curva granulométrica da areia	66

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	16
1- INTRODUÇÃO	16
1.2 - OBJETIVOS	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
CAPÍTULO 2	19
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1.1 – MATERIAL COMPÓSITO LAMINAR	19
2.1.2 – TIPOS DE REFORÇO	20
2.1.3 – MATRIZ CIMENTÍCIA	21
2.1.4 – REAÇÕES DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND	23
2.1.5 – ADIÇÕES MINERAIS	24
2.1.6 – REAÇÕES POZOLÂNICAS	27
2.1.7 – RESÍDUO CERÂMICO	28
2.1.8 – SUPERPLASTIFICANTES	30
2.2 – FIBRAS NATURAIS	31
2.2.1 – FIBRAS DE MALVA	33
2.2.2 - EXTRAÇÃO DA FIBRA	34
2.2.3 - TIPOS DAS FIBRAS POR CLASSIFICAÇÃO	35
2.3 – COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS COMPÓSITOS COM REFORÇO DE FIBRAS VEGETAIS	36
2.4 – DURABILIDADE DE COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS	39
2.5 – TRATAMENTOS SUPERFICIAIS DE FIBRAS VEGETAIS E ALTERAÇÕES DA MATRIZ CIMENTÍCIA	40
CAPÍTULO 3	42
3 - MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS	42
3.1 MATERIAIS	42
3.1.1 FIBRAS DE MALVA	42
3.1.2 CIMENTO	42
3.1.3 AREIA	42
3.1.4 RESÍDUO DA INDÚSTRIA CERÂMICA	42
3.1.5 VERNIZ	43
3.1.6 ÁGUA	43
3.1.7 SUPERPLASTIFICANTE	44
3.2 MÉTODOS EXPERIMENTAIS	44

3.2.1 PREPARAÇÃO DA FIBRA DE MALVA	45
3.2.2 – TRATAMENTO DAS FIBRAS.....	47
3.2.3 – PRODUÇÃO DO RESÍDUO CERÂMICO (RC).....	48
3.2.4 – PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS	50
3.2.5 – CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS, FIBRAS E DOS COMPÓSITOS.....	50
3.2.5.1 – MICROSCOPIA OPTICA	56
3.2.5.2 - MICROSCOPIA DE VARREDURA ELETRÔNICA	57
3.2.5.4 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICO DOS COMPÓSITOS.....	59
CAPÍTULO 4	62
4 – RESULTADOS	62
4.1 – TRATAMENTO DA FIBRA	62
4.2 – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO CERÂMICO E DOS AGREGADOS ...	63
4.3 – CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS	66
4.3.1 – MICROSCOPIA ÓPTICA DOS COMPÓSITOS	66
4.3.2 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – FIBRAS E COMPÓSITOS.....	70
4.3.3 – TERMOGRAVIMETRIA	72
4.3.4 – COMPORTAMENTO MECÂNICO DE TRAÇÃO DIRETA.....	73
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO	87
6 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	88
7 – REFERÊNCIAS	89

CAPÍTULO 1

1- INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, estudos têm apresentado bons resultados na utilização de materiais naturais (fibras vegetais) para a produção de concretos e argamassas, visando a redução do custo do produto final, como também o reaproveitamento de resíduos sólidos (vidro, garrafas plásticas etc) na composição de compósitos (OLIVEIRA 1989, JOHN ET AL 1990, BERHANE 1999, SAVASTANO JÚNIOR 2000, PREUZZI 2002, MELO FILHO 2005, TOLEDO FILHO ET AL 2009, MARTINS NETO 2011, OLIVEIRA 2013). Segundo Bentur e Mindess (1990), a principal característica da adição de fibras aos compósitos, é o aumento da tenacidade bem como o da resistência mecânica, quando comparados a matrizes sem reforços, sendo estas geralmente mais frágeis. Ainda de acordo com os autores, esse aumento é devido a melhor transferência de tensões entre a matriz e as fibras.

Neste contexto, com o intuito de melhorar as propriedades mecânicas dos compósitos, é possível utilizar materiais alternativos como fibras vegetais. De acordo com Brandt (2008), materiais como crinas de cavalo, palha e outras fibras vegetais já eram utilizados em reforços de matrizes frágeis, para a confecção de tijolos de barro cozido e pisos desde os tempos bíblicos. Estudos recentes (Oliveira (2013), Melo Filho (2012), Martins Neto (2011)), apontam resultados promissores na utilização das fibras vegetais como reforço em matrizes cimentícias.

Por outro lado, um dos grandes desafios na utilização de fibras vegetais como reforço em compósitos de matrizes cimentícias é a sua baixa durabilidade. O meio alcalino presente nesta matriz aliado a alta capacidade de absorção de umidade pela fibra, faz com que ela absorva água a qual contém álcalis provenientes da matriz cimentícia, enfraquecendo sua estrutura, ocorrendo alterações de volume bem como a mineralização das fibras, e com o tempo, o compósito torna-se menos durável e resistente.

Visando o aumento da durabilidade dos compósitos e a preservação da integridade da fibra como agente de reforço, autores como Gram (1983), John et al (1990), Berhane (1999), Toledo Filho et al (2000), Melo Filho (2005), Toledo Filho et al (2009), Oliveira (2013) entre outros, sugerem alterações tanto na matriz como na

fibra. Dentre essas alterações é possível citar a impregnação da fibra com agentes bloqueadores e repelentes de água, mudanças nas superfícies para melhorar a aderência fibra-matriz, bem como a redução da alcalinidade da matriz cimentícia com substituição parcial ao cimento através da utilização de materiais pozolânicos como, sílica ativa, resíduo cerâmico, cinza da casca do arroz, entre outros.

Assim sendo, o presente estudo tem como objetivo principal estudar a influência de tratamento de fibras de malva (*Urena lobata Linn*), nas propriedades mecânicas para a produção de compósitos de matriz cimentícia. Optou-se pela utilização da malva devido as suas propriedades mecânicas apresentarem-se similares ou superiores ao kenaf (*Hibiscus cannabinus*) e juta (*Corchorus capsularis*) (COSTA ET AL, (2012) e OLIVEIRA, (2013)). Para o tratamento das fibras, foram avaliados dois métodos: as fibras foram modificadas através de tratamento com verniz a base de copolímeros acrílicos em emulsão, visando um aumento da hidrofobicidade dessas fibras e a adição parcial de resíduo cerâmico moído em substituição ao cimento Portland, a fim de minimizar o teor de Ca(OH)_2 presente na matriz.

1.2 - OBJETIVOS

Objetivo Geral

- Estudar a influência do tratamento de fibras de malva (*Urena lobata Linn*) presentes em compósitos laminares com diferentes matrizes (cimento Portland e substituição por resíduo cerâmico), com o intuito de avaliar suas propriedades mecânicas.

Objetivos Específicos

- Avaliar a melhor concentração a ser utilizada de verniz comercial, visando à impermeabilização da fibra.
- Analisar microestruturalmente a interface fibra-matriz de compósitos reforçados com fibras de malva.
- Analisar o desempenho dos compósitos reforçados com fibra de malva em relação às propriedades mecânicas de flexão e de tração direta.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em 5 capítulos conforme segue:

O **Capítulo 1** apresenta a introdução, os objetivos e a estrutura do trabalho proposto.

No **Capítulo 2** é apresentada a revisão bibliográfica com as características da matriz cimentícia, tipos de orientação de reforço, adições minerais, tipos de fibras vegetais incluindo a fibra de malva, comportamento mecânico e de durabilidade dos compósitos, bem como os tratamentos superficiais de fibras vegetais.

No **Capítulo 3** são apresentados os materiais empregados, bem como a metodologia utilizada para produção e caracterização dos compósitos, além da caracterização das fibras.

No **Capítulo 4** são apresentados e discutidos os resultados.

No **Capítulo 5** são apresentadas as principais conclusões obtidas no trabalho.

CAPÍTULO 2

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 – MATERIAL COMPÓSITO LAMINAR

Segundo Callister e Rethwisch (2012), compósito pode ser definido como qualquer material multifásico, composto pela combinação de dois ou mais materiais, e assim, é realizado o princípio de ação combinada através do arranjo de propriedades.

Ainda segundo os autores, as combinações dos compósitos podem ser entre polímeros, cerâmicas e metais, mas, para tanto, tais combinações estão sujeitas às condições de processamento e possíveis incompatibilidade entre os componentes. Com relação aos compósitos laminares utilizados neste trabalho, Callister e Rethwisch (2012) os definem como um material composto de painéis ou de folhas bidimensionais que possuem uma direção preferencial a fim de proporcionar uma elevada resistência mecânica.

No seu processo de fabricação, as camadas são empilhadas e subsequentemente unidas de forma que a orientação da direção (de alta resistência) varie com cada camada sucessiva de acordo com a figura 01, pois segundo os autores, o compósito laminar possui uma resistência mecânica relativamente mais elevada em um determinado número de direções no plano bidimensional, mas, tal resistência em qualquer direção é, naturalmente, menor do que seria se as fibras fossem orientadas em uma só direção.

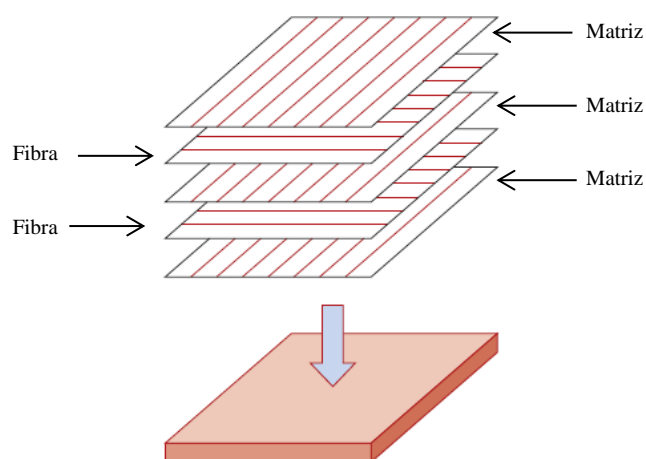


Figura 1 - O empilhamento de sucessivas camadas de reforço com fibras orientadas para um compósito laminar.

Fonte: Callister e Rethwisch, 2012 (adaptado).

Lima et al (2007), citam que componentes laminares são conhecidos desde o século XVIII, quando Ludwing Hatschek produziu na Áustria, placas de cimento e fibras de asbesto, fazendo com que o cimento amianto se tornasse o principal compósito laminar utilizado na construção civil até seu banimento, em virtude de problemas de saúde relacionados à estas fibras, durante o processo de produção do cimento.

2.1.2 – TIPOS DE REFORÇO

Para Caetano et al (2004), as fibras de origem animal, vegetal, sintética ou mineral que atuam como reforço em materiais compósitos, têm o objetivo de minimizar a propagação de fissuras, bem como o de agir como agente transferidor de esforços. Assim sendo, tais reforços garantem à matriz (quando é iniciada a abertura de fissuras), uma maior capacidade de resistência quando exposta a uma solicitação mecânica, tonando a ruptura um processo progressivo. Izquierdo (2011) afirma que a interface fibra-matriz é a responsável pelo trabalho de transferências dos reforços entre a matriz e o reforço. Alguns fatores como tipo de fibra, quantidade, volume relativo, comprimento, forma e orientação das fibras influenciam no desempenho dos compósitos. Outro fator importante a ser observado é a qualidade da interface entre os componentes (fibra/matriz).

Ainda segundo o autor, com o aumento da quantidade de fibras à matriz, maior será a interceptação de microfissuras, melhorando os fatores de tenacidade, resistência e de tensão máxima. Por outro lado, com o aumento da quantidade de fibras, ocorre a redução da trabalhabilidade da mistura, maior absorção de água e acréscimo da área superficial de molhagem, podendo causar problemas de homogeneidade.

Segundo Jones (1975), os materiais compósitos podem ser classificados em três classes: compósitos com fibras (fibras dispersas ou alinhadas dentro de uma matriz), compósitos laminados (composto por camadas de materiais distintos) e compósitos particulados (partículas de um determinado material inserido na matriz).

Bernardi (2003) cita que a orientação das fibras como agente transferidor é determinante para a resistência à flexão, compressão, cisalhamento e tração do compósito. Peres (2011) afirma que os compósitos reforçados por fibras longas e contínuas, são geralmente mais rígidos e resistentes. Silva (2002) observou que compósitos reforçados por fibras curtas e aleatoriamente distribuídas, apresentam vantagens relacionadas à rapidez e facilidade no processamento, resultando em baixo

custo. Melo Filho (2012) cita que a eficiência dos elementos de transição com a utilização de fibras curtas com distribuição aleatória na matriz é menor quando comparada a compósitos com reforço de fibras contínuas e alinhadas. Zárate et al (2000) afirmam que para compósitos com fibras contínuas a resistência à tração é superior aos compósitos com fibras descontínuas.

No presente trabalho foram utilizadas fibras longas, contínuas e alinhadas em compósitos cimentícios, pois alguns autores como Silva (2009), Melo Filho (2012) e Oliveira (2013) obtiveram resultados relevantes ao utilizar fibras longas, contínuas e/ou alinhadas como agente de reforço em materiais compósitos cimentícios quando comparados a compósitos com diferentes tipos de alinhamento e dispersão de fibras.

2.1.3 – MATRIZ CIMENTÍCIA

As matrizes cimentícias utilizadas na produção de compósitos laminares são formadas por cimento Portland, agregados, água e ainda adições minerais e aditivos químicos (superplastificantes) (TOLEDO FILHO 1997, MELO FILHO 2005, TOLEDO FILHO ET AL 2009). O cimento Portland, comumente usado no Brasil e que atua na fase contínua do compósito, é um material de baixo custo, com boa durabilidade e resistência à compressão, além de apresentar rigidez condizente com as normas vigentes no país, baixa resistência à tração, ruptura frágil e com capacidade de deformação definitivamente baixa.

Segundo Kihana e Centurione (2005), o processo produtivo do cimento Portland no Brasil iniciou-se aproximadamente em 1888, na Ilha de Tiriri na Paraíba e no município de Santo Antônio em São Paulo. Atualmente, de acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento – SNIC, a indústria brasileira de cimento é constituída por sete grupos empresariais, responsáveis por 85 fábricas distribuídas em todo o território nacional. Ainda segundo o SNIC, a produção nacional do ano de 2014 foi de 71,22 milhões de toneladas, com um consumo *per capita* no ano de 2013 de 353/kg/hab/ano, e 70,16 milhões de toneladas de produção neste ano.

O cimento Portland é obtido a partir da moagem do clínquer Portland (sinterizado e peletizado) produzido através de uma mistura heterogênea e proporcional de vários minerais reagidos a uma temperatura de até 1450°C. Também na sua composição há a adição de sulfato de cálcio, com proporções que variam de 3 a 5% em massa na forma de gipsita (CaSO₄), com a finalidade de regular o tempo de pega ou o

endurecimento inicial do produto (MEHTA E MONTEIRO, 1994; KIHARA E CENTURIONE, 2005; CALLISTER E RETHWISCH, 2012).

Os principais constituintes do cimento Portland são a cal (CaO), o óxido de silício ou sílica (SiO₂), óxido de alumínio ou alumina (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), magnésio (MgO), além de um percentual de anidrido sulfúrico (SO₃) que é utilizado após a calcinação, retardando o período de cura do produto. Existem ainda outros componentes, como os óxidos de potássio (K₂O) e óxidos de sódio (Na₂O), os quais constituem os álcalis do cimento, além dos óxidos de titânio (TiO₂), o óxido de Manganês (Mn₃O₄) e o Anidrido Fosfórico (P₂O₅) entre outras substâncias sem grandes relevâncias (MEHTA e MONTEIRO 1994; BAUER 1995).

Lourenci (2003) cita que se o processo de fabricação não for preciso, pode ocasionar em um aumento de cal livre e que acima de certos limites, prejudica a estabilidade de volume de argamassas e concretos. Ainda conforme o autor, as propriedades do cimento Portland estão relacionadas intrinsecamente ao teor dos compostos formados após a obtenção do clínquer.

Os óxidos presentes no cimento são formadores de silicatos e aluminatos (quando ocorre a hidratação do mesmo), conforme figura 2. Estes compostos são os responsáveis por colaborar com as características de resistência, pega, estabilidade de volume, sendo que alguns óxidos ainda possuem a função de mineralizadores, os quais permitem a formação de compostos do cimento a temperaturas relativamente menores (impossíveis de outro modo), e ainda a função de agente fundentes.

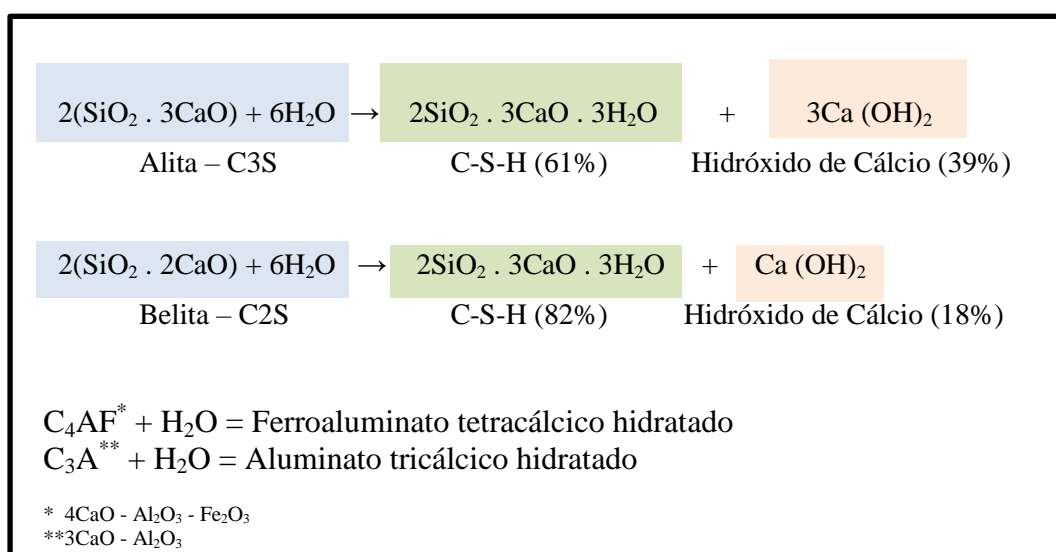


Figura 2 – Reações de hidratação dos óxidos presentes no cimento
 Fonte: Lima, 2009; Kihara e Centurione, 2005 (adaptado).

2.1.4 – REAÇÕES DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

Mehta e Monteiro (1994) definem hidratação, a reação química do cimento com a água, gerando assim, produtos com características de pega e endurecimento, transformando compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis. Lourenci (2003) cita que devido o cimento ser formado por vários compostos, estes não se hidratam à mesma velocidade, já que os aluminatos se hidratam mais rapidamente que os silicatos e desta forma, tais reações de hidratação nos permitem analisar a perda de consistência (enrijecimento) e a solidificação (pega). Na fase do enrijecimento a pasta ainda é trabalhável, mas após o início da pega a pasta torna-se não trabalhável.

Kihara e Centurione (2005) afirmam que a alita (C_3S), composto principal do clínquer, confere à pasta cimentícia o endurecimento acelerado, alto calor de hidratação, bem como elevada resistência inicial. Mehta e Monteiro (1994) afirmam que a desaceleração desta reação é obtida ao se adicionar gipsita ($CaSO_4 \cdot H_2O$) à composição química, uma vez que para a construção civil esta reação rápida não é interessante. Peruzzi (2002) cita que a alita é o composto responsável pela resistência mecânica em concretos e argamassas logo nas primeiras idades.

Já a belita (C_2S) é o que proporciona o endurecimento mais lento assim como menor calor de hidratação e resistência inicial. Segundo Neville (1997), a quantidade de belita presente na composição do cimento Portland varia entre 17 e 25%. Peruzzi (2002) afirma que a hidratação do C_2S ocorre de forma mais lenta, apresentando um desprendimento menor de calor além de ser responsável, nas idades mais avançadas das argamassas e concretos, pela resistência mecânica.

Kihara e Centurione (2005) citam que a hidratação da alita com a belita produz hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) e silicatos cálcicos hidratados (C-S-H). Quando comparado ao C-S-H, o hidróxido de cálcio contribui relativamente pouco à resistência mecânica da pasta cimentícia, além de ser solúvel, podendo ser lixiviado de maneira mais fácil, o que ocasiona a porosidade da matriz. Para Toledo Filho (2003) este caráter alcalino prejudica a durabilidade dos compósitos reforçados com fibras vegetais, uma vez que os álcalis enfraquecem as fibras (pois estas são suscetíveis à absorção de água) já que os produtos de hidratação migram para os lúmens e espaços vazios das fibras, ocorrendo a variação volumétrica bem como a mineralização da fibra.

Lourenci (2003) afirma que o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ quando se dissolve à umidade do ar e reage com o CO_2 (dióxido de carbono) presente na superfície da argamassa, forma o CaCO_3 (carbonato de cálcio), que leva à formação de eflorescências esbranquiçadas (carbonatação).

Essa fase sólida, de acordo com Neville (1997), é a que possui maior vulnerabilidade quando em contato com meios ácidos e água, pois reduz a resistência e durabilidade do material e tal ataque químico ocorre principalmente pela ação de íons agressivos como cloretos, sulfatos ou dióxidos de carbono. Mehta e Monteiro (1994) concluíram que a hidratação de alita e belita produzem estruturas similares de silicatos de cálcio hidratados, entretanto, apresentam composições químicas distintas referentes ao teor de água combinada quimicamente e em relação ao cálcio/sílica.

Para Neville (1997) e Bauer (1995) os aluminatos correspondem entre 3 e 8% da composição do cimento Portland e agem como agentes fundentes, preenchendo os espaços vazios entre os cristais de silicato de cálcio hidratado reduzindo a temperatura de calcinação do clínquer. Já o aluminato tricálcico (C_3A) é o que produz o aumento do calor de hidratação e de retração, a redução da resistência final, e é o responsável pela pega do cimento. O C_3A quando entra em contato com a água forma trissulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita) e, logo após, em monossulfoaluminato de cálcio hidratado. Segundo Lourenci (2003), o trissulfoaluminato de cálcio hidratado cristaliza-se como pequenas agulhas prismáticas e o monossulfoaluminato de cálcio hidratado em forma de placas hexagonais delgadas.

O ferroaluminato tetracálcico hidratado ($\text{Ca}_4\text{AlFe} \cdot \text{H}_2\text{O}$) é responsável pelo endurecimento lento da argamassa e é resistente aos sulfatos, mas não possui contribuição na resistência mecânica. Kihara e Centurione (2005) concluíram que o papel do C_4AF está relacionado às fases iniciais de pega e endurecimento da pasta cimentícia, dependem exclusivamente da composição química e da temperatura de formação.

2.1.5 – ADIÇÕES MINERAIS

A NBR 11172 (1990) define o termo aditivo como o produto químico adicionado em pequenos teores às caldas, argamassas e concretos com a finalidade de alterar suas características no estado fresco e/ou no endurecido e o termo adição para o

produto de origem mineral adicionado aos cimentos, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características.

Atualmente o mercado brasileiro possui diversos tipos de cimentos Portland com diferentes composições químicas, adições minerais e finura de grãos, tais como o cimento Portland comum, composto, de alto forno, pozolânico, de alta resistência inicial, entre outros.

Rocha (2008) descreve que a eficiência de uma adição mineral pode variar em função da quantidade utilizada e das condições de cura, assim como em função da composição química, mineralógica e granulométrica, sendo que estas duas últimas são as responsáveis pela ação diferenciada das adições no comportamento do concreto.

Dal Molin (2005) afirma que as adições minerais podem ser classificadas em três grupos, de acordo com sua ação físico-química: material cimentante, fíler e material pozolânico.

O material cimentante não necessita do hidróxido de cálcio para formar produtos cimentantes. Entretanto, a sua auto-hidratação é geralmente mais lenta, e a quantidade de produtos formados é insuficiente para a aplicação do material para fins estruturais. Dal Molin (2005), afirma que o fíler é uma adição mineral (fina) dividida, ausente de atividade química, com objetivo físico de empacotamento granulométrico e age como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos cimentícios.

Com relação ao material pozolânico, observa-se que desde as civilizações gregas e romanas encontra-se o vestígio da utilização destes materiais em suas construções. Segundo a definição da NBR 12653 (2014), bem como a da American Society for Testing and Materials (ASTM), em sua norma D5370 (2014), pozolanas são materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si sós, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente formando compostos com propriedades aglomerantes.

A NBR 12653 (2014) classifica em três classes os materiais pozolânicos (Classe N, Classe C e Classe E) em função da sua origem, requisitos químicos e físicos estabelecidos por esta Norma.

Os materiais pozolânicos da Classe N são as pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos aplicáveis na NBR 12653 (2014), como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, “cherts” silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas. Os da Classe C são as cinzas volantes produzidas pela queima de carvão

mineral em usinas termoelétricas, que obedecem também aos requisitos aplicáveis nesta NBR. Por último o material da Classe E é qualquer pozolana cujos requisitos diferem das classes anteriores, conforme estabelecido na mesma NBR (NBR 12653/2014).

Ainda, segundo a mesma NBR, os materiais pozolânicos devem estar em conformidade com as exigências químicas e físicas estabelecidas respectivamente nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Exigências Químicas

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , % mín.	70	70	50
SO ₃ , % máx.	4,0	5,0	5,0
Teor de umidade, % máx.	3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo, % máx.	10,0	6,0	6,0
Álcalis disponíveis em Na ₂ O, % máx.	1,5	1,5	1,5

Fonte: NBR 12653 (2014).

Tabela 2 – Exigências Físicas

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
Material Retido na peneira 45µ, % máx.	34	34	34
Índice de atividade pozolânica: com cimento aos 28 dias, em relação ao controle, % mín.	75	75	75
com cal aos 7 dias, em Mpa	6,0	6,0	6,0
água requerida, % máx.		6,0	6,0

Fonte: NBR 12653 (2014).

Para Malhotra e Mehta (1996) a adição de adições minerais em partículas finamente divididas ao concreto, como o resíduo cerâmico, tende a melhorar a trabalhabilidade e estabilidade da mistura, reduzindo a exigência de água para uma dada consistência (com exceção de alguns materiais como a sílica ativa ou cinza da casca do arroz, pois apresentam elevada área superficial). Também favorece o aumento da resistência mecânica em idades avançadas e a durabilidade frente ao ataque de agentes químicos ocorrendo uma diminuição das fissuras térmicas, devido ao menor calor de hidratação dos cimentos compostos.

Male (1989), afirma que as pequenas partículas das adições minerais, em grande número, agem como bloqueadoras de poros, já que aumentam o contato sólido-

sólido, e assim os concretos com adições tendem a ser mais coesos, pois apresentam redução considerável à tendência de segregação e exsudação, quando comparados a um concreto sem adição.

2.1.6 – REAÇÕES POZOLÂNICAS

Segundo Oliveira e Barbosa (2006), uma das principais propriedades da pozolana é a forma como ela reage e se combina com o hidróxido de cálcio, transformando-se quimicamente em compostos estáveis de poder aglomerante (silicatos e aluminatos de cálcio hidratados). Desse modo, quando o hidróxido de cálcio liberado na hidratação dos silicatos presentes nos compostos à base de cimento Portland reage com a pozolana, que é utilizada como substituição parcial do cimento, resulta em uma produção maior de silicatos de cálcio hidratados, que por sua vez, são produtos mais estáveis do cimento hidratado.

De acordo com Guedert (1989) e Santos (2006), a adição de pozolanas ao cimento proporciona ao concreto e argamassa características como:

- menor calor de hidratação devido a troca de reações exotérmicas que ocorrem durante a hidratação do cimento em virtude das reações pozolânicas;
- melhoria da resistência ao ataque ácido uma vez que ocorre a estabilização do hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do clínquer Portland e a formação de C-S-H com menor relação CaO/SiO_2 de menor basicidade;
- aumento da durabilidade, já que auxilia no impedimento da reação álcali-agregado e conseqüente redução do diâmetro dos poros da pasta hidratada, minimizando o ataque do material por substâncias externas como cloretos e sulfatos.

Silveira (1996) e Santos (2006), afirmam que as pozolanas podem ser utilizadas como substituição parcial do cimento ou como adição em teores variáveis em relação à massa ou volume do cimento. Entretanto, independentemente de como ela é utilizada, a reação e os benefícios associados são os mesmos, considerando que cada material possui suas características próprias, proporcionando assim, resultados diferentes.

Melo Filho (2005) afirma que o objetivo principal da adição destes aditivos minerais é provocar reações pozolânicas, as quais consomem o hidróxido de cálcio formando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) diminuindo assim, a alcalinidade presente no cimento.

Segundo Savastano Jr. (2000), em compósitos cimentícios reforçados com fibras, a região em torno da fibra na matriz cimentícia (zona de transição fibra-matriz) caracteriza-se pela elevada porosidade, permitindo o acúmulo de água e hidróxido de cálcio, o que ocasiona o aumento da alcalinidade e como consequência a perda de resistência mecânica do compósito devido a degradação da fibra.

Alguns pesquisadores obtiveram resultados relevantes e positivos ao utilizar em seus estudos técnicas de substituição parcial do cimento visando a diminuição da alcalinidade da matriz como forma de preservação das fibras e/ou durabilidade do compósito. Dentre eles pode-se citar:

Berstron e Gram (1984) ao utilizar a substituição de 45% do cimento por sílica ativa;

Toledo Filho et al (2003) substituíram parcialmente cimento por sílica ativa ou escória de alto forno em compósitos com fibras naturais de sisal e coco; Toledo Filho et al (2009) utilizaram resíduo de tijolo cerâmico moído e metacaulinita como substituição parcial do cimento em compósitos com fibras longas de sisal, a fim de obter uma matriz livre de hidróxido de cálcio;

Rodrigues et al (2010) utilizaram cinza da casca do arroz (30%) como material pozolânico em compósitos cimentícios com reforço da popa da fibra de bambu;

Oliveira (2013) substituiu 50% do cimento por metacaulinita em compósitos reforçados com fibras vegetais de malva e juta com o objetivo de obter uma matriz cimentícia livre de hidróxido de cálcio.

Assim, neste trabalho, utilizou-se o resíduo de blocos de vedação, blocos estruturais e telhas cerâmicas como substituição parcial (50%) ao cimento Portland para atuar como material pozolânico, com o objetivo de melhorar a resistência mecânica do compósito e minimizar a quantidade de hidróxido de cálcio disponível na matriz, diminuindo a agressividade do meio alcalino às fibras vegetais de malva.

2.1.7 – RESÍDUO CERÂMICO

De acordo com entrevistas realizadas no ano de 2014 na Associação dos Ceramistas do Amazonas – ACERAM, existem hoje instaladas e associadas no estado 27 empresas as quais são responsáveis por 90% da produção de blocos cerâmicos (tijolos de 8 furos, telhas, etc) consumidos pelo mercado da cidade de Manaus e de

municípios adjacentes. Estas empresas quase que exclusivamente, estão concentradas nos municípios de Manacapuru e Iranduba, na região metropolitana da capital.

Ainda segundo os técnicos responsáveis da ACERAM, estima-se que a distribuição da produção destes 90% dos blocos cerâmicos é dividida da seguinte forma: 50% entre olarias de grande e médio porte, com capacidade média de até 80.000 tijolos por dia; 25% entre olarias de pequeno porte, com produção média de 10.000 tijolos diários.

Com relação aos resíduos gerados/perdas no processo produtivo, um estudo realizado por D'Antona et al (2007) apontou que estes variam de acordo com o nível de tecnologia que é empregado na indústria cerâmica, ou seja, quanto maior o investimento aplicado à tecnologia dos equipamentos e qualificação da mão de obra, menores serão as perdas no processo produtivo cerâmico, e consecutivamente, menor a geração de resíduos.

Ainda conforme o autor e colaboradores foram estimadas perdas de até 30% nas microempresas; de 5 a 10% nas pequenas empresas e em torno de 5% no restante das empresas. Maciel (2013) observou em seu estudo desperdícios de até 25% ocorridos desde as queimas dos produtos cerâmicos nos fornos até a fase de armazenamento. Silva (2007) relacionou outros fatores que ainda podem ser agregados a este percentual de desperdício, como a baixa qualidade do produto final em função de variações dimensionais e baixa resistência mecânica, em virtude da natureza do material utilizado.

Atualmente, têm-se buscado alternativas de reuso deste resíduo, que provavelmente seria depositado na natureza, gerando danos irreversíveis ao meio ambiente. Pesquisadores como Araújo Júnior e Rondon (2009), Toledo Filho et al (2009), Melo Filho (2005), Vieira (2005), Alves (2002), entre outros, utilizaram resíduos cerâmicos cominuído em substituição parcial ao cimento, obtendo resultados bastante positivos em argamassas, concretos, compósitos, etc.

A utilização de materiais argilosos não é atual. Alves (2002) Zampieri (1989) afirmam que a argila foi o primeiro material ligante usado nas construções realizadas pelo homem há 10.000 anos e, em seguida, o uso da cal como aglomerante pelos gregos na cidade de Creta. Zampieri (1989) cita que alguns materiais vulcânicos quando eram moídos e adicionados à cal e a areia, conferiam às argamassas maior resistência bem como o endurecimento sob a água, além de serem resistentes à sua ação. O nome pozolana surgiu do local aonde encontravam-se os melhores materiais para agregar à

cal, próximos ao Monte Puzzuoli. Recentemente, tal termo foi incorporado a materiais naturais ou artificiais que apresentam comportamento similar.

Segundo Araújo Júnior e Rondon (2009), a utilização de argamassas obtidas de tijolos triturados misturados à cal hidratada foi muito difundido no período bizantino no Império Romano. Tal material consistia de uma mistura de cacos e pó e foram utilizados bem antes do surgimento do cimento Portland.

Zampieri (1989), em seus estudos, concluiu que o primeiro cimento hidráulico foi produzido pelo homem há 3.600 anos, era composto de solos argilosos calcinados na forma de materiais cerâmicos moídos e cal e que o desuso destes materiais pozolânicos ocorreu com a descoberta do cimento Portland.

De acordo com Araújo Júnior e Rondon (2009), o uso de argilas calcinadas como materiais pozolânicos, tiveram seu incremento no Brasil na metade dos anos 60 durante a construção da Usina de Jupiá (MS) como forma de solucionar os problemas de fissuras do concreto. Já Zampieri (1993) cita como exemplo a construção das usinas de Capivara (SP), Água Vermelha (MG) e Tucuruí (PA) que fizeram o uso de pozolanas de argilas calcinadas.

Ainda segundo os autores a utilização de resíduos cerâmicos como substituição parcial ao cimento deve ser analisada como uma contribuição à economia e a melhoria da qualidade e não apenas como o reaproveitamento de um resíduo, já que com a diminuição do consumo de cimento, conseqüentemente, ocorre uma menor extração de matérias primas, redução de custos com recuperação ambiental, redução do gás carbônico (CO₂) lançado na atmosfera entre outras vantagens.

Outras características podem ser adicionadas ao uso do resíduo cerâmico, tais como: diminuição da permeabilidade, redução da porosidade capilar, aumento da resistência frente ao ataque de sulfatos e da resistência à compressão, além de redução de custo do produto final (KIHARA E SHUKUZAWA, 1982; WILD ET AL, 1997; O'FARREL ET AL, 2001; TURANLI ET AL, 2003; MELO FILHO, 2005).

2.1.8 – SUPERPLASTIFICANTES

A utilização de aditivos em argamassas e concretos remonta desde a antiguidade. Coutinho (1997) afirma que os romanos acrescentavam às suas argamassas e concretos rudimentares, claras de ovos, leite, banha e até sangue, como forma de contribuir com a trabalhabilidade destas misturas. Malhorta (1989) cita que os aditivos a base de

melamina e naftaleno começaram a ser introduzidos comercialmente na Alemanha e no Japão no início da década de 60, e a partir daí, vêm sendo utilizados em larga escala pelas indústrias de concreto. O uso de aditivos a base de policarboxilatos começou a ser desenvolvida no Japão no início dos anos 90, e atualmente, é bastante utilizado no mercado brasileiro, sob regimento da NBR 11768 (2011).

De acordo com a NBR 11768 (2011), o superplastificante é um produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 12% da quantidade de água de amassamento, para produzir um concreto com determinada consistência.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), os superplastificante são aditivos tensoativos de cadeias longas, com massa molecular elevada e ainda um grande número de grupos polares na cadeia de hidrocarbonetos. Ainda conforme os autores, a função principal destes aditivos é o de possuir a alta capacidade de redução do teor de água para uma dada mistura.

Com relação às principais vantagens da utilização de aditivos superplastificantes em concretos e argamassas, Tattersall (1991), Collepari et al (1999) e De Larrard (1999) citam a redução do consumo de água para uma mesma consistência, aumentando a durabilidade e resistência do concreto; o aumento da fluidez da mistura sem alterar o consumo de água; a redução da quantidade de cimento da mistura, mantendo a resistência à compressão e consistência com a finalidade de reduzir custos bem como a diminuição da fluência, retração e tensão térmica.

Para Gomes (2002) a determinação experimental da dosagem do aditivo superplastificante em relação à massa de cimento, deve ser realizada através de ensaios em pastas (utilizando cimento, água e superplastificante), com a finalidade de se obter a fluidez máxima da pasta para uma determinada relação água/aglomerante.

2.2 – FIBRAS NATURAIS

Segundo Bernardi (2003), a fibra pode ser designada como um corpo flexível, cilíndrico, pequeno, com a seção transversal reduzida e elevado fator de forma, considerando a relação comprimento/diâmetro. Brandt (2008) afirma que as fibras naturais são um recurso renovável e estão presentes em quase todo o mundo. Tais fibras podem ser divididas em três grupos: minerais, animais e vegetais.

As fibras minerais são formadas por grandes cadeias cristalinas, como por exemplo, as fibras do asbesto. As fibras de origem animal são caracterizadas por cadeias proteicas, como a lã, seda entre outras, e as vegetais pela natureza celulósica, como as fibras de coco, juta, sisal, malva etc.

Rydholm (1965) apud Jonh (2005) afirma que as fibras vegetais são compostas por uma estrutura molecular de camadas diferentes com proporções distintas de celulose, hemicelulose e lignina. A celulose é um polímero que contém unidades de glicose. A hemicelulose é um polímero constituído de polissacarídeos diferentes, enquanto que a lignina é uma mistura amorfa e heterogênea de polímeros aromáticos e monômeros de fenil propano.

De acordo com Faruk et al (2012), as plantas que produzem as fibras vegetais são classificadas em função da sua utilização, sendo denominadas de primárias e secundárias. As fibras primárias são as plantas cultivadas pelo conteúdo de suas fibras (juta, malva, cânhamo), enquanto que as secundárias são aquelas em que a fibra é produzida como um subproduto (óleo de palma e coco).

Na tabela 03 são apresentadas as principais fibras vegetais comercialmente usadas em compósitos e a quantidade produzidas ao redor do mundo de acordo com Staiger e Tucker (2009).

Tabela 3 - Principais fontes de fibras comerciais

Fonte de Fibras	Produção Mundial (10 ³ ton)
Bambu	30.000
Juta	2300
Kenaf	970
Linho	830
Sisal	378
Cânhamo	214
Coco	100
Rami	100
Abaca	70
Bagaço cana de açúcar	75.000
Capim	700

Fonte: Staiger e Tucker (2009) (adaptado).

Ainda segundo o autor, existem seis tipos básicos de fibras vegetais: liberianas (malva, juta, cânhamo, linho, rami e kenaf), fibras das folhas (abacaxi, sisal abacá),

fibras de sementes (coco, algodão e sumaúma), fibras de núcleo (kenaf, cânhamo), fibras de casca e grama (trigo, milho e arroz) e todos os outros tipos (madeira e raízes).

Agopyan (1991) cita que as fibras vegetais dividem-se em baixo e alto módulo de elasticidade. As de baixo módulo apresentam melhor resistência ao impacto, permitindo ao compósito um aumento de sua tenacidade. Já as de alto módulo melhoram a resistência à tração do compósito.

As fibras vegetais apresentam diversas vantagens quando comparadas às fibras sintéticas, tais como: baixo custo, possibilidade de incremento na economia agrícola, baixa densidade, baixa abrasividade, não tóxico e grande abundância. Dentre as desvantagens destacam-se: falta de uniformidade das propriedades físicas (origem, região do plantio, colheita, variação do diâmetro, entre outras), baixo módulo de elasticidade, falta de aderência na interface matriz/fibra, limitada estabilidade a longo prazo, entre outras (SAVASTANO JR., 2000; MARTINS NETO, 2011; MARGEM, 2013).

Swamy (1990), Li et al (2006) concluíram que uma das grandes desvantagens é que as fibras vegetais possuem uma grande variedade nas suas propriedades e que estas poderiam levar a comportamentos imprevisíveis nas propriedades do concreto.

2.2.1 – FIBRAS DE MALVA

De acordo com Medina (1959), a malva (*Urena lobata Linn*) é uma planta herbácea anual, dispersa no continente europeu, africano e americano, que cresce satisfatoriamente em climas quente e úmido com períodos alternados de sol e chuva. É considerada uma fibra liberiana que ocorre entre a camada do câmbio que envolve a medula central lenhosa do caule e a camada externa da casca, e é classificada no grupo das fibras ligno-celulosicas, como a fibra de juta, kenaf, entre outras.

A fibra de malva é bastante semelhante na cor, textura bem como na resistência e composição química à fibra de juta conforme as tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Resistência física da fibra de malva

	Diâmetro (μm)	Comp. (mm)	Massa Específica (kg/m^3)	Absorção Máxima (%)	Resistência a tração (Mpa)	Along. a ruptura (%)	Mód. de elasticidade (Gpa)
MALVA	42,6	23,8	1374	377	160	5,2	17,4

Fonte: Chand et al (1988), Oliveira (1989), Savastano Jr. (2000) (adaptado).

Tabela 5 – Análise química comparativa da fibra de juta com a fibra de malva

Constituintes Químicos	Espécies			
	Fibra de Juta		Fibra de Malva	
	Média (%)	CV (%)	Média (%)	CV (%)
Celulose	66,33	0,0018	69,36	0,0013
Hemicelulose	24,83	-	21,28	-
Lignina	10,49	0,0324	13,55	0,0649
Extrativos Totais	5,71	0,0332	7,55	0,0636

Fonte: Oliveira (2013).

Medina (1959) cita alguns fatores influenciam na produção das fibras, como a fertilidade do solo, condições climáticas, época de sementeação, processo de maceração e tratos culturais. Em condições normais, a produção de fibra seca por hectare varia de 1.300 a 1.500 quilos.

2.2.2 - EXTRAÇÃO DA FIBRA

De acordo com informações obtidas com os com técnicos responsáveis da COOPERFIBRAS (Cooperativa dos Juticultores, Pescadores e Produtores Extrativistas do Amazonas) no ano de 2013, a fibra de malva é liberada dos tecidos que a envolvem quando são submetidos ao processo conhecido por maceração, em água corrente ou parada. Os feixes de caule ficam submersos de 8 a 20 dias, e, após completar a maceração, as fibras são separadas das medulas lenhosas, lavadas em água limpa e postas para secar.

Após a secagem, as fibras passam por máquinas específicas de modo a eliminar os detritos vegetais, pontas endurecidas ou mal maceradas, a fim de torná-las mais macias. A seguir, são organizadas em fardos não trançados, variando de 10 a 15cm de diâmetro, de acordo com seu comprimento, cor e brilho.

Segundo a Portaria n° 150 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (1982) do governo brasileiro que normatiza a fibra de malva, são definidos 4 tipos de classificação: tipo 1, tipo 2, tipo 3 e tipo 4, independente da forma de apresentação das mesmas, que podem ser: embonecadas (características uniformes, pesando até 2 quilos, levemente retorcida, dobrada ao meio e amarradas com cordas da própria fibra de malva), prensadas (isenta de aparas, agrupadas em uma quantidade do

mesmo tipo e prensadas para formar o fardo) ou amarrilhos (fibra retorcida em forma de corda).

2.2.3 - TIPOS DAS FIBRAS POR CLASSIFICAÇÃO

De acordo com a Portaria nº 150 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (1982), as fibras de malva quando apresentam umidade de 13,5% e resistência normal podem variar em outras propriedades e recebem a seguinte classificação:

Tipo 1:

Coloração esbranquiçada à amarelada; limpeza; cutículas soltas no meio da fibra; brilho normal; maciez natural; e comprimento mínimo de 1m (um metro).

Tipo 2:

Coloração amarela à ligeiramente pardacenta; defeitos de maceração ou beneficiamento, representados pela presença de cutículas esparsas e aderidas à fibra; brilho normal; leve aspereza nas extremidades da fibra e comprimento mínimo de 1 m (um metro).

Tipo 3:

Coloração amarelada à pardacenta; defeitos de maceração ou beneficiamento, representados pela presença de cutículas aderidas à fibra, esparsas concentrações de substâncias pécnicas e calosidades; brilho normal; ligeira aspereza em toda a extensão da fibra; e comprimento mínimo de 1m (um metro).

Tipo 4:

Coloração variada; defeitos de maceração ou beneficiamento, representados pela aderência de cutículas, concentrações de substâncias pécnicas e calosidades; brilho normal; aspereza em toda a extensão da fibra; e comprimento mínimo de 1 m (um metro).

A malva produz fibras têxteis comparáveis às utilizadas na fabricação do papel, vestuário, barbante, tecidos para estofados e tapetes, entretanto, é usada basicamente na confecção de sacarias para produtos agrícolas (café, soja, açúcar, entre outros) (SAVASTANO JR., 2000; MARTNS NETO, 2011; MARGEM, 2013).

De acordo com os últimos dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB de 2006, veiculado ao Ministério da Agricultura, o cultivo da malva é realizado principalmente na região Norte do país, de forma extremamente pulverizada, conforme a tabela 06. Destacam-se os estados do Amazonas com 63,4%, Maranhão com 2,2% e Pará com 34,4% da produção nacional.

Tabela 6 – Produção estadual de Juta/malva

UF	2005			2006			Variação			Participação % por UF (2006)
	Área	Produção	Rend.	Área	Produção	Rend.	Área	Produção	Redimento	
	(ha)	(t)	(kg/ha)	(ha)	(t)	(kg/ha)	(2006/05)	(2006/05)	(2006/05)	
Amazonas	4.888	6.941	1.420	5.408	8.685	1.600	11	25,1	12,7	63,4
Maranhão	80	80	1.000	200	300	1.500	150	275	50	2,2
Pará	3.778	3.400	900	5.239	4.715	900	38,7	38,7	0	34,4
TOTAL	8.746	10.421	1.192	10.867	13.700	1.261	24,3	31,5	5,8	100

Fonte: Conab, Ifibram, Indústrias, Cooperativas.

Ainda segundo o CONAB, ao longo do ano de 2013 (último dado oficial), na maior região produtora do país (município de Manacapuru, a 84 km de Manaus), o preço médio da comercialização da fibra tipo 2 foi de R\$1,86/Kg. Conforme o Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado Amazonas (IDAM), órgão vinculado a Secretaria de Estado da Produção Rural do Amazonas (Sepror), a produção dos anos de 2013/2014 foi de 6.917.848kg, e as maiores produtoras da região foram os Municípios da Calha do Rio Solimões, Itacoatiara e Parintins.

2.3 – COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS COMPÓSITOS COM REFORÇO DE FIBRAS VEGETAIS

De acordo com Agopyan et al (2005), a finalidade da adição de fibras no compósito é melhorar as propriedades mecânicas de matrizes frágeis e a principal vantagem é a de reforçar a pasta de cimento normalmente quebradiça após o início das fissuras no compósito.

Savastano Jr. e Agopyan (1999) realizaram um estudo no qual foi observada a interface fibra-matriz cimentícia utilizando reforço de fibras de malva, sisal e coco. Através de ensaio de microscopia eletrônica de varredura e espectrometria de energia dispersiva para análise da interface, notaram que a zona de transição é porosa, rica em portlandita e apresenta espessura de até 100 µm.

Os autores afirmaram que a porosidade excessiva das fibras contribui para um desempenho macroestrutural inferior do compósito, uma vez que durante a mistura do compósito, a porosidade das fibras vegetais atrai grande quantidade de água, fazendo com que a zona de transição seja mais pronunciada do que quando são usadas fibras de amianto ou de polipropileno. Ressaltam ainda, que os principais fatores que contribuem para a redução da ductilidade do compósito são a decoesão, que é o resultado da variação dimensional da fibra, e a degradação da fibra, que com o tempo torna-se a parte mais fraca do compósito.

Savastano Jr. (2000) confeccionou compósitos reforçados com resíduos fibrosos provenientes de agroindústrias sisaleiras, coco, polpa de eucalipto, banana e malva, na forma de telhas de cobertura conferindo um significativo aumento da capacidade de reforço utilizando técnicas de dispersão das fibras em solução aquosa, seguidas de sucção para drenagem da água e compactação por prensagem. Após três meses sob envelhecimento natural (sujeito às intempéries), tais compósitos não apresentaram sinal de degradação.

As telhas foram submetidas a ensaios de resistência a tração e por compressão diametral onde os compósitos reforçados com fibras de malva demonstraram absorção de energia elevada, quase cinco vezes maior que o compósito padrão (sem reforço) aos 42 dias (apresentando valores de 283 e 1338N.mm, respectivamente). Ainda segundo o autor, esse comportamento ocorreu em virtude do aspecto fibrilado da fibra, uma vez que colabora com a maior superfície de contato entre a fibra-matriz. Com relação à energia de flexão (onde para o ensaio de flexão as telhas deveriam resistir ao carregamento mínimo de 680N), as telhas com reforço de fibra de malva atingiram um ganho de 15% superior ao padrão sem fibras, na condição pós-fissurada, além da vantagem de ausência de ruptura frágil do compósito.

Martins Neto (2011) avaliou o comportamento mecânico dos compósitos de matriz cimentícia reforçados com fibras de sisal e malva, adicionadas manualmente à mistura variando o comprimento das fibras (15 e 25mm). As correlações dos compósitos foram obtidas através do ensaio de flexão em três pontos. O autor ratificou estudos anteriores sobre o desempenho favorável do material compósito de matriz frágil reforçados com fibras naturais em especial as fibras de malva, uma vez que a adição dessas fibras em matriz cimentícia, alterou positivamente o desempenho mecânico dos corpos de prova quando ensaiados sob flexão em três pontos.

Os corpos de prova de matriz plena (sem adição de fibras) sofreram ruptura brusca enquanto os corpos de prova reforçados com fibras curtas desempenharam um comportamento mecânico favorável pós-fissuração, conferindo ao compósito uma tenacidade e uma pseudo ductilidade já esperada.

O mesmo ainda demonstrou que o compósito reforçado com fibras de malva (quando comparados aos compósitos com fibras de sisal) apresentou o melhor desempenho na deformação, antes do aparecimento da primeira fissura, quando reforçado com fibras de 25 mm de comprimento. Os valores apresentados foram de 1278N para força máxima média e com flexão máxima de 7,66MPa para a matriz plena sem reforço e de 1045N para força máxima média e com flexão máxima de 6,27MPa para a matriz com reforço de fibras de malva.

Oliveira (2013) realizou um estudo que abordou a caracterização de algumas propriedades físico-mecânicas e também químicas em fibras de juta e malva utilizadas como reforço em compósitos cimentícios autoadensáveis livres de hidróxido de cálcio. Os compósitos foram produzidos com o teor de 8% de fibras longas, alinhadas unidirecionalmente e distribuídas em cinco camadas e foram realizados ensaios mecânicos de tração direta e tração à flexão em quatro pontos e análise microestrutural nos compósitos.

Neste estudo, foram obtidos resultados mecânicos promissores no desenvolvimento de compósitos semiestruturais e estruturais, tanto com fibras de malva como com fibras de juta. Os compósitos reforçados com fibras de malva apresentaram resistência superior de 20% na tração à flexão (27,27Mpa) e 10% na tração direta (10,34Mpa) quando comparados aos dos compósitos reforçados com fibras de juta. Ressalta-se também que ambos os compósitos apresentaram comportamento de múltipla fissuração tanto na flexão como na tração.

Segundo Fujiyama (1997) apud Martins Neto (2011), as propriedades finais dos compósitos são grandemente influenciadas pelo método de fabricação e pelas características individuais dos componentes do compósito, conforme os seguintes fatores: tipos, arranjo e distribuição, forma e geometrias, fração volumétrica, propriedades e superfície das fibras, além do processo de mistura, método de cura e grau de aderência entre fibra/matriz.

2.4 – DURABILIDADE DE COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS

Para Pacheco Torgal e Jalali (2010) a durabilidade dos compósitos que recebem reforços de fibras vegetais pode ser relacionada à resistência de ataques externos, tais como, temperatura, variações de umidade, ataques de sulfetos ou cloretos entre outros, ou ataques internos, como por exemplo, a compatibilidade entre as fibras e a matriz cimentícia, variações volumétricas, etc.

Ainda conforme os autores, quando a fibra é imersa na matriz cimentícia ocorre o enfraquecimento de sua estrutura fibrosa, com a degradação da lignina e hemicelulose, uma vez que o índice de alcalinidade é bastante elevado.

Segundo Toledo Filho et al (2009), em ambientes úmidos, os compósitos vegetais podem sofrer uma redução da ductilidade e da resistência na pós-fissuração. Já Ramli et al (2013), descreveram que o ambiente quente e úmido pode agravar o processo de carbonatação, bem como o aumento da expansão e compressão do concreto, em virtude das mudanças de temperatura (sol/chuva).

Um dos grandes problemas das fibras vegetais no uso em compósitos de matriz cimentícia, é a sua hidrofiliabilidade (afinidade pela água), fazendo com que a água presente na matriz, seja absorvida internamente pela fibra. Segundo Anjos et al (2003), com esta absorção ocorre a expansão das fibras e, durante o processo de cura, esta água presente na fibra, migra para a matriz novamente, implicando em retração destas, provocando assim, o aumento da relação água/ cimento na região interfacial entre a fibra/matriz. Tal comportamento foi constatado por Ghavami et al. (1999) e por Savastano Jr e Agopyan (1999).

Para Zhou et al (2013), a longo prazo o desempenho dos compósitos pode ser afetado por dois fatores: variação do comprimento da fibra (podem tornar-se mais longos quando comparados ao tamanho original inseridos na matriz, em virtude da natureza de hidrofiliabilidade das fibras) ou variações nas propriedades mecânicas (podendo ser associado à tenacidade e a resistência reduzida).

Ardanuy et al (2011) citam que em virtude das alterações, da composição e das propriedades mecânicas em decorrência das reações químicas que ocorrem na matriz cimentícia, a médio e longo prazo, a perda de resistência mecânica dos compósitos é observada. Outros fatores como a porosidade da matriz que pode causar alterações morfológicas na fibra devido às variações de umidade, podem aumentar a perda de aderência fibra-matriz e ainda a alcalinidade elevada na composição do cimento diminui

a capacidade de reforço da fibra, uma vez que os álcalis do cimento podem danificar a sua estrutura.

Por outro lado, de acordo com Pacheco-Torgal e Jalali (2010) a durabilidade dos compósitos cimentícios com reforço de fibras vegetais pode ser aumentada com alguns fatores: alterações na matriz cimentícia (utilização de aditivos pozolânicos) ou alterações nas fibras vegetais (tratamentos químicos).

2.5 – TRATAMENTOS SUPERFICIAIS DE FIBRAS VEGETAIS E ALTERAÇÕES DA MATRIZ CIMENTÍCIA

Alguns pesquisadores estudaram diferentes técnicas a fim de melhorar a durabilidade dos compósitos reforçados com fibras à base de cimento, tais como Gram (1983), que impregnou as fibras com agentes bloqueadores e repelentes de água, e ainda Canovas et al (1992) e Toledo Filho (2000), os quais reduziram a alcalinidade da matriz a partir de combinações de mudanças na matriz aliadas a impregnações das fibras. Porém, alguns deles não conseguiram resultados positivos.

Berhane (1999) obteve resultados bastante satisfatórios ao acrescentar à argamassa fresca, pequenas esferas de cera de ou pó de zinco estearado, auxiliando na vedação dos poros da matriz, ou ainda, com a impregnação de enxofre ao material já endurecido.

Outros autores melhoraram a durabilidade dos compósitos ao minimizar os problemas relacionados à absorção de água, deterioração e presença de impurezas das fibras como:

Oliveira (1989), melhorou a durabilidade da argamassa reforçada com fibras de malva quando as lavou previamente com detergente comum;

Guimarães (1990) obteve uma melhora significativa nos compósitos reforçados com fibras de sisal após envelhecimento acelerado, quando impregnou as fibras com acetato de polivinila;

John et al (1990), ao utilizar aglomerante com escória de alto-forno (superior a 80%), cal hidratada e gipsita, na produção de painéis reforçados com fibras de coco;

Toledo Filho et al (1990) diminuiu a absorção de água das fibras quando as submeteu a um tratamento impermeabilizante utilizando produtos líquidos a base de betume utilizado na construção civil;

Agopyan (1991), ao proteger as fibras com polímeros hidro-repelentes, resinas, óleos e asfaltos, bem como o uso de silicatos e sulfatos de sódio ou magnésio, formando agentes bloqueadores de reação de decomposição da fibra;

Melo Filho (2005), substituiu 50% do cimento por 30% de metacaulinita e 20% de tijolo cerâmico moído com o intuito de minimizar o ataque das fibras vegetais de sisal pelo elevado teor de Ca(OH)_2 e alta alcalinidade presente na matriz cimentícia. Com tal proporção de substituição, o teor de Ca(OH)_2 que é gerado durante a hidratação do cimento foi próximo a zero.

Com relação às impurezas, Izquierdo (2011) descreveu que as fibras podem ser previamente tratadas com lavagem e/ou fervura, deslignificação, técnicas de mineralização, imersas em água destilada por 1 hora e posteriormente secas em estufa com circulação de ar a 105°C por 30 minutos, ou ainda, tratadas em solução aquosa de hidróxido de sódio a 2% sob agitação durante 1 hora e em seguida lavá-las em água destilada até atingirem pH neutro quando finalmente podem ser secas em estufa.

Zhou (2013) ressalta que a substituição do cimento Portland por uma matriz cimentícia com uma concentração maior de alumina, gesso e materiais suplementares com baixo teor de carbono, pode melhorar a durabilidade dos compósitos e/ou reduzir as interações entre as fibras e a matriz cimentícia.

CAPÍTULO 3

3 - MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

A seguir, são apresentados os materiais e métodos utilizados para a produção e caracterização dos compósitos cimentícios reforçados com fibras de malva.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 FIBRAS DE MALVA

As fibras de malva (*Urena Lobata Linn*) *in natura* foram doadas pela empresa COOPERFIBRAS (Cooperativa dos Juticultores, Pescadores e Produtores Extrativistas do Amazonas) com sede na cidade de Manacapuru, Região Metropolitana de Manaus, Amazonas, com distância de aproximadamente 84 quilômetros da capital, em um fardo de aproximadamente 20 quilos.

3.1.2 CIMENTO

Para a produção dos compósitos, utilizou-se o cimento Portland CPI – S32, comercializado pela empresa Vencemos no Amazonas Ltda o qual obedece a NBR 5732 (1991).

3.1.3 AREIA

A areia utilizada foi doada pela empresa Usemix Concreto e Fundações Ltda, localizada na cidade de Manaus. É uma areia de jazida e obedece ao que tange as normas NBR NM 248 (2003), NBR NM 46 (2003), NBR NM 45 (2006) e NBR NM 27 (2001).

3.1.4 RESÍDUO DA INDÚSTRIA CERÂMICA

O resíduo cerâmico (RC) utilizado neste estudo foi doado pela empresa Miranda Corrêa, localizada na Região Metropolitana de Manaus, no município de Iranduba. O RC consistia em fragmentos de cerâmica vermelha (blocos de vedação, blocos estruturais e telhas), com dimensões variadas, conforme observado na figura 3.



Figura 3 – Resíduo cerâmico

3.1.5 VERNIZ

O verniz utilizado como material impermeabilizante é um produto disponível no comércio local a base de copolímeros acrílicos em emulsão, com a finalidade de tornar as fibras de malva menos higroscópicas, além da ação antibacteriana e antifúngica, presentes em sua formulação. Tal produto apresenta as seguintes propriedades físico-químicas, conforme tabela 7.

Tabela 7 – Propriedades físico-químicas do verniz

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
COR: Transparente	PESO ESPECÍFICO: 1,005 - 1,045 g/cm
BRILHO: (@60°): Não aplicável	VOC (compostos orgânicos voláteis): 76,59%
SÓLIDOS/VOLUME: 27 - 31%	PONTO DE FULGOR: 37°C
SÓLIDOS/PESO: 28 - 32%	

Fonte: AkzoNobel Tintas Decorativas Brasil.

3.1.6 ÁGUA

Utilizou-se água potável proveniente do sistema de abastecimento da Universidade Federal do Amazonas e através do Medidor Multiparâmetros Portátil para qualidade da água modelo HI 9828, os seguintes parâmetros de qualidade da água foram obtidos, segundo a tabela 8.

Tabela 8 – Parâmetros de qualidade da água

Característica	valor
Concentração de oxigênio dissolvido	0,61 DOppm
pH	5,98
Temperatura	26,25°C
Resistividade	0,0229MΩ-cm
Condutividade	44 μS/cm
Condutividade atual	45 μS/cm
Medição de sólidos totais dissolvidos	22 tdsppm
Medição de salinidade	0,02 sal
Medição Redox	98,2 ORP
Medição de oxigênio dissolvido	8,1 DO%

3.1.7 SUPERPLASTIFICANTE

Utilizou-se como aditivo o superplastificante sintético do tipo PCE (polímeros policarboxilatos) PowerFlow 1159 apresentando os seguintes dados técnicos, conforme tabela 9.

Tabela 9 - Dados técnicos do superplastificante

Característica	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm ³	1,06	
Dosagem Recomendada	%	0,2 a 5,0	sobre o peso do cimento
Teor de Cloretos	%	< 0,1	
Teor de Álcalis	%	< 0,1	

Fonte: MC – Mauchenie Brasil Indústria e Comércio Ltda.

3.2 MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Para a elaboração dos procedimentos experimentais, o trabalho foi dividido em três etapas (figura 4):

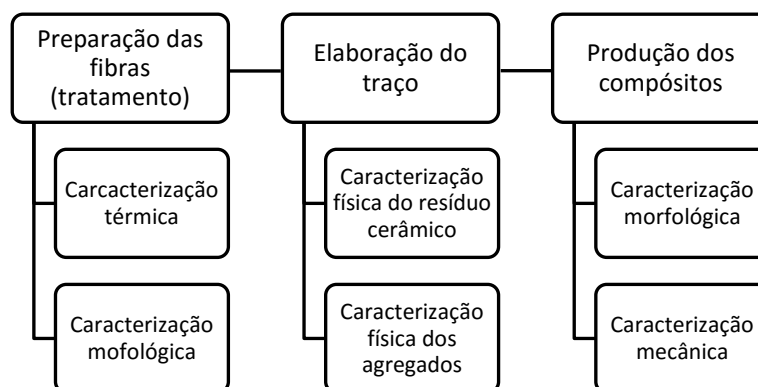


Figura 4 – Divisão do trabalho em etapas

3.2.1 PREPARAÇÃO DA FIBRA DE MALVA

A fibra de malva foi adquirida em um fardo de aproximadamente 20 quilos (figura 5a), previamente dobrado, formando feixes com comprimento variando entre 150 e 200 cm (figura 5b). Foram retiradas as pontas e posteriormente cortados com o comprimento de 80 cm para o início do processo de limpeza, conforme figura 5c.



a)



b)



c)

Figura 5 - Fibra embonecada de malva. (a) Boneca de fibra de malva. (b) Comprimentos variados da fibra de malva. (c) Corte das pontas e padronização do tamanho.

Para a retirada da impureza (cascas endurecidas, folhas, galhos etc.) presente nos feixes da fibra da malva, estas foram imersas em água durante um período de 24 horas (figura 6a), e após esse tempo, cada feixe foi lavado manualmente em água corrente (figura 6b), de modo a retirar algum material que porventura ainda estivesse presente nas fibras, como forma de facilitar o processo de “desembaraçamento” dos filamentos.



Figura 6 - Limpeza da fibra. (a) Fibras imersas durante 24 horas. (b) Retirada do restante de material orgânico em água corrente.

Finalmente, os feixes das fibras foram colocados em um varal para secar, em uma sala climatizada, por 24 horas. Depois de secas, as fibras foram “penteadas” com um pente de aço (figura 7a) com o intuito de facilitar a confecção das camadas utilizadas na produção dos compósitos (figura 7b).



Figura 7 - Preparação das fibras de malva. (a) Penteamento das fibras. (b) Fibras totalmente desembaraçadas e alisadas.

Após este processo, utilizando como base o trabalho de Melo Filho (2005) e sugestões propostas por Oliveira (2013), foram pesados dois volumes com a fração de 06% e 10%, com massas respectivas de 19,4 e 32,4 gramas (figuras 8a e 8b). Para isso, as fibras foram cortadas no sentido do comprimento com tamanho de 40,5 cm (figura (8c)), pesadas (obedecendo aos valores citados em peso) e costuradas no sentido longitudinal (formação dos tapetes), com a função de melhorar a manipulação e inserção na matriz cimentícia, conforme figura 8d, obedecendo a largura de 40cm, uma

vez que essa é a dimensão da forma. Tal procedimento foi adotado no estudo de Melo Filho (2005).

Ressalta-se ainda, que cada placa cimentícia recebeu o reforço de 5 camadas de tapetes, conforme estudos propostos por Melo Filho (2005) e Oliveira (2013).

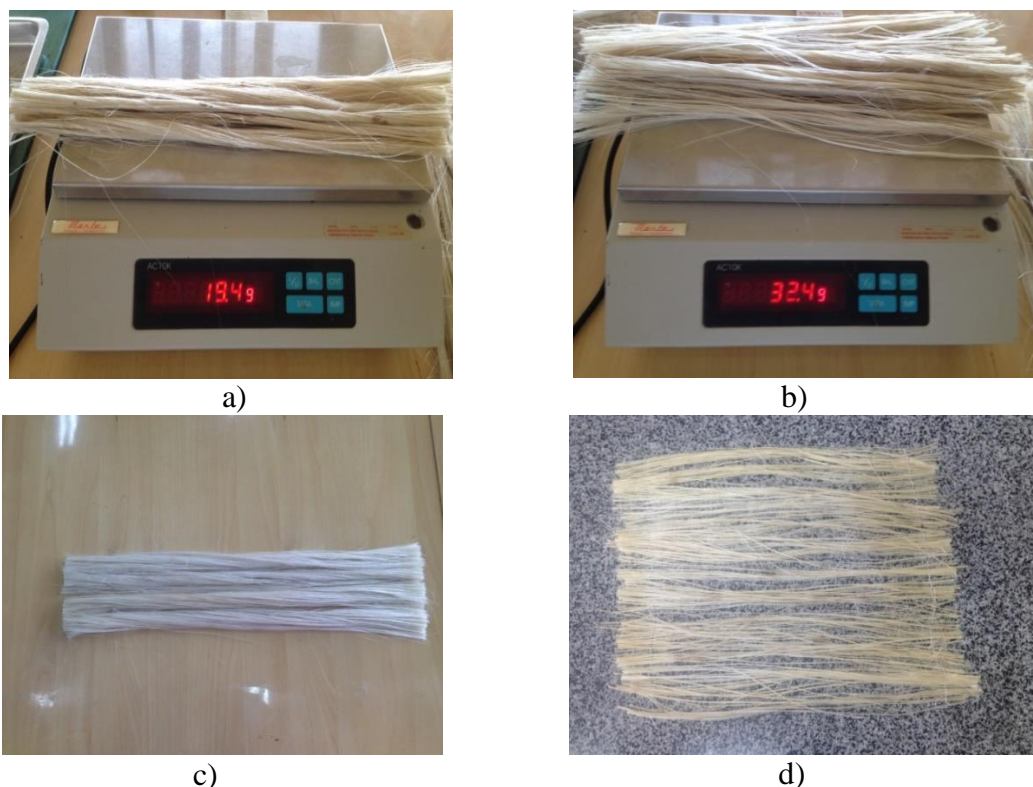


Figura 8 – Padronização das camadas (a) Fibras cortadas obedecendo ao tamanho da forma de molde (b) Pesagem de cada camada obedecendo ao volume de 06%. c) Pesagem de cada camada obedecendo ao volume de 10%. d) Tapete confeccionado.

3.2.2 – TRATAMENTO DAS FIBRAS

Com objetivo de verificar qual a melhor condição de impermeabilização das fibras, foram confeccionadas 4 amostras de fibra de malva com peso médio de 0,850 gramas (figura 9a), as quais foram submetidas a diferentes concentrações de verniz a base de copolímeros acrílicos em emulsão (10, 20 e 40% em volume) diluídos em água. Foram realizados testes variando o tempo de 30, 45 e 60 minutos de imersão da fibra, além de uma amostra denominada *in natura* que foi imersa apenas em água, usada como referência.

Após esse período, as amostras foram levadas ao medidor de umidade Ohaus modelo MB35 (figura 9b), para que fosse analisada qual a concentração mais indicada a ser utilizada no tratamento de impermeabilização da fibra.

Também foram realizados testes em amostras tratadas e secas por um período de 24 horas em temperatura ambiente, e em seguida estas sofreram reimersão em solução de verniz por um período igual ao tratamento anterior (30, 45 e 60 minutos). Os resultados indicaram que não houve variações significativas entre as duas metodologias, cujas diferenças permaneceram em torno de 1 e 2%.



Figura 9 – Tratamento das fibras. (a) Amostras para tratamento com diluições em verniz (b) Medidor de umidade Ohaus.

3.2.3 – PRODUÇÃO DO RESÍDUO CERÂMICO (RC)

O resíduo cerâmico obtido era composto por fragmentos de tijolos/blocos de vedação e telhas cerâmicas em diversos tamanhos, conforme o item 3.1.4, figura 3. Para o processo de cominuição, o RC foi pesado (5 quilos) e levado à máquina de abrasão (figura 10a) por um período de 2 horas. Após esse processo (figura 10b), o material resultante foi peneirado, de modo a selecionar apenas o RC com menor granulometria e colocado no moinho de bolas marca Quimis Mod.6298-2 por 48 horas (figura 10c), de forma a utilizar apenas o RC passante na peneira mesh 200 (abertura 0,075 mm), conforme figura 10d.

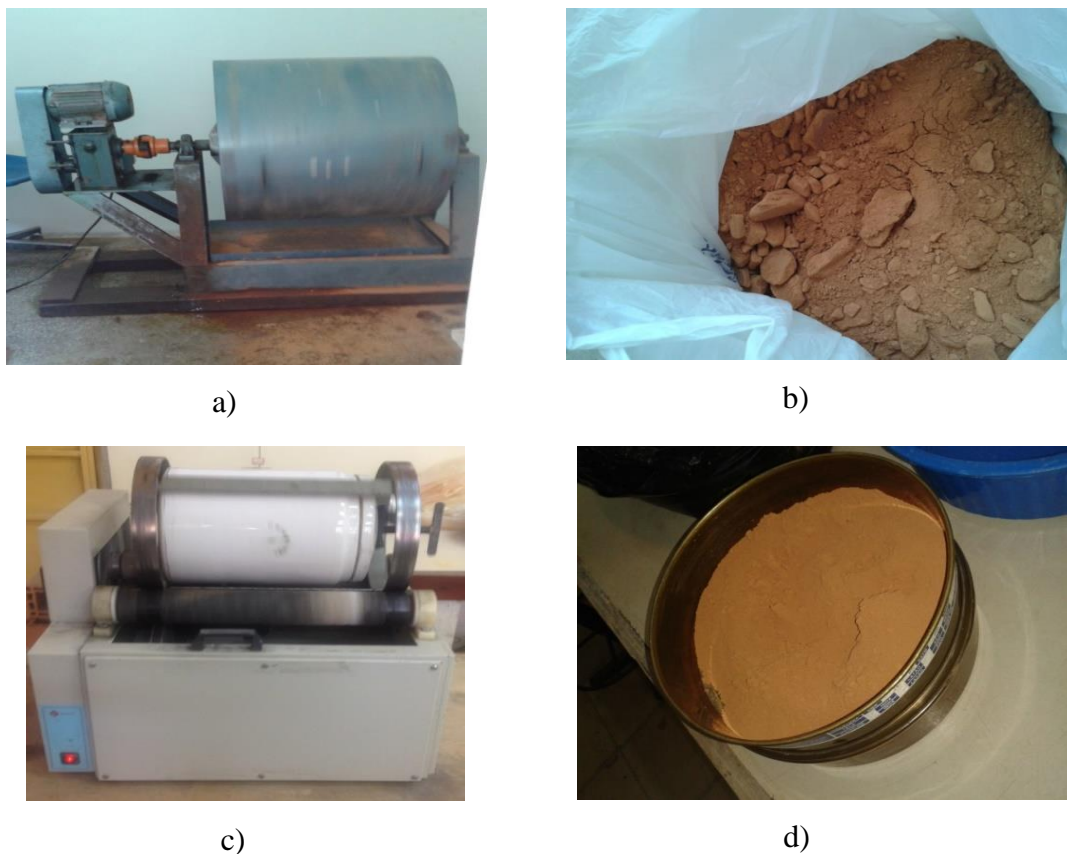


Figura 10 – Cominuição do resíduo cerâmico (RC). (a) Moinho de abrasão Los Angeles. (b) RC após britagem no moinho de abrasão. (c) Moinho de bolas. (d) RC na peneira 200 após sair do moinho de bolas.

O RC foi encaminhado ao laboratório de análises físico-químicas da Universidade Federal do Amazonas – Ufam para análise de quantificação de minerais, sendo submetido a um ensaio em triplicata de fluorescência de raios-x através do equipamento marca Panalytical Epilson Modelo 3XL, sendo realizada uma análise semiquantitativa por energia dispersiva pelo software Omnia.

Além disso, as amostras foram analisadas no laboratório de Análises Mineraias – LAMIN/Manaus do CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Mineraias, (Serviço Geológico do Brasil - Superintendência Regional de Manaus), órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia, para a realização da análise granulométrica pelo método de espalhamento de laser dispersa em solução de água destilada, conforme figura 11.



Figura 11 – Granulômetro a laser modelo Mastersizer MS2000

3.2.4 – PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS

Como forma de otimizar o alinhamento e acomodação das fibras no interior da matriz, de forma manual, para a produção dos compósitos, estas foram beneficiadas, cortadas, separadas de acordo com seu peso e volume e costuradas, conforme descrito no item 3.2.1.

Ressalta-se que antes da confecção dos compósitos, os materiais secos foram previamente pesados e separados, respeitando o cálculo de volume e peso de cada camada, de modo a obter a espessura desejada, conforme observado na figura 12.

A proporção obedecida foi a mesma utilizada por Melo Filho (2005) em seu estudo com fibras longas de sisal, o qual usou a proporção de 1:1:0,4 (areia, cimento e água/cimento). Com relação ao superplastificante optou-se por trabalhar com a adição de 1,5% em volume, uma vez que este valor mostrou-se eficiente em estudos preliminares realizados no laboratório de dosagens.

Foram confeccionados ainda, compósitos com substituição ao cimento em 50% em massa com utilização de resíduo cerâmico cominuído, baseando-se em estudos realizados por Melo Filho (2005) e Oliveira (2013).



Figura 12 – Material separado para o início de confecção dos compósitos.

A produção dos compósitos laminados obedeceu as seguintes etapas:

a) **PRODUÇÃO DA MATRIZ CIMENTÍCIA** – Os materiais secos foram levados ao misturador de bancada na seguinte ordem: cimento, areia e resíduo cerâmico (figuras 13a e 13b). Este processo de mistura durou cerca de 2 minutos e foi realizado para homogeneização dos materiais. Em seguida, foi adicionada a água com superplastificante diluída em seu interior aos poucos e misturada por mais 5 minutos (figura 13c).

Durante este processo, foi aplicado desmoldante na forma de acrílico (figura 13 d) com objetivo de proporcionar uma melhor desforma do compósito, bem como, um acabamento superficial. A forma possui o fundo e tampa em material acrílico nas dimensões de 400x400x10mm, conforme demonstrado na figura 13d.

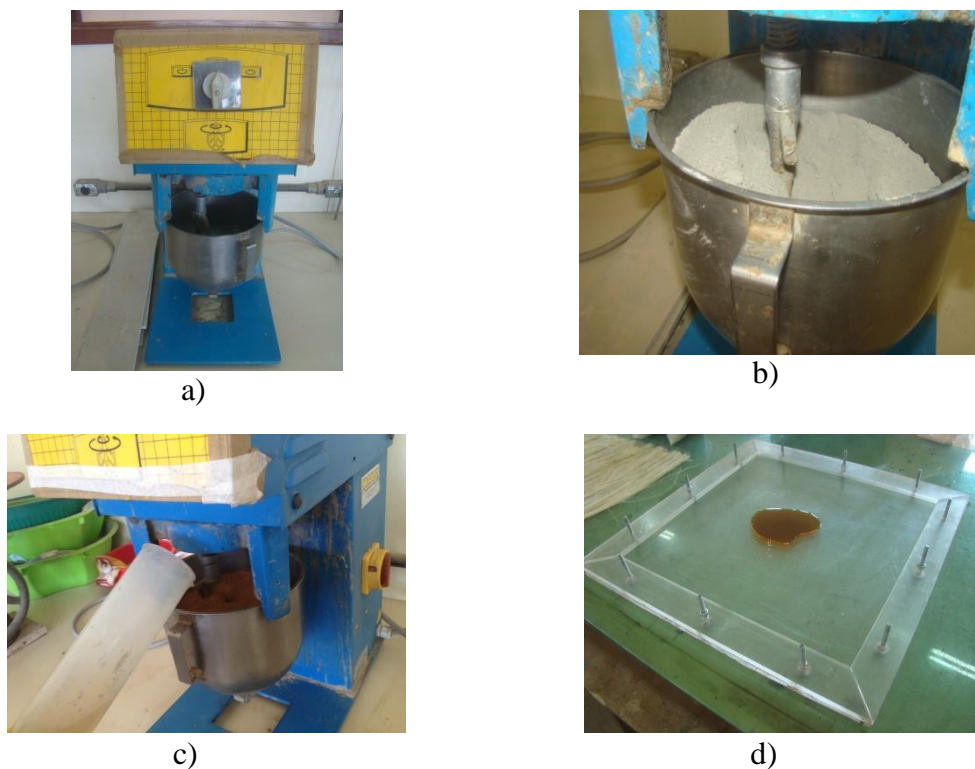
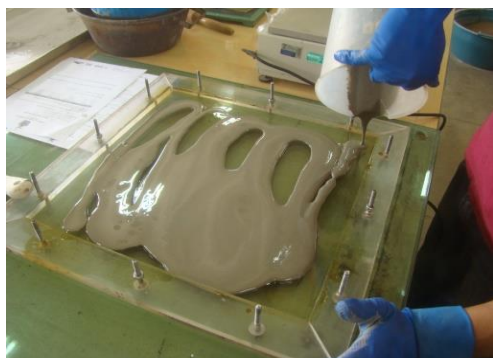
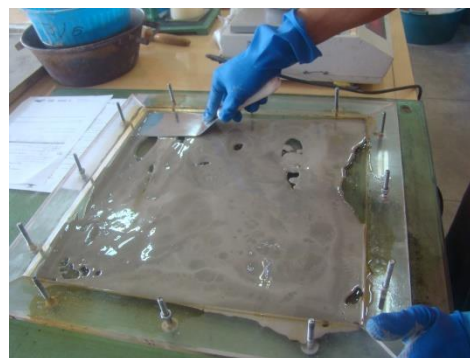


Figura 13 – Produção da matriz: (a) Misturador de bancada; (b) Materiais secos em processo de homogeneização; (c) Adição de superplastificante diluído em água; (d) Aplicação de desmoldante na forma de acrílico.

b) MOLDAGEM DOS COMPÓSITOS LAMINADOS – A primeira camada de argamassa foi espalhada com o auxílio de uma espátula (figuras 14a e 14b). Após o preenchimento da camada que serviu como base, foi acrescentada uma camada de fibra de malva no sentido longitudinal (figura 14c) sendo pressionada manualmente para completa absorção pela matriz (figuras 14d e 14e). Novamente, foi aplicada outra camada de argamassa (figura 14f) e espalhada com a espátula. O compósito era composto por seis camadas de argamassa intercaladas por cinco camadas de fibras de malva (figura 14g). Após a moldagem, foi colocada uma placa cerâmica (figura 14h) com espessura de 5 mm previamente untada com desmoldante, além de uma chapa de aço com espessura de 2 mm (figura 14i), onde ambas se encaixavam na forma de acrílico e distribuíam a carga uniformemente sobre toda a amostra. Finalizando, a tampa de acrílico foi fechada com o auxílio de parafusos, porcas e arruelas (figuras 14j e 14l), e desformadas após 24 horas (figuras 14m e 14n). Quando desformadas, as placas laminadas foram submersas em água por um período de 28 dias (figura 14o).



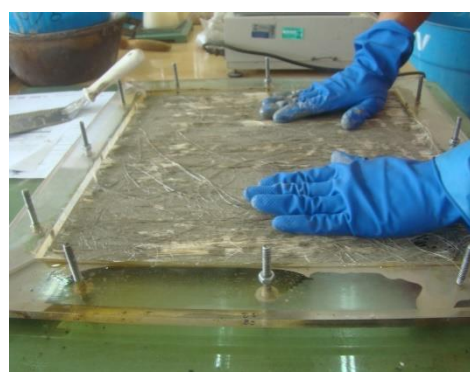
a)



b)



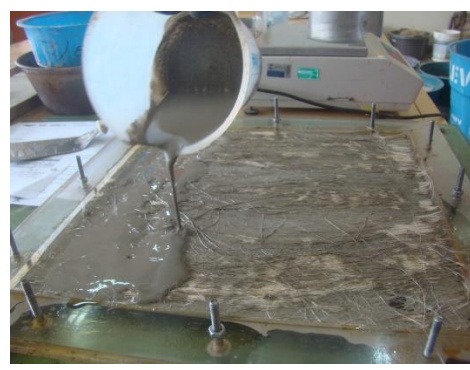
c)



d)



e)



f)

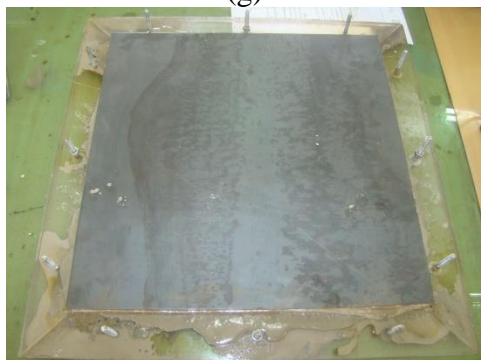
Figura 14 – Moldagem do compósito I: a) Aplicação da base; b) Espalhamento com auxílio de espátula; c) Aplicação da primeira camada de fibra; d) Homogeneização da fibra com a argamassa; e) Homogeneização da fibra com a argamassa vista superior; f) Camada seguinte de argamassa;



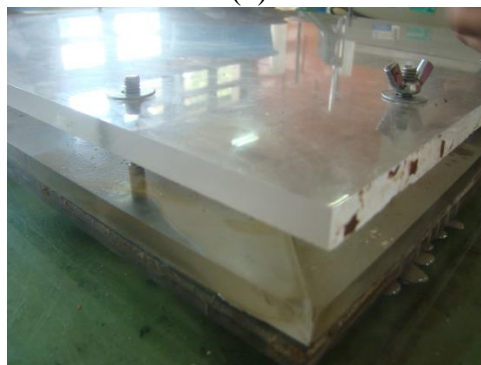
(g)



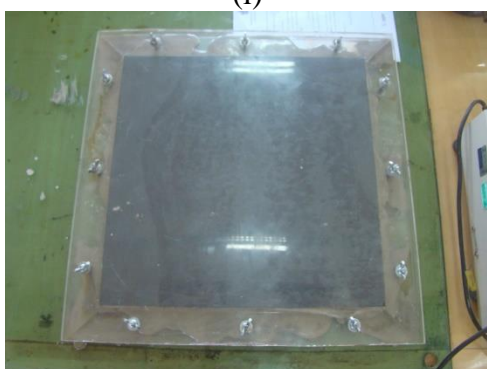
(h)



(i)



(j)



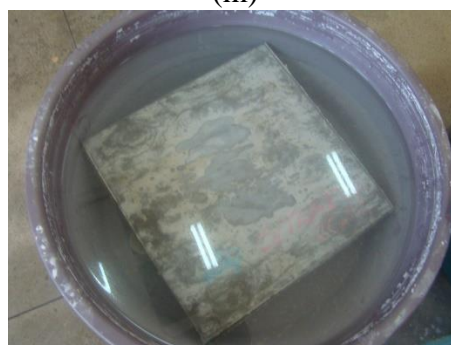
(l)



(m)



(n)



(o)

g) Última camada de argassa finalizando o composto; h) Placa cerâmica colocada para a distribuição uniforme da carga; i) Placa de aço colocada para a distribuição uniforme da carga; j) Detalhe da tampa acrílica com os parafusos, porcas e arruelas; l) Forma fechada; m) Desmolde após 24 horas; n) Placa laminada finalizada após desmolde; o) Processo de cura de 28 dias em imersão em água.

Foram produzidas 9 placas laminadas com as seguintes configurações, de acordo com a tabela 10.

Tabela 10 – Produção e configuração das placas laminadas

SIGLA	Nº PLACAS	CIMENTO	RC	VOL. FIBRAS	TRAT. VERNIZ	CICLO ENVELHECIMENTO	TEMPO DE CURA (DIAS)
CPSTe	1	SIM	-	6%	-	SIM	28
CPCTe	1	SIM	-	6%	SIM	SIM	28
CPST	1	SIM	-	6%	-	-	56
CPCT	1	SIM	-	6%	SIM	-	56
CPST	1	SIM	-	6%	-	-	28
CPCT	1	SIM	-	6%	SIM	-	28
RCST	1	SIM	SIM	6%	-	-	28
RCCT	1	SIM	SIM	6%	SIM	-	28
RCCT10	1	SIM	SIM	10%	SIM	-	28

* CPSTe – Cimento puro sem tratamento envelhecido; CPCTe – Cimento puro com tratamento envelhecido; CPST - Cimento puro sem tratamento; CPCT – Cimento puro com tratamento; RCST – Resíduo cerâmico sem tratamento; RCCT – Resíduo cerâmico com tratamento; RCCT10 – Resíduo cerâmico com tratamento a 10%.

Após o processo de cura sob imersão, os compósitos foram cortados com o auxílio de uma serra mármore corta piso com rotação de 13.000 rpm, resultando em amostras com dimensões de 80x400x10mm (largura, comprimento e espessura) para o ensaio de flexão e amostras com dimensões de 50x400x12mm para o ensaio de tração. As amostras foram pintadas de branco com uma tinta a base de PVA para uma melhor visualização do processo de fissuras conforme figura 15.



Figura 15 – Corte da placa para ensaio das amostras

Posteriormente, os corpos de prova foram armazenados em uma sala refrigerada a uma temperatura de 21 ± 1 ° C por um período de até 40 horas antes da execução dos ensaios mecânicos.

3.2.5 – CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS, FIBRAS E DOS COMPÓSITOS

Os ensaios de caracterização físico-mecânicos dos compósitos e dos agregados (areia e cimento) foram realizados na Universidade Federal do Amazonas – UFAM, no Laboratório de Ensaio de Materiais – LEM/UFAM.

A análise microestrutural eletrônica de varredura (fibra e compósitos) foi realizada no Laboratório de Técnicas Analíticas do Núcleo de Materiais Sustentáveis (NUMATS/COPPE/UFRJ) e o ensaio de microscopia óptica (compósitos) e termogravimetria nas amostras de fibra tratada e não tratada foram realizados na Universidade Federal do Amazonas – UFAM, no Laboratório de Materiais – Labmat.

3.2.5.1 – MICROSCOPIA OPTICA

Para a realização do ensaio de microscopia óptica do compósito, foi utilizado o microscópio óptico marca Olympus modelo SZX61, sendo selecionados corpos de prova após os ensaios mecânicos de flexão em 4 pontos e de tração direta a fim de analisar a interface fibra/matriz.

Inicialmente, as amostras dos compósitos foram cortadas em tamanho médio de 2x2 cm, com o auxílio de uma serra mármore corta piso com rotação de 13.000 rpm. Posteriormente, utilizaram-se lixas d'água nas gramaturas 100, 200 e 500 para o desbaste manual da superfície, de modo a facilitar a visualização do reforço fibroso de malva no interior do compósito. Entretanto tal procedimento mostrou-se ineficiente, pois ocorria a migração dos resíduos do desbaste para o interior do lúmen das fibras, fato observado através da microscopia óptica.

A partir disso, optou-se por realizar o processo de embutimento das amostras em resina poliéster (figura 16a) como forma de minimizar a migração de resíduos que ocorria durante o desbaste. As amostras foram colocadas em 4 porta amostras e estes receberam desmoldante a base de cera de carnaúba para facilitar o desmolde. O processo de cura foi realizado em 24 horas (figura 16b).



a) amostras totalmente preenchidas com resina poliéster; b) Processo de cura por 24 horas.

Após o processo de desmolde (figura 17a), foi iniciado o desbaste das amostras utilizando uma lixadeira politriz marca Arotec modelo Aropol 2V (figura 17b) com o auxílio de lixas d'água nas gramaturas 60, 80, 100, 240, 360, 400, 600, 1200 e 2000, obedecendo a uma direção e sentido pré-definida nas amostras, bem como a ordem das gramaturas mencionadas. A escolha da utilização das diversas lixas e do equipamento mostrou-se mais eficiente, pois minimizava o processo de migração dos resíduos do lixamento para o interior das fibras e ainda tornava a superfície mais plana e polida.



a) amostras após desmolde; b) lixadeira politriz utilizada para o desbaste das amostras.

3.2.5.2 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Para a realização do MEV nas fibras de malva (tanto na tratada como na *in natura*), foi utilizado o equipamento de microscopia eletrônica de varredura de bancada marca Hitachi modelo TM 3000 com aceleração de voltagem de 15kV, de acordo com a

figura 18. Para melhor análise destas fibras, foi feito o corte de suas extremidades com o auxílio de uma lâmina de aço inoxidável. Tal procedimento é realizado para facilitar a visualização dos lúmens das fibras. Antes do corte, estas foram imersas em água por um período de 10 minutos, pois tal procedimento minimiza o esmagamento das fibras.

Com relação às amostras dos compósitos, foram utilizados os mesmos corpos de prova em que foi realizado o ensaio de microscopia óptica.

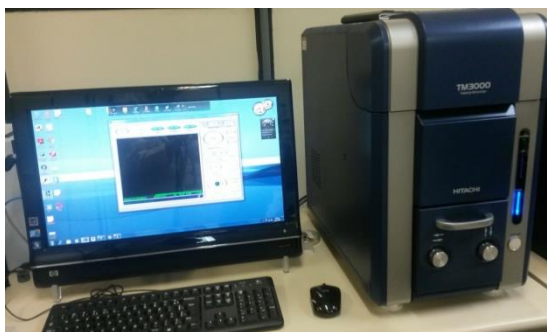


Figura 18 – Equipamento eletrônico de varredura de bancada

3.2.5.3 – TERMOGRAVIMETRIA

A análise termogravimétrica das fibras *in natura* e com tratamento foi realizada no Laboratório de Materiais de análises físico-químicas – LABMAT/UFAM, através do equipamento de termogravimetria marca TA modelo SDT 600 (figura 19a).

O ensaio no equipamento seguiu os seguintes parâmetros experimentais: atmosfera inerte de nitrogênio (N_2) com fluxo máximo de 100 mL/min. e faixa de temperatura iniciando em 25°C até 600°C. A taxa de aquecimento foi de 10°C por minuto.

Para cada tipo de amostra foi separado um feixe de fibras com o peso de 50 gramas e cortados manualmente com o auxílio de uma tesoura obedecendo ao tamanho máximo de 1mm. Após esse processo, foram retirados cerca de 10mg e depositados em cadinhos de platina para a análise do ensaio conforme a figura 19b.

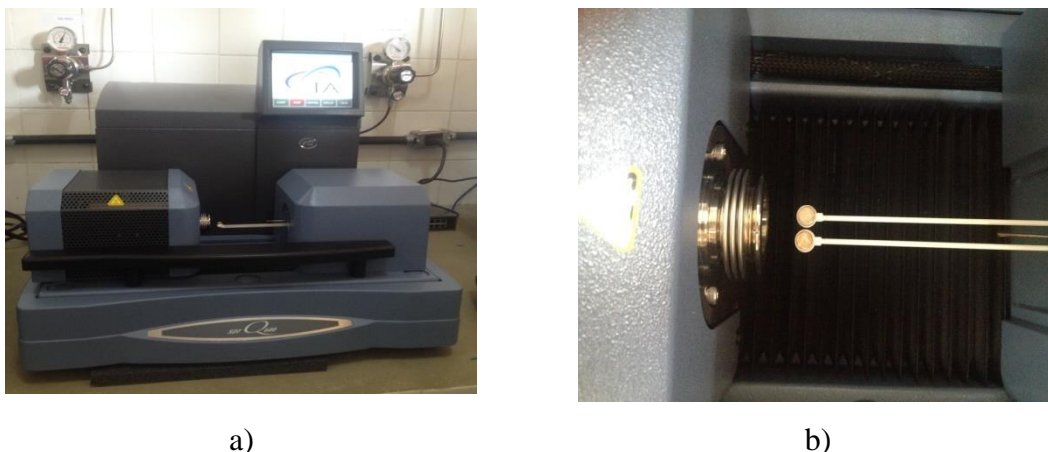


Figura 19 – Ensaio de termogravimetria: a) Equipamento termogravimétrico; b) Cadinhos de platina

3.2.5.4 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICO DOS COMPÓSITOS

Tanto para o ensaio de tração direta como o de flexão em 4 pontos foi utilizado o equipamento eletromecânico modelo DL-30000 marca Emic, com célula de carga de 300 kN (figura 20) e a velocidade de deslocamento foi padronizada em ambos os ensaios mecânicos, de 0,1 mm/min para os ensaios de tração e de 0,5 mm/min para os de flexão em 4 pontos.



Figura 20 – Equipamento eletromecânico utilizado nos ensaios de tração direta e flexão em 4 pontos.

Com relação ao ensaio de resistência mecânica à tração direta, as amostras dos compósitos foram fixadas na garra mecânica da máquina (figura 21), alinhadas no equipamento com o auxílio de um nível de bolhas evitando possíveis desníveis e rotações, a fim de não comprometer o desenvolvimento do ensaio.



Figura 21 – Amostra presa nas garras metálicas para o ensaio de tração direta.

O sistema de aquisição de dados, contínuo, foi baseado no programa Tesc, fornecido pelo fabricante do equipamento. A tensão última de tração foi determinada dividindo a carga máxima resistida da amostra do compósito pela área da seção. Foram ensaiadas 3 amostras para cada tipo de reforço e tratamento proposto.

Já o ensaio mecânico de flexão em 4 pontos, o vão entre os apoios foi de 300mm e os pontos de carga distavam a 100mm conforme figura 22. O sistema de aquisição de dados, contínuo, foi baseado no programa Tesc. Para ambos os ensaios, obteve-se a carga por meio da célula de carga do equipamento.

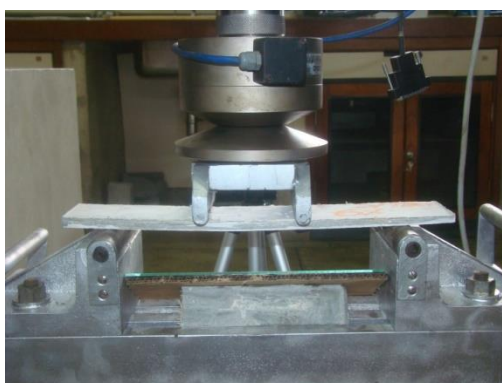


Figura 22 – Detalhe da amostra no ensaio mecânico de flexão em 4 pontos.

Em virtude de variações existentes na espessura das amostras destinadas ao ensaio, os resultados foram expressos em tensão de tração na flexão, sendo utilizada como base de cálculo a equação 3.1 Com relação ao cálculo da energia absorvida pelas

amostras ensaiadas, foi utilizada a equação 3.2 que equivale à área sob a curva do gráfico (carga X deformação).

$$\sigma = \frac{6M}{b d^2} \quad (3.1)$$

$$T = \frac{A}{b d} \quad (3.2)$$

onde:

σ = tensão de tração na flexão;

M = momento de inércia;

T = energia absorvida;

b = largura da amostra;

d = altura da amostra e

A = área do gráfico (carga X deflexão).

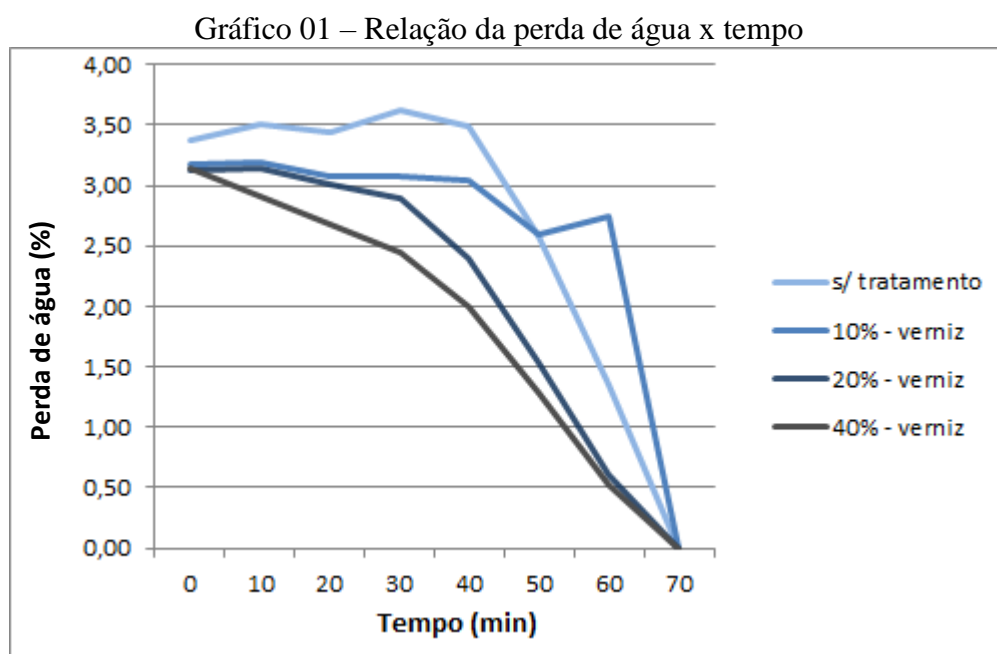
Para o cálculo dos valores de tenacidade nos corpos de prova, utilizou-se o método da RILEM (1984), o qual calcula-se a área sob a curva do gráfico (carga X deslocamento) até a carga de ruptura e divide-se o valor encontrado pela área da seção transversal. Assim como no ensaio mecânico de tração direta, foram ensaiadas 3 amostras para cada tipo de reforço e tratamento proposto.

CAPÍTULO 4

4 – RESULTADOS

4.1 – TRATAMENTO DA FIBRA

Conforme metodologia empregada no item 3.2.2 referente ao tratamento da fibra de malva, foi traçado um gráfico com as diferentes proporções de concentração e a perda de umidade durante uma média de tempo, de acordo gráfico 01.



Observou-se que para fibra de referência, que não recebeu tratamento com verniz denominada fibra *in natura*, que a perda de água inicia-se em aproximadamente 45 minutos, indicando saturação da fibra. Por outro lado, observa-se que as fibras tratadas apresentam perda de água em tempos menores, o que provavelmente pode ser devido a presença de água superficial, ocasionada devido ao aumento da hidrofobicidade.

A fibra tratada com 40% de verniz demonstrou a menor absorção de água quando comparada as outras duas amostras com concentração de 10 e 20% respectivamente. Isso provavelmente ocorreu devido a perda de hidroflicidade da fibra tratada com 40% de verniz, indicando uma maior impermeabilização. Logo, optou-se por essa concentração nos compósitos que receberam o tratamento proposto.

4.2 – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO CERÂMICO E DOS AGREGADOS

O resíduo cerâmico foi submetido a um ensaio de fluorescência de raios-x conforme descrito no item 3.2.3, obtendo os seguintes resultados de acordo com a tabela 11.

Tabela 11 – Resultado do ensaio de fluorescência de raios-x

COMPOSIÇÃO (%)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	MÉDIA	CV*
Al₂O₃	22,719	22,767	22,734	22,740	0,107
Fe₂O₃	7,636	7,621	7,606	7,621	0,196
SiO₂	62,472	62,443	62,471	62,462	0,026

*Coeficiente de variação

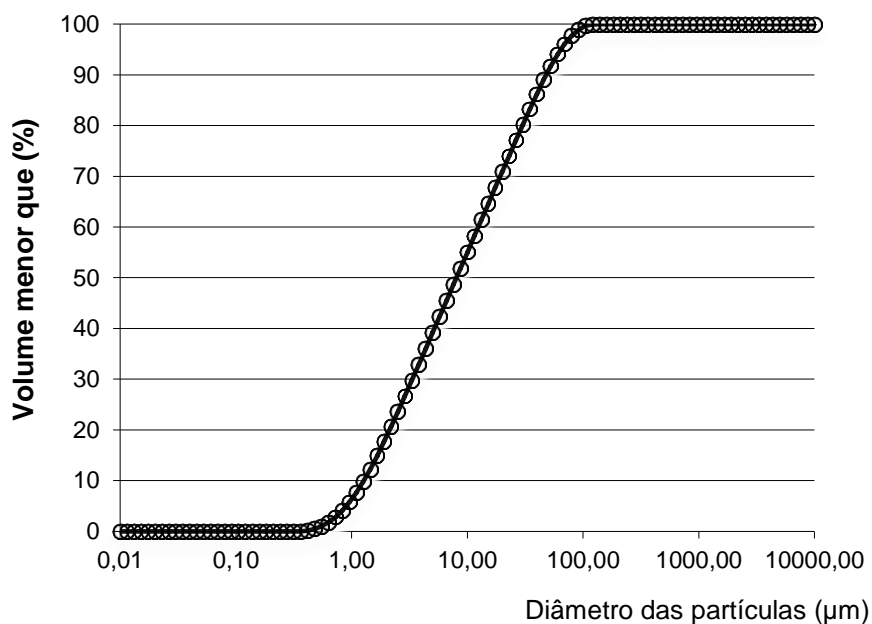
Segundo a NBR 12653 (2014), para ser considerado material pozolânico enquadrado na Classe N (argilas calcinadas), o resíduo cerâmico deve possuir na sua composição química o mínimo de 65% de elementos de SiO₂ (óxidos de silício) bem como 70% no mínimo contabilizando a soma da média dos seguintes elementos: Al₂O₃ + Fe₂O₃ + SiO₂ (óxidos de alumínio, de ferro e de silício).

A amostra apresenta valor abaixo do mínimo solicitado pela NBR, cerca de 62,46% de elementos de SiO₂, porém a soma dos elementos óxidos está acima do solicitado pela norma, com cerca de 92,82%. Desse modo, deduz-se que o resíduo cerâmico atende aos limites exigidos pela NBR para a utilização deste material com potencial pozolânico em misturas parciais ao cimento Portland.

Tal comportamento foi semelhante ao obtido por Gonçalves (2005), o qual fez uso em substituição parcial ao cimento por resíduo cerâmico cominuído com percentuais de 63,89% de SiO₂, 7,73% de Fe₂O₃ e 25,49% de Al₂O₃, totalizando 97,11% de elementos óxidos na somatória solicitada pela norma, além da utilização de metacaulitina.

O resultado do ensaio sedimentométrico pelo método de espalhamento a laser apresentou como resultado a curva granulométrica de acordo com o gráfico 2.

**Gráfico 02 - Laudo de Análise Granulometria por espalhamento a laser
CURVA GRANULOMÉTRICA RESÍDUO CERÂMICO**



A partir da curva granulométrica, observou-se que o resíduo cerâmico apresenta em sua composição 97,71% de partículas com diâmetro de 75μm e o restante, 2,29%, com diâmetro superior ao proposto pelo estudo. Esse material de diâmetro maior que passou na peneira de mesh 200 (0,075mm) se dá pelo formato das partículas, uma vez que durante o peneiramento do resíduo, acabam passando pela malha da peneira. Entretanto esse percentual mostrou-se irrelevante, pois tais diâmetros de partículas de RC ainda são menores que as partículas de cimento, não comprometendo o resultado final dos compósitos.

Autores como Male (1989), Zampieri (1993), Mehta & Monteiro (1994), Wild et al (1997), Rocha (2008) e Callister e Rethwisch (2012) afirmam que, quando certos materiais argilosos (que cumprem a função de pozolanas) apresentam partículas finamente reduzidas, estas permitem uma maior dispersão no interior do compósito, facilitando o efeito filler, pois acabam agindo como bloqueadoras de poros/vazios e na permeabilidade, e dessa forma, matrizes com tais adições minerais quando comparadas a matrizes adição, são mais coesas e apresentam diminuição significativa à tendência de segregação e exsudação. Tal melhora pode ser relacionada à melhor interação entre as partículas de adição mineral e a matriz cimentícia.

O cimento foi submetido ao ensaio de granulometria normatizado pela NBR 11579 (2012), cujo objetivo é a determinação de finura do material utilizando a peneira

200 (mesh 75 μ m), através de procedimento manual, para a verificação da fração retida em porcentagem e em massa, cujo tamanho das partículas são superiores a 75 μ m.

A tabela 12 apresenta os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 12 – ensaio granulométrico do cimento

PENEIRA 200 (75 μ m)	
Material retido (g)	Material retido (%)
0,79	1,58
0,81	1,62
Média	1,60

O ensaio foi realizado em duplicata e o resultado não deve ultrapassar 0,8% em valor absoluto. O resultado da amostra ficou dentro dos padrões exigidos pela norma, com a média de 0,8%.

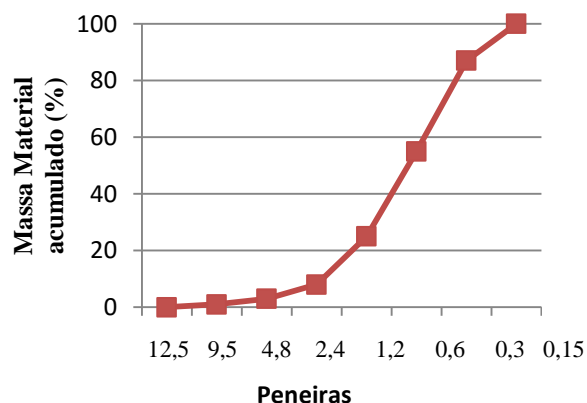
A areia foi caracterizada através da determinação granulométrica, massa unitária (estado solto/úmido), massa específica real e teor de materiais pulverulentos, seguindo as normas regulamentadoras indicadas no ítem 3.1.3. A tabela 13 apresenta os resultados dos ensaios propostos.

Tabela 13 – Caracterização da areia

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA				ÍNDICES FÍSICOS
Peneiras (mm)	Material retido (gramas)	Material retido (%)	Material acumulado (%)	MÓDULO DE FINURA: 1,79
76	-	-	-	DIMENSÃO MÁX. CARACTERÍSTICA (mm): 2,4
(50)	-	-	-	
38	-	-	-	
(25)	-	-	-	MASSA UNITÁRIA EM ESTADO SOLTO ÚMIDO (Kg/dm ³): 1,18 (h=3,3%)
19	-	-	-	MASSA UNITÁRIA EM ESTADO SOLTO SOLTO (Kg/dm ³): 1,56
9,5	-	-	-	
4,8	4	1	1	IMPUREZAS: ACIMA DE 300 P.P.M EM TERMOS DE ÁCIDO TÂNICO.
2,4	10	2	3	
1,2	24	5	8	
0,6	86	17	25	TEOR DE ARGILA: 1,5%
0,3	150	30	55	TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO: 2,7%
0,15	161	32	87	
FUNDO	65	13	100	

A partir dos valores obtidos, foi traçada a curva granulométrica da areia utilizada no estudo, conforme gráfico 3.

Gráfico 3 – Curva granulométrica da areia



Após o ensaio, o material foi classificado como areia fina natural quartzosa de acordo com a NBR 7211 (2005) e dimensão máxima de 2,4mm e ficando abaixo da quantidade máxima permitida pela norma para materiais pulverulentos (NBR NM 46/2003), que é de 5%.

4.3 – CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

4.3.1 – MICROSCOPIA ÓPTICA DOS COMPÓSITOS

O resultado do ensaio de microscopia realizado nos compósitos mostrou diferenças com relação ao tratamento realizado com verniz. As figuras 23a e 23c mostram a vista superior da amostra sem tratamento da fibra e a amostra com tratamento, respectivamente. A principal diferença entre elas é a disposição das fibras no interior do compósito. Enquanto que na amostra sem tratamento as fibras apresentam-se alinhadas e preenchendo quase a totalidade do compósito (figura 23b), na amostra com tratamento (figura 23d) as fibras estão unidas pelo verniz não apresentando uma uniformidade, preenchendo o compósito de maneira não homogênea (representadas pelo círculo vermelho).

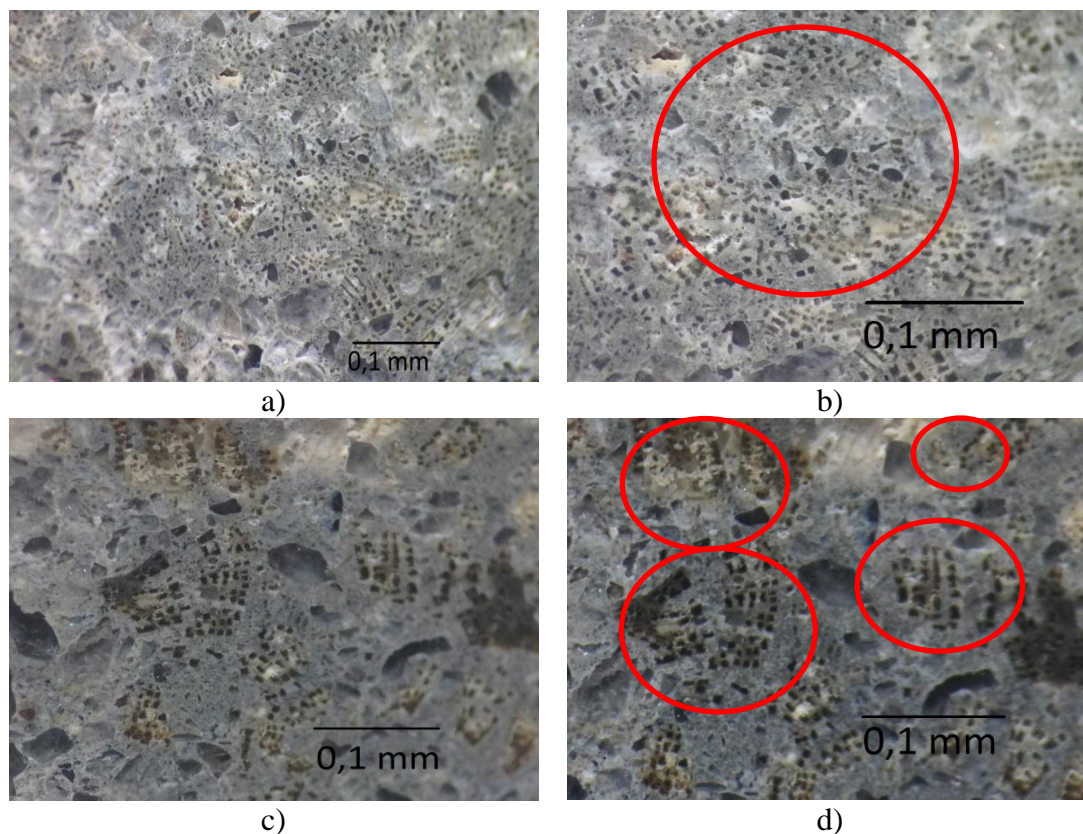


Figura 23 – Detalhes das amostras: a) vista superior da amostra com fibra sem tratamento; b) detalhes da distribuição das fibras no interior do compósito; c) vista superior da amostra de fibra com tratamento; d) detalhes da distribuição das fibras após tratamento.

As figuras 24a e 24c representam a vista lateral da amostra com fibra sem tratamento e a amostra com tratamento, respectivamente. Ao comparar as duas imagens nota-se que a amostra sem tratamento (figura 24a) apresenta uma dispersão dos filamentos da fibra no interior do compósito de maneira mais uniforme. A figura 24b mostra de maneira distinta as 5 camadas no compósito, representadas pelas linhas vermelhas. Já a figura 24d apresenta fibras unidas pelo tratamento proposto com verniz, e a partir deste tratamento, pode-se notar que a aderência fibra/matriz é deficiente, apresentando em alguns pontos o total descolamento, não ocorrendo a interação esperada, conforme representado pelos círculos vermelhos.

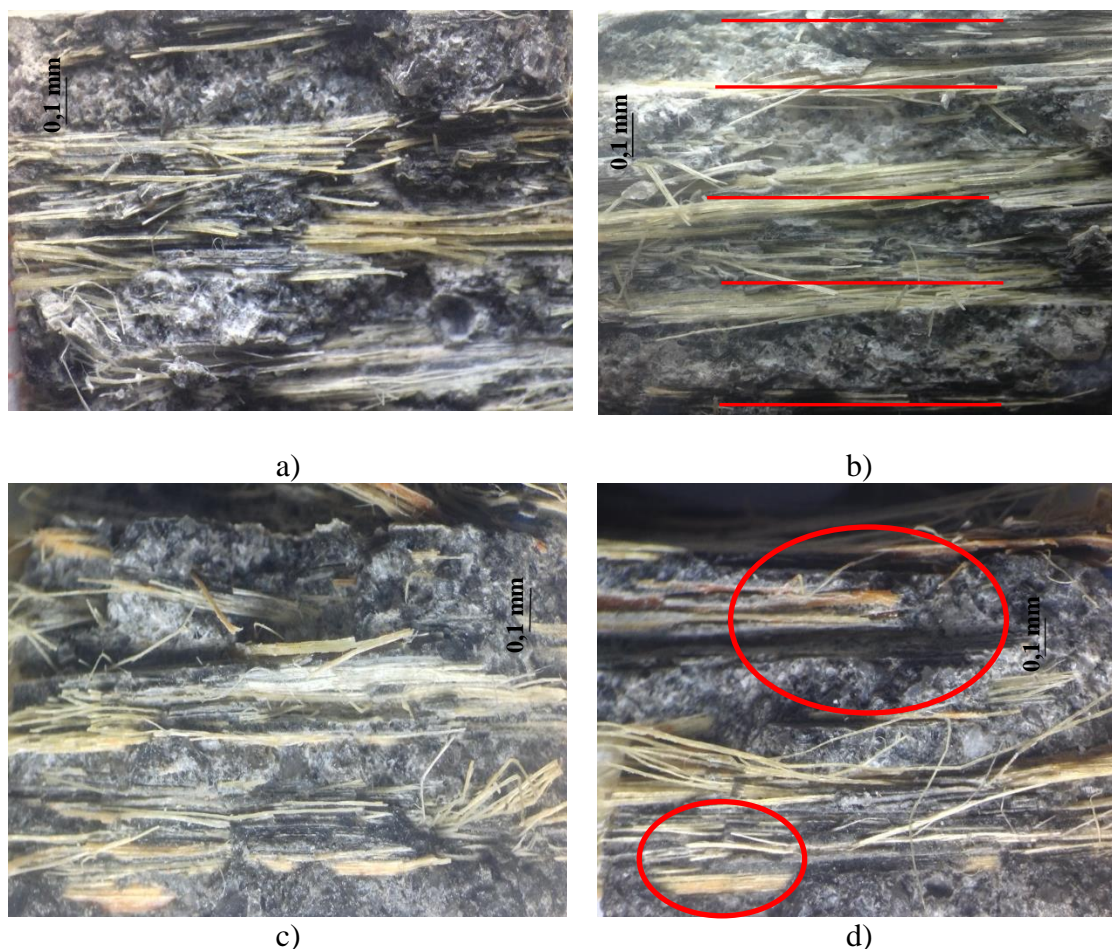


Figura 24 – Detalhes das amostras: a) vista lateral da amostra com fibra sem tratamento; b) detalhes das camadas das fibras; c) vista lateral da amostra de fibra com tratamento; d) detalhes da má aderência das fibras no interior do compósito.

As amostras com substituição parcial em 50% de resíduo cerâmico ao cimento (figuras 25a e 25c), apresentaram comportamento semelhante aos das amostras do compósito com matriz cimentícia no que diz respeito a disposição das fibras, ou seja, para as amostras com fibra tratada (figura 25d) observa-se uma menor dispersão das fibras na matriz, diferentemente no observado em amostras de fibras não tratadas (figura 25b). A principal diferença entre os dois compósitos é que o RC, que cumpre a função de material pozolânico, preenche os poros e vazios existentes na amostra. Este fato foi mencionado por autores como Male (1989), Mehta e Monteiro (1994), Vieira, (2005).

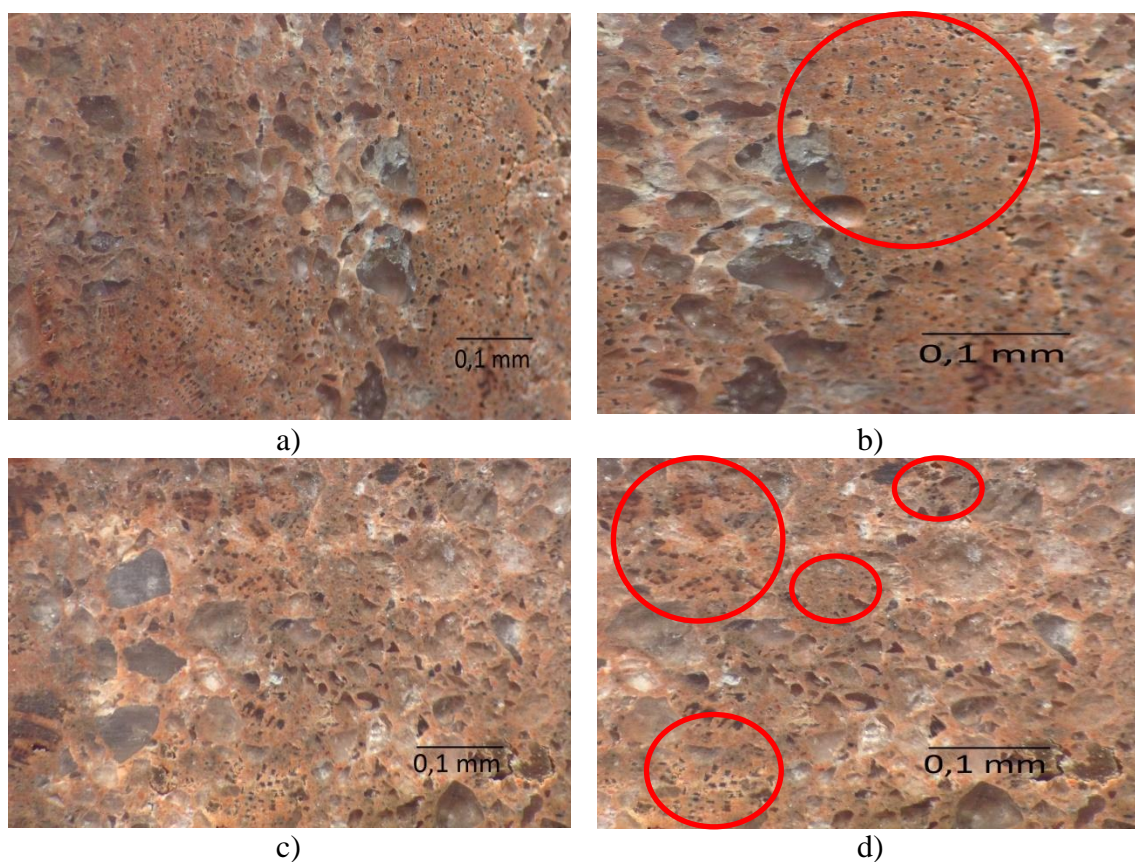


Figura 25 – Amostras com substituição parcial por resíduo cerâmico: a) vista superior da amostra com fibra sem tratamento; b) detalhes da distribuição das fibras no interior do compósito; c) vista superior da amostra com fibra com tratamento; d) detalhes da distribuição das fibras tratadas no interior do compósito.

Analisando as microscopias (vista lateral) das amostras com resíduo cerâmico de fibra não tratada (figura 26a) e fibra tratada (figura 26b), é possível notar que a primeira apresenta uma maior adesão fibra/matriz em relação ao compósito de fibra tratada. Isso pode estar relacionado com o tratamento das fibras com verniz ocasionando uma menor aderência entre os elementos.

Tais fatores poderiam ter sido comprovados através de ensaios específicos (*pull out*).

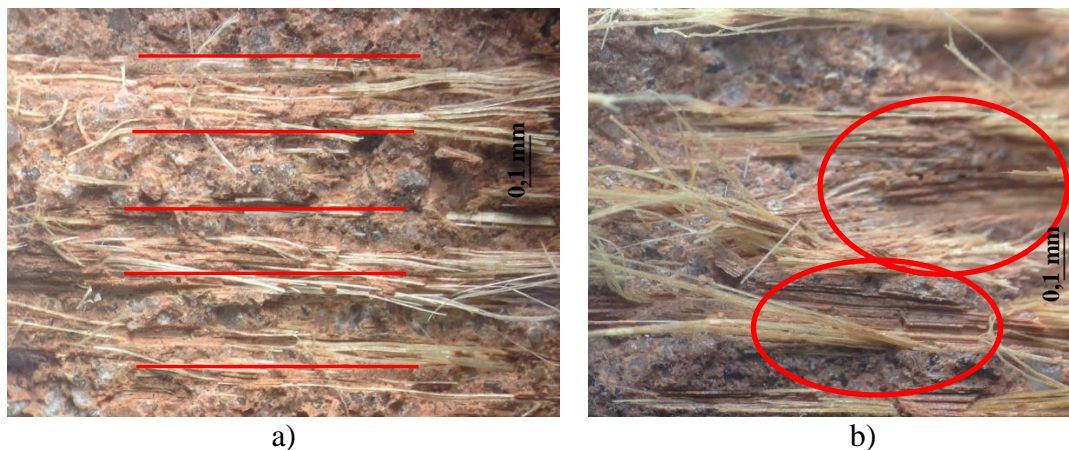


Figura 26– Amostras com RC: a) detalhe das 5 camadas de fibra de malva no interior da amostra do compósito; b) má aderência das fibras de malva na matriz.

4.3.2 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – FIBRAS E COMPÓSITOS

O resultado do ensaio de MEV nas fibras (figura 27) mostra a diferença existente entre a fibra *in natura* (figura 27a) e a tratada (figura 27b).

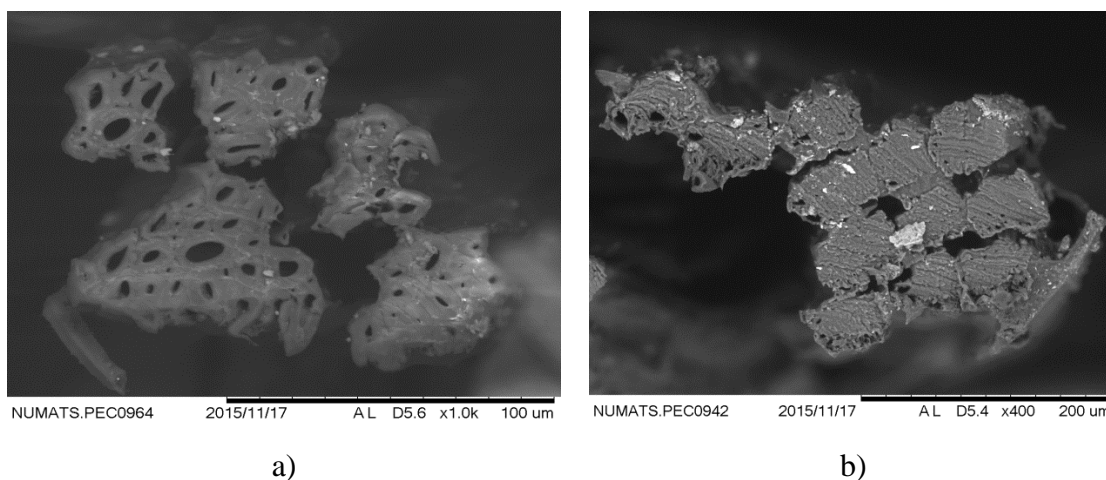


Figura 27 – MEV das fibras sem e com tratamento de verniz: a) dispersão dos filamentos e lúmens aparentes; b) filamentos parcialmente unidos pelo tratamento

Enquanto que na fibra *in natura* é possível verificar a dispersão e lúmens dos filamentos (figura 28a), a fibra tratada apresenta filamentos totalmente unidos em função do tratamento realizado pelo verniz, além do fechamento parcial ou total dos lúmens. Observa-se também que o tratamento realizado não promoveu o encapsulamento das fibras como o esperado, formando apenas uma fina camada superficial, conforme figura 28b.

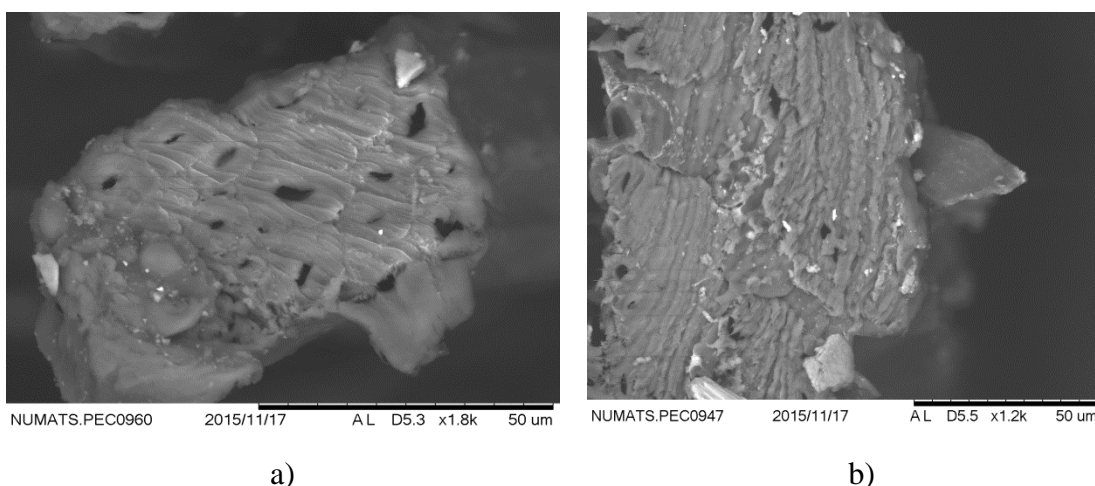


Figura 28 – Detalhes das fibras: a) fibra sem tratamento; b) fibra com tratamento

Para a microscopia realizada nos compósitos, ficou comprovado o que já havia sido notado na microscopia óptica (item 4.3.1), onde os filamentos das amostras com tratamento ficaram unidos pelo uso do verniz. Esse comportamento foi o mesmo para todas as amostras em que a fibra recebeu o tratamento proposto.

De uma maneira geral, todas as amostras apresentaram descolamento parcial da fibra junto à matriz (figuras 29a a 29d), entretanto, nas amostras com fibra tratada, tal descolamento tornou-se maior em virtude da união dos filamentos pelo verniz, tanto para as amostras com cimento Portland como para as com substituição parcial, conforme observado nessas figuras.

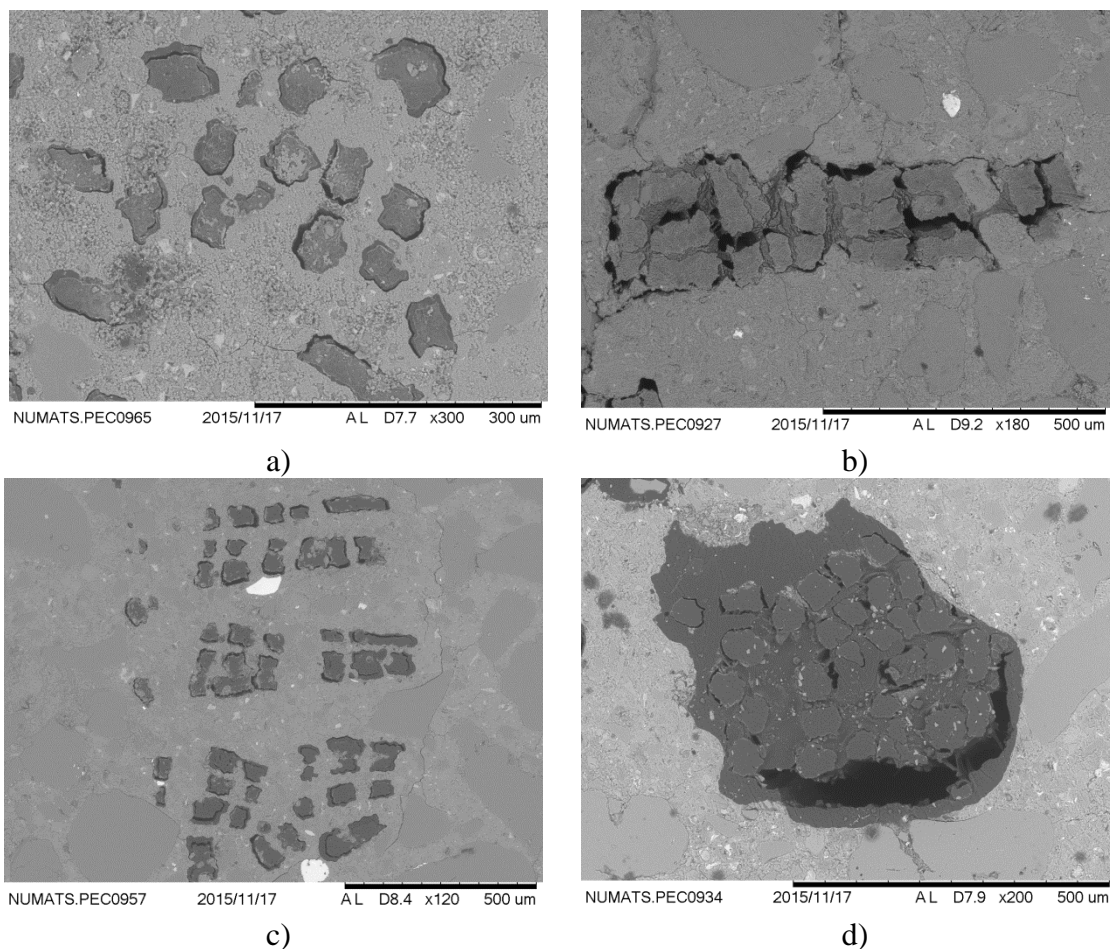


Figura 29 – MEV dos Compósitos: a) Amostra matriz cimentícia e fibra sem tratamento; b) Amostra matriz cimentícia e fibra com tratamento; c) Amostra matriz com substituição e fibra sem tratamento; d) Amostra matriz com substituição e fibra com tratamento

4.3.3 – TERMOGRAVIMETRIA

A partir das curvas de TG (figura 30) observou-se 3 e 4 eventos para as fibras *in natura* e tratadas, respectivamente. Para ambas as fibras nota-se uma perda de massa relativa à umidade entre 25 e 75°C. Após isso, entre 225 e 300°C houve um evento atribuído à degradação da hemicelulose. Já entre 350 e 400°C observa-se uma perda de massa relacionada a degradação da celulose. Tal comportamento é semelhante aos observados por Carmona 2011, Fonseca 2012 e Oliveira 2013, para fibras lignocelulósicas. Para a fibra com tratamento, nota-se um evento entre 350 e 400°C que provavelmente relacionado à degradação do verniz, utilizado para o tratamento da fibra. Com relação a degradação da lignina, Tomczak et al (2007) afirmam que devido a maior estabilidade térmica, esta ocorre entre 280 e 500°C, sendo difícil a separação dos diferentes processos de degradação dos componentes das fibras lignocelulósicas em virtude de suas complexas reações, ocorrendo sobreposição dos eventos nessas regiões.

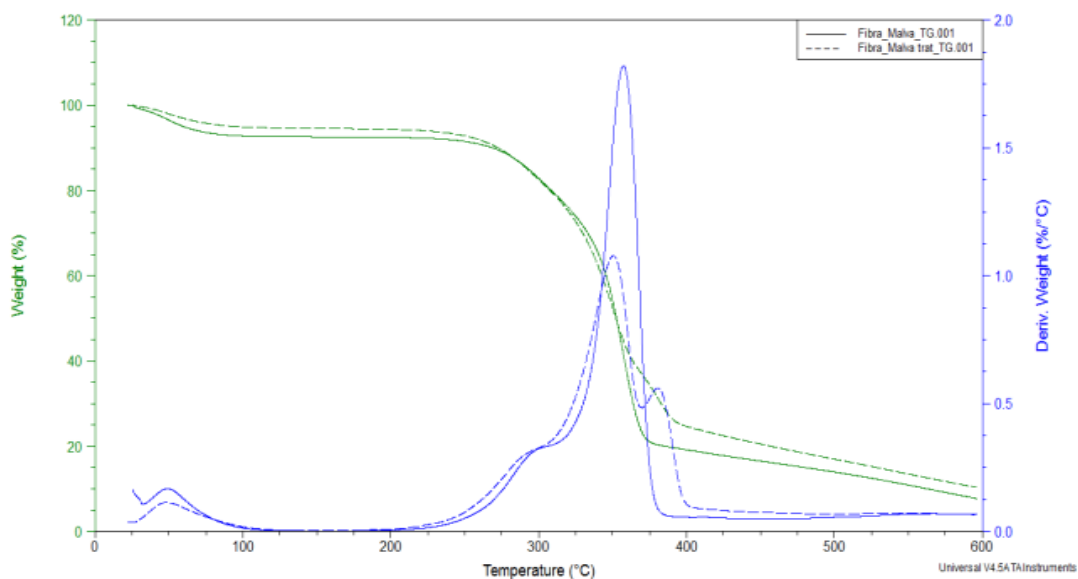


Figura 30– Termogravimetria das fibras sem e com tratamento

4.3.4 – COMPORTAMENTO MECÂNICO DE TRAÇÃO DIRETA

Para a análise das curvas de tensão X deflexão nas amostras dos compósitos, fez-se necessário a divisão em 2 partes, de acordo com a metodologia adotada por Melo Filho (2005) e Oliveira (2013): a região em que apresenta o comportamento linear elástico e valor da tensão de primeira fissura (σ_{if}) e a deformação de primeira fissuração (d_{if}), representada pelo algarismo romano *I*.

A região que é caracterizada pela abertura progressiva das fissuras, onde é calculada a tensão última (σ_{uf}) e deformação de última fissuração (D_{uf}), é representada pelo algarismo romano *II*, para todos os tipos de compósitos propostos, conforme demonstrada na figura 31.

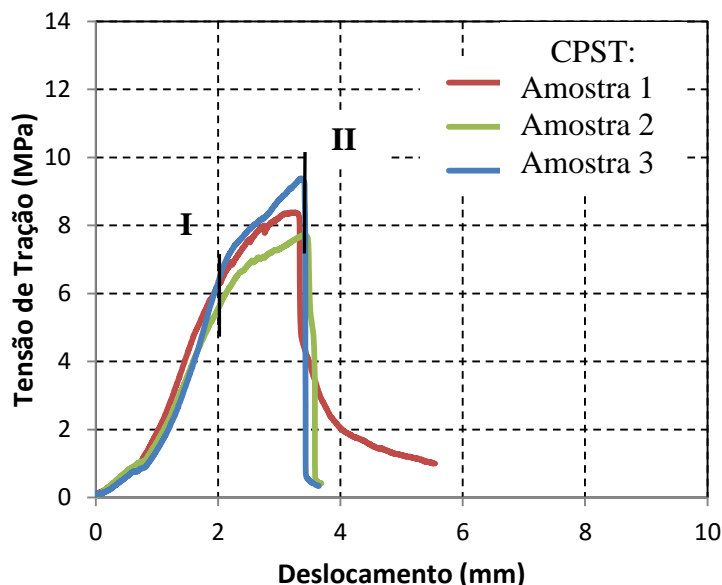


Figura 31 – Curvas típicas do ensaio de tração direta e as regiões analisadas.

A tabela 14 apresenta os resultados do ensaio de tração direta nas amostras com reforço de fibra de malva sem e com tratamento com 28 dias de cura, com seus respectivos valores e desvios padrão (desvpad).

Tabela 14 – Amostras sem e com tratamento a base de verniz ensaiadas com 28 dias

Amostras	Regiões			
	I		II	
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (%) desvpad	σ_{uf} (MPa) desvpad	D_{uf} (%) desvpad
CPST	5,34 (0,67)	1,09 (0,12)	8,49 (0,84)	3,50 (0,05)
CPCT	1,19 (0,05)	0,56 (0,09)	6,54 (1,69)	3,68 (0,85)

Ao comparar as médias da região I de ambos os compósitos, nota-se que a amostra sem tratamento apresenta um acréscimo de 77,7% para os valores de tensão de primeira fissura e de 49% para a deflexão de primeira fissura em relação à amostra com tratamento. Já na região II a diferença entre as amostras é de 23% para a tensão de última fissura para a amostra sem tratamento e de apenas 5% na deflexão última fissura para a amostra que recebeu tratamento a base de verniz.

Os baixos valores para as amostras que receberam tratamento nas fibras com verniz pode estar relacionado a aglutinação destas fibras devido ao tratamento, além da má interação entre fibra e matriz cimentícia.

Na tabela 15 são apresentados os valores das amostras com e sem tratamento para as amostras com 56 dias, com seus respectivos valores e desvio padrão (desvpad).

Tabela 15 – Amostras sem e com tratamento a base de verniz ensaiadas com 56 dias

Amostras	Regiões			
	I		II	
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (%) desvpad	σ_{uf} (MPa) desvpad	D_{uf} (%) desvpad
CPST	3,50 (0,08)	1,45 (0,20)	7,92 (1,28)	2,96 (0,55)
CPCT	1,33 (0,22)	1,00 (0,27)	7,73 (2,30)	2,90 (0,53)

Observa-se que os resultados das amostras sem tratamento foram superiores quando a média da tensão de primeira fissura é comparada às amostras com tratamento. Porém, não foram observadas variações entre as amostras quando os resultados de deflexão de primeira fissura da região I e os de tensão e deflexão últimas da região II são analisados.

Comparando os valores das amostras com 28 e 56 dias, observou-se que apenas o resultado das amostras sem tratamento para a tensão da primeira fissura na região I apresentou uma diminuição de 62%. Por outro lado, os demais valores apresentaram semelhança.

Abaixo (tabela 16) são apresentados os resultados obtidos em amostras com variação na matriz.

Tabela 16 – Amostras de matriz com substituição por resíduo cerâmico e de cimento Portland

Amostras	Regiões			
	I		II	
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (%) desvpad	σ_{uf} (MPa) desvpad	D_{uf} (%) Desvpad
RCST	7,75 (0,28)	2,47 (0,03)	12,43 (1,22)	4,73 (0,47)
CPST	5,34 (0,67)	1,09 (0,12)	8,49 (0,84)	3,50 (0,05)

Ao analisar as duas regiões, observou-se que as amostras que receberam a alteração na matriz por substituição parcial de resíduo cerâmico apresentaram resultados superiores em relação a amostra de cimento Portland, com a majoração de 31,3% para a tensão de primeira fissura, 56% na deflexão de primeira fissura, 31,7% para tensão última e de 26% para tensão de última fissura, quando as médias são analisadas.

O aumento desses valores pode estar relacionado ao preenchimento dos vazios da matriz pelo resíduo cerâmico, o que também foi observado nas microscopias ópticas (item 4.3.1). Este fato foi constatado no estudo de Melo Filho (2005).

A tabela 17 apresenta a influência do volume de fibras para as amostras em que o reforço recebeu tratamento a base de verniz, com seus valores e respectivos desvios padrão (desvpad).

Tabela 17 – Influência do volume de fibras em matriz com resíduo cerâmico

Amostras	Regiões			
	I		II	
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (%) desvpad	σ_{uf} (MPa) desvpad	D_{uf} (%) Desvpad
RCCT6	3,71 (0,54)	1,75 (0,40)	9,10 (1,33)	4,91 (1,47)
RCCT10	6,39 (0,05)	3,40 (0,30)	13,03 (0,72)	6,54 (0,63)

Para os ensaios de tração as amostras com volume de 10% apresentaram ganhos em comparação às amostras com 6% de volume. Na região I a melhoria foi de 42% para a tensão de primeira fissura e de 48,5% para deflexão de primeira fissura. Para a região II o ganho foi de 30,3% na tensão de última fissura, quando a média foi analisada. Já a deflexão de última fissura, não houve variação através da análise do desvio padrão.

A tensão última do compósito com 6% de volume de fibras tratadas foi superior em 20,7% ao resultado obtido por Oliveira (2013), cujo valor foi de 10,34 Mpa para tensão última, em amostras de mesmo volume de fibras e com substituição parcial de 50% de metacaulinita.

O resultado do tratamento das fibras em verniz pode ser visto na tabela 18 a qual apresenta a diferença entre as matrizes com substituição e com cimento Portland, com seus respectivos desvios padrão (desvpad).

Tabela 18 – Amostras com tratamento nas fibras em matrizes com substituição e em cimento Portland

Amostras	Regiões			
	I		II	
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (%) desvpad	σ_{uf} (MPa) desvpad	D_{uf} (%) Desvpad
RCCT	3,71 (0,54)	1,75 (0,40)	9,10 (1,33)	4,91 (1,47)
CPCT	1,19 (0,05)	0,56 (0,09)	6,54 (1,69)	3,68 (0,85)

As amostras com substituição parcial apresentaram valores superiores aos das amostras com cimento Portland, quando a região I foi analisada. Por outro lado, apesar das médias apresentarem-se superiores na região II em amostras com substituição de resíduo, a análise do desvio padrão mostrou que a tensão e deflexão últimas são inferiores aos observados em amostras com cimento Portland.

Na tabela 19 constam os resultados dos ensaios realizados em compósitos com fibras tratadas e a fibras *in natura* no mesmo tipo de matriz (substituição por resíduo cerâmico).

Tabela 19 – Amostra da matriz com substituição parcial com reforço de fibras sem e com tratamento

Amostras	Regiões			
	I		II	
	σ_{if} (MPa) desvpad	d_{if} (%) desvpad	σ_{uf} (MPa) desvpad	D_{uf} (%) Desvpad
RCST	7,75 (0,28)	2,47 (0,03)	12,43 (1,22)	4,73 (0,47)
RCCT	3,71 (0,54)	1,75 (0,40)	9,10 (1,33)	4,91 (1,47)

As amostras em que as fibras não foram tratadas apresentaram valores superiores às amostras com fibra tratada, quando a região I e a tensão última da região II são analisadas. A deflexão última da região II apresentou-se abaixo para as amostras sem tratamento. Como observado anteriormente em compósitos com fibras tratadas, há uma menor dispersão dessas fibras na matriz e que conjuntamente com a baixa aderência, ocasiona uma perda na resistência.

Finalizando, a tabela 20 Apresenta os valores de ciclos de molhagem e secagem para as amostras com matriz de cimento Portland com reforço sem e com tratamento.

Tabela 20 – 10 Ciclos de molhagem e secagem para amostras com matriz cimentícia

Amostras	Regiões			
	I		II	
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (%) desvpad	σ_{uf} (MPa) desvpad	D_{uf} (%) Desvpad
CPSTe	0,91 (0,36)	0,63 (0,36)	1,00 (0,15)	1,23 (0,35)
CPCTe	0,52 (0,12)	0,83 (0,19)	0,91 (0,43)	1,49 (0,51)

Foram realizados 10 ciclos de molhagem/secagem nas amostras e ambos compósitos apresentaram valores similares. O ensaio de envelhecimento degradou tanto a matriz como as fibras, mesmo aquelas sujeitas ao tratamento.

Na figura 32 são apresentadas as imagens dos compósitos após o ensaio de tração direta. A imagem da figura 32a ilustra a presença de microfissuras visíveis nos corpos de prova reforçados com fibras de malva enquanto era exercida a carga pelo equipamento. Quando esta carga era retirada, as fissuras desapareciam, ficando aparentes apenas aquelas com maior dimensão (figura 32b). Foram traçadas linhas com a utilização de um lápis sobre as fissuras a fim de facilitar sua visualização (figuras 32c e 32d). O compósito apresentou uma média de 24 fissuras com espaçamento médio de $1,5 \pm 1,00$ mm.

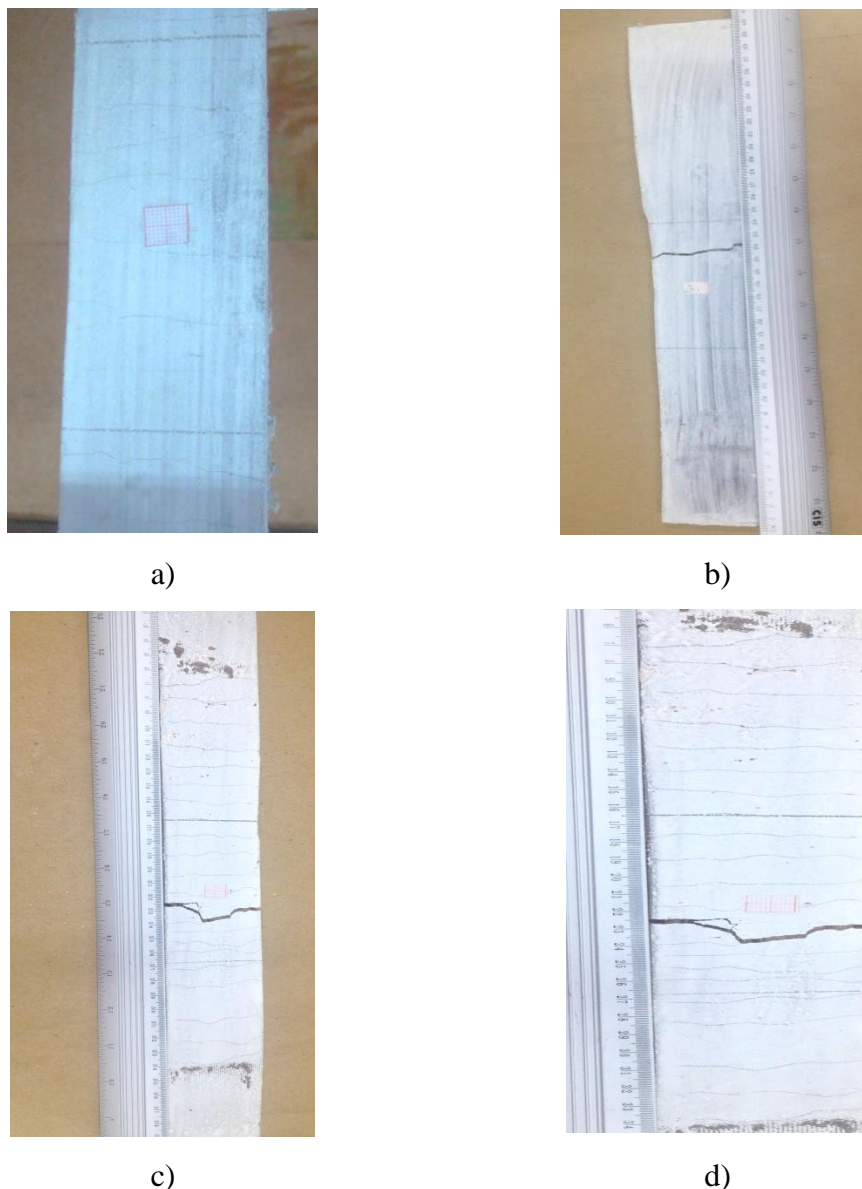


Figura 32 – Imagens de amostras após o ensaio de tração direta: a) Amostras ensaiadas no equipamento e formação das fissuras; b) Após ensaio apenas as fissuras maiores ficavam em evidência; c) Marcação com lápis para melhor visualização da fissura; d) Detalhe das fissuras

4.3.5 - COMPORTAMENTO MECÂNICO DE FLEXÃO EM 4 PONTOS

As curvas tensão X deflexão também foram divididas em duas regiões como proposto por Melo Filho (2005) e Oliveira (2013) e identificadas por números romanos como ilustrado na figura 33. A região I é a que apresenta o comportamento linear elástico da amostra e é nesta região que obtém-se a tensão de primeira fissura (σ_{1f}) e deflexão de primeira fissura (d_{1f}).

A região II, caracterizada pela máxima tensão pós-fissuração, inicia-se quando a curva tensão X deflexão apresenta um pronunciado desvio de linearidade e encerra-se

quando a capacidade de suporte do compósito (σ_u) e a deflexão de última fissura (D_u) são atingidas. A partir deste ponto é iniciado o decaimento rápido da curva tensão X deflexão, com expressivo aumento das aberturas de fissuras até que uma delas abra totalmente, finalizando do ensaio.

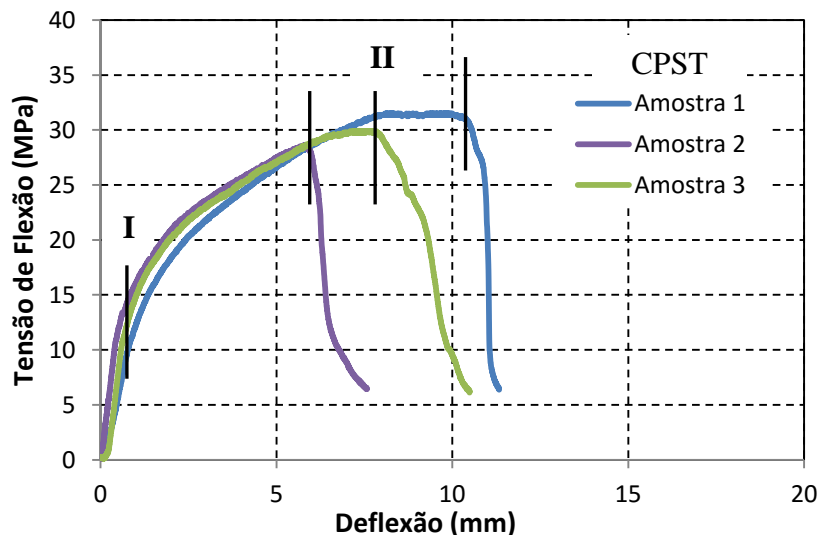


Figura 33– Curvas típicas do ensaio de tração direta e regiões analisadas

Os valores médios das propriedades obtidas em cada região estudada com seus respectivos desvios padrão são apresentados a seguir.

A tabela 21 apresenta os resultados das amostras sem e com tratamento nas fibras em compósitos com 28 dias de cura.

Tabela 21 – Amostras do compósito com 28 dias e reforço sem e com tratamento de verniz

Amostras	REGIÕES				
	I		II		
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (mm) desvpad	σ_u (MPa) desvpad	D_u (mm) desvpad	$T\sigma_u$ (kj/m ²) desvpad
CPST	10,52 (0,28)	0,60 (0,18)	30,00 (1,43)	7,49 (1,78)	2,98 (0,85)
CPCT	7,96 (2,27)	0,61 (0,11)	18,04 (0,78)	9,05 (1,87)	2,13 (0,40)

Ao comparar a região I, nota-se que não houve variação dos resultados entre as amostras com e sem tratamento, considerando os desvios padrão. Com relação aos valores da região II, a σ_u da amostra sem tratamento apresentou valor superior de aproximadamente 39,86%, considerando a média obtida.

Isso se deve ao fato do tratamento realizado com verniz manter as fibras parcialmente unidas, resultando em valores inferiores aos das amostras sem tratamento.

Já a T_{σ_u} , apresentou valores superiores, com diferença de 28,5%, analisando a média, quando comparada ao compósito com fibras tratadas. Tal aumento de tenacidade já era esperado para o compósito com fibras sem tratamento, uma vez que este apresentou maior número de fissuras, conforme observado por Melo Filho (2005).

Os valores de σ_{1f} (10,52MPa) e σ_u (30,00MPa) das amostras sem tratamento mostraram-se superiores quando comparados ao estudo de Oliveira (2013), que obteve 7,96 MPa e 27,76 MPa, respectivamente, o qual utilizou como reforço fibras de malva com volume reforço de 8% e amostras com espessura de 12mm.

A tabela 22 apresenta os resultados do ensaio nas amostras com reforço de fibra de malva sem e com tratamento com 56 dias de cura.

Tabela 22 – Amostras do compósito com 56 dias e reforço sem e com tratamento de verniz

Amostras	REGIÕES				
	I		II		
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (mm) desvpad	σ_u (MPa) desvpad	D_u (mm) desvpad	T_{σ_u} (kj/m ²) desvpad
CPST	13,96 (1,74)	0,97 (0,21)	29,75 (6,52)	6,82 (1,90)	3,52 (0,63)
CPCT	8,83 (0,49)	0,78 (0,24)	19,85 (1,16)	7,24 (0,67)	1,70 (0,43)

O comportamento das amostras com 28 dias foi semelhante aos das amostras ensaiadas com 56 dias. A região I das amostras sem tratamento na tensão de primeira fissura, deflexão de primeira fissura e na região II para a tensão de última, apresentou valores superiores de 36,8%, 24% e 33,3% respectivamente, com relação à média, quando comparadas aos das amostras com tratamento. Já a deflexão última da CPCT apresenta diferença de apenas 5,8%, fato observado também nas amostras rompidas com 28 dias de cura.

A T_{σ_u} apresentou valores semelhantes quando observados os desvios padrão para ambas as amostras.

A tabela 23 apresenta os resultados do ensaio nas amostras com alteração na matriz por substituição parcial de resíduo cerâmico com fibras *in natura*.

Tabela 23 – Amostras com alteração da matriz com substituição parcial de resíduo cerâmico

Amostras	REGIÕES				
	I		II		
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (mm) desvpad	σ_u (MPa) desvpad	D_u (mm) desvpad	$T\sigma_u$ (kJ/m ²) desvpad
RCST	10,92 (1,43)	0,98 (0,09)	29,68 (3,39)	10,61 (1,80)	3,30 (0,48)
CPST	10,52 (0,28)	0,60 (0,18)	30,00 (1,43)	7,49 (1,78)	2,98 (0,85)

Para ambas as amostras os resultados apresentaram-se similares quando observadas as médias.

A figura 34 indica que a curva de tensão de deflexão por deformação da amostra com resíduo cerâmico apresenta maior linearidade (sinalizada pela linha verde no traçado da curva) quando comparada a curva da amostra de matriz de cimento Portland. Tal comportamento deve-se a melhor interação da fibra de malva com a matriz. Tal comportamento é semelhante ao observado no estudo de Melo Filho (2005).

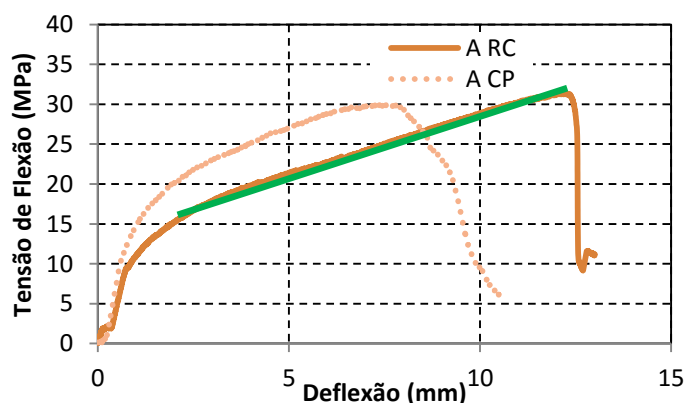


Figura 34 – Diferença entre as curvas das amostras de matriz com resíduo cerâmico e cimento Portland

A tabela 24 apresenta os resultados da influência do volume de fibras nas amostras com tratamento nas fibras com verniz e alteração na matriz.

Tabela 24 – Amostras com diferentes volumes de fibras

Amostras	REGIÕES				
	I		II		
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (mm) desvpad	σ_u (MPa) desvpad	D_u (mm) desvpad	$T\sigma_u$ (kJ/m ²) desvpad
RCCT	10,64 (0,61)	0,98 (0,26)	23,71 (2,16)	8,97 (2,08)	2,27 (0,70)
RCCT10	6,96 (0,22)	0,62 (0,13)	22,80 (2,51)	9,67 (0,53)	1,91 (0,10)

As amostras com volume de fibras a 6% apresentaram resultados levemente superiores em relação à tensão de primeira fissura, quando comparadas as amostras com volume de 10% de fibras. Entretanto, observou-se que não houve variação nos resultados de tensão última. Por outro lado, a produção de compósitos com reforço de 10%, apresenta uma maior dificuldade em relação a trabalhabilidade.

A tabela 25 apresenta os resultados da influência da modificação da matriz por substituição parcial de resíduo cerâmico nas fibras sem e com tratamento.

Tabela 25 – Amostras com matriz com substituição e fibras com e sem tratamento

Amostras	REGIÕES				
	I		II		
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (mm) desvpad	σ_u (MPa) desvpad	D_u (mm) desvpad	$T\sigma_u$ (kJ/m ²) desvpad
RCST	10,92 (1,43)	0,98 (0,09)	29,68 (3,39)	10,61 (1,80)	3,30 (0,48)
RCCT	10,64 (0,61)	0,98 (0,26)	23,71 (2,16)	8,97 (2,08)	2,27 (0,70)

Os resultados apontam que não houve diferença, após a análise das médias e desvios padrão, nas regiões I e II para as amostras sem e com tratamento, quando o resíduo cerâmico é utilizado.

A tabela 26 apresenta os resultados da influência do tratamento da fibra com verniz em matrizes de cimento Portland e por substituição parcial de resíduo cerâmico.

Tabela 26 – Diferença entre diferentes matrizes e fibras com tratamento

Amostras	REGIÕES				
	I		II		
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (mm) desvpad	σ_u (MPa) desvpad	D_u (mm) desvpad	$T\sigma_u$ (kj/m ²) desvpad
CPCT	7,96 (2,27)	0,61 (0,11)	18,04 (0,78)	9,05 (1,87)	2,13 (0,40)
RCCT	10,64 (0,61)	0,98 (0,26)	23,71 (2,16)	8,97 (2,08)	2,27 (0,70)

Como observado, os resultados de flexão obtidos em amostras com fibras tratadas e resíduo cerâmico não apresentaram variação quando a matriz de cimento Portland foi utilizado, de acordo com as médias e desvios padrão da tabela 26.

Finalizando, a tabela 27 apresenta os resultados dos ciclos de envelhecimento aos compósitos com matriz de cimento Portland com as fibras com e sem tratamento.

Tabela 27 – Amostras com matriz cimentícia aos 10 ciclos de envelhecimento

Amostras	REGIÕES				
	I		II		
	σ_{1f} (MPa) desvpad	d_{1f} (mm) desvpad	σ_u (MPa) desvpad	D_u (mm) desvpad	$T\sigma_u$ (kj/m ²) desvpad
CPSTe	-	-	10,79 (2,68)	1,05 (0,23)	0,06 (0,01)
CPCTe	-	-	10,82 (1,19)	0,94 (0,24)	0,06 (0,03)

Após 10 ciclos de molhagem/secagem, as amostras apresentaram valores similares. Os ciclos de envelhecimento degradaram o compósito e as fibras perderam aproximadamente 50% da sua função de reforço no compósito, quando comparadas as outras amostras que não foram submetidas a estes ciclos.

De uma maneira geral, todos os compósitos apresentaram um comportamento dúctil com aumento da tensão após o surgimento da primeira fissura. Este comportamento foi similar aos observado por estudos de Melo Filho (2012) Oliveira (2013) tanto para o ensaio de flexão em 4 pontos quanto no de tração direta.

A figura 35 ilustra imagens das amostras após o ensaio de flexão de maneira semelhante ao realizado no ensaio de tração direta. Na figura 35a observou-se a presença de microfissuras visíveis nos corpos de prova enquanto era exercida a carga pelo equipamento. Após a retirada da carga, as fissuras de menor dimensão desapareciam (figura 35b). Com o intuito de melhorar a visualização, foram traçadas linhas sobre as fissuras (figura 35c e 35d).

O compósito apresentou uma média de 16 fissuras com espaçamento médio de $2,5 \pm 1,00$ mm. Esse comportamento é similar aos das amostras que foram sujeitas ao ensaio de tração direta.

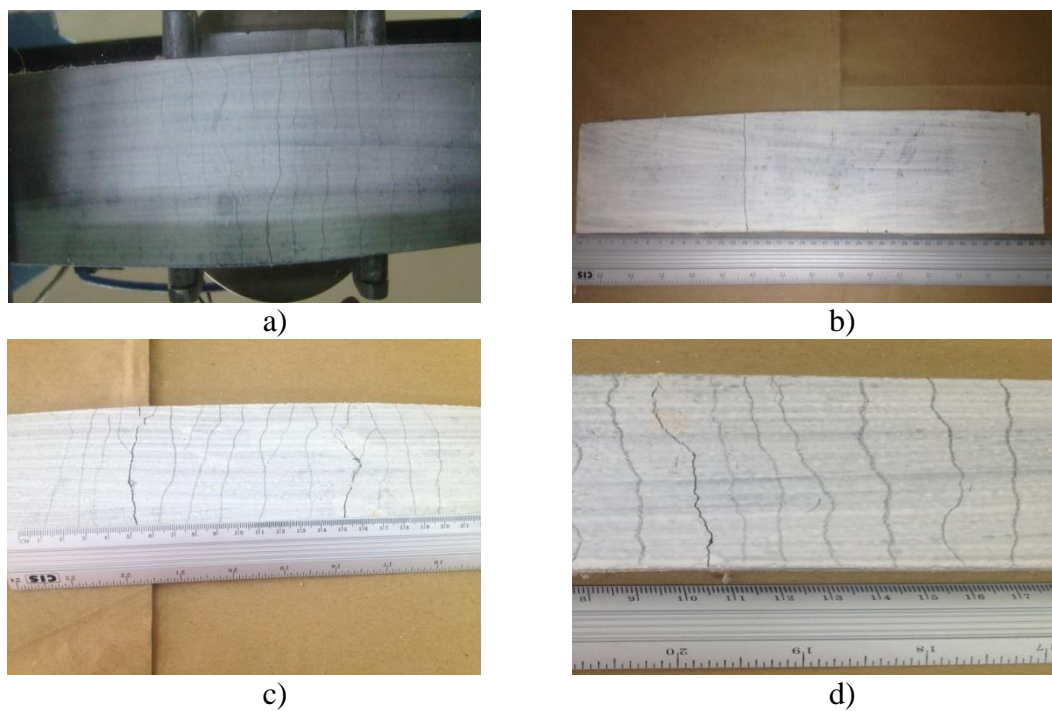


Figura 35 – Imagens de amostras após o ensaio de flexão direta: a) Amostras ensaiadas no equipamento e formação das fissuras; b) Após ensaio apenas as fissuras maiores ficavam em evidência; c) Marcação com lápis para melhor visualização da fissura; d) Detalhe das fissuras.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

Foram produzidos compósitos cimentícios utilizando como reforço fibras de malva com modificação na matriz através de substituição parcial de resíduo cerâmico. Os compósitos foram obtidos em formato de placas com as dimensões de 400x400x10mm, sendo que o reforço foi dividido em 5 camadas, com fração volumétrica de 6 e 10% intercaladas na matriz.

Para o reforço foi utilizado fibras *in natura* e também tratamento superficial a base de verniz, com o intuito de diminuir a sua hidrofobicidade. Após ensaios de imersão, optou-se por trabalhar com tratamento em uma proporção de 40% de verniz.

A microscopia óptica e eletrônica de varredura indicaram uma baixa aderência das fibras com a matriz independente do tratamento superficial e da substituição da matriz. Por outro lado, as fibras com tratamento apresentaram menor dispersão na matriz, implicando em uma maior união entre os filamentos, o que pode ter influenciado negativamente alguns resultados mecânicos.

Resultados dos ensaios mecânicos de tração direta indicaram que compósitos produzidos com fibra *in natura* apresentaram-se superiores, independente do tipo de matriz utilizada. Por outro lado, comparando as matrizes, observa-se que matrizes de resíduo cerâmico apresentaram resultados superiores, independente do tratamento da fibra.

Assim como observado nos ensaios de tração direta, o tratamento das fibras não influenciou o resultado de flexão direta. No entanto, por apresentar similaridade nos valores obtidos entre resíduo cerâmico e cimento Portland, pode-se concluir que o uso deste resíduo é bastante promissor.

6 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir, seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Estudar outros tipos de tratamento para a impermeabilização da fibra com o intuito de melhorar a aderência fibra/matriz;
- Utilizar diferentes proporções de substituição de resíduo cerâmico ao cimento Portland;
- Avaliar a durabilidade desses compósitos em condições de envelhecimento natural;
- Realizar ensaios mecânicos de tração direta e flexão de 4 pontos entre os ciclos de envelhecimento acelerado;
- Realizar ensaios mecânicos nas amostras com 30, 60, 90 e 180 dias para avaliar a durabilidade do reforço.

7 – REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5732 : 1991 – Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 7211: Agregados para concretos: Especificações.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11172 : 1990 - Aglomerantes de origem mineral – Terminologia.** Rio de Janeiro, 1990.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12653 : 2014 - Materiais pozolânicos – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 11579: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200).** Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11768 : 2011 - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2011.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 27 : 2001 – Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.** Rio de Janeiro, 2001.

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

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 46 : 2003 – Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248 : 2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais.** 1991, p. 204. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

AGOPYAN, V., SAVASTANO JR, H., JOHN, V. M., CINCOTTO, M. A. **Developments on vegetable fibre-cement based material in São Paulo, Brazil: on overview.** Cement and Concrete Composites, v. 27, p. 527 – 536, 2005.

ALVES, S. M. S. **Desenvolvimento de compósitos resistentes através da substituição parcial do cimento por resíduo da indústria cerâmica.** 2002. P. 64. Dissertação (Mestrado) Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002.

ANJOS, M. A. S., GHAVAMI, K., BARBOSA, N. P. **Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II: uso de resíduos cerâmicos na matriz.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 2, p. 346 – 349, 2003.

ARAÚJO JUNIOR, C. C.; RONDON, O. C. **Reaproveitamento de Resíduos de Cerâmica Vermelha na Construção Civil.** Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, 2009.

ARDANUY, M., CLARAMUNT, J., GARCÍA-HORTAL, J. A., BARRA, M., **Fiber-Matrix Interactions in Cement Mortar Composites Reinforced with Cellulosic Fibers,** Cellulose, v. 18, pp. 281–289, 2011.

ASTM – **American Society for Testing and Materials.** D5370 : 2014 - Standard Specification for Pozzolanic Blended Materials in Construction Applications.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** 5ª ed, São Paulo: LTC, 1995.

BENTUR, A. & MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites.** Applied Science. London and New York, Elsevier, 2ª edição, 1990.

BERGSTROM, S. G. GRAM, H-E. **Durability of alkali-sensitive fibres in concrete.** Cement Composites and Lightweight Concrete, Vancouver, v. 6, n. 2, p.75-80, 1984

BERHANE Z. **Performance of natural fiber reinforced mortar roofing tiles.** Master Struct, v.27, p.347–352, 1999.

BERNARDI, S. T. **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçados com fibra de Aramida Kevlar.** 2003, p. 164. Dissertação (mestrado) Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BRANDT, A. M. **Fibre reinforced cement-base (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering.** Composites and Structures, v. 86, p. 3 – 9, 2008.

BRASIL – **Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em 12 de julho de 2015.

BRASIL – **Ministério Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento – Portaria N° 150 de 08 de junho de 1982.** Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br>> Acesso em 25 de maio de 2014.

BRASIL – **Sindicato Nacional da Indústria de Cimento – SNIC.** Disponível em <www.snic.org.br> Acesso em 13 de setembro de 2015.

CAETANO, L. F.; SILVA FILHO, L. C.; GALFF, A. G.; GARCEZ, E. O.; BERNARDI, S. T. **Compósito de matriz cimentícia reforçada com fibras.** In: II Seminário de patologia das edificações. 2004, p. 4. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D.G. **Materials Science and Engineering an Introduction.** 8° ed., EUA: Willey, 2012.

CANOVAS M. F, SELVA N. H, KAWICHE G. M. **New economical solutions for improvement of durability of Portland cement mortars reinforced with sisal fibers.** Mater Struct, v. 25, p. 417–422, 1992.

CARMONA, V. B. **Desenvolvimento de compósitos biodegradáveis a partir de amido termoplástico e fibras vegetais.** 2011. 103p. Dissertação (Mestrado) Engenharia de Materiais. Universidade Federal de São Carlos – São Carlos, São Paulo, 2011.

CHAND, N., TIWARY, R. K., ROHATGI, P. K. **Resource structure properties of natural cellulosic fibres – an annotated bibliography.** J Mater Sci, v. 23, p. 381–387, 1988.

COSTA, D. S., PERES, M. N. P. B., BARREIRA, R. M., SILVA, R. L. B., SILVA, V. L. D., SÁ, F. A., SOUZA, J. A. S. **Compósitos reforçados com fibras de sisal e malva: análise da tensão x comprimento de fibras.** Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Joinville, Santa Catarina, 2012.

COLLEPARDI, S. COPPOLA, L. TROLI, R. COLLEPARDI, M. **Mechanisms of action of different superplasticizers for high performance concrete.** In: International Conference on High Performance Concrete and Performance and Quality of Concrete Structures. 2. Proceedings. Gramado: Rio Grande do Sul, p. 503 – 523, 1999.

COUTINHO, A. de S. **Fabrico e propriedades do betão.** Lisboa: LNEC, v.1, 1997

D'ANTONA, R. J. G. REIS, N. J. MAIA, M. A. M. ROSA, S. F. NAVA, D. B. **Projeto materiais de construção na área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro: domínio Baixo Solimões.** CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Manaus, 2007.

DAL MOLIN, D. C. C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações.** Capítulo 12 – Adições minerais para concreto estrutural. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2005. P. 345 – 379

DE LARRARD, F. **Concrete mixture proportioning. A scientific approach.** London: E & FN SPON, 421p, 1999.

FARUK, O., BLEDZKI, A. K., FINK, H-P., SAIN, M. **Biocomposites reinforced with natural fibres: 2000 – 2010.** Progress in polymer Science, v. 37, p. 1552 – 1596, Nov. 2012.

FONSECA, A. S. **Caracterização tecnológica das fibras do estipe de *Desmoncus polyacanthos* Mart.** Dissertação (mestrado). 2012. 117p. Ciências e Tecnologia da Madeira – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2012.

FUJIYAMA, R. T. **Argamassa de Cimento Reforçada por Fibras de Sisal: Caracterização Mecânica e Microestrutural.** 1997. Dissertação (Mestrado) Ciência dos materiais e metalurgia - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R. D.; BARBOSA, N. P. **Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres.** Cement and Concrete Composites, England, v.21, p.39-48, 1999.

GOMES, P.C.C. **Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete.** 2002. 139p. Tese (Doutorado) - Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

GONÇALVES, J. P. **Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental e contendo argila calcinada e areia artificial.** 2005. 292p. Tese (Doutorado) Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia Da Universidade Federal Do Rio De Janeiro – PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

GRAM H. E. **Durability of natural fibers in concrete.** Swedish, Cement and Concrete Research Institute, Research Fo; 1983.

GUEDERT, L. O. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da cinza da casca de arroz como material pozolânico.** 1989, p. 147. Dissertação (Mestrado) Engenharia de Produção e Sistemas – UFSC, Florianópolis, 1989.

GUIMARÃES, S. S. **Vegetable fibre-cement composites.** Second International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials, Bahia, Salvador 1990. Proceedings: London, Chapman and Hall, p. 98 – 107, 1990 (RILEM – Proceedings).

IZQUIERDO, I. S. **Uso da fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural.** 2011, p. 128. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – UFSCAR, São Carlos, 2011.

JONES, R. M., **Mechanics of Composite Materials,** McGraw-Hill Company, 1975.

JOHN, V. M. AGOPYAN, V., DEROLLE, A. **Durability of blast furnace-slag-based cement mortar reinforced with coir fibres.** International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials, 2, Salvador 1990. Proceedings: London, Chapman and Hall, 1990 (RILEM – Proceedings).

JOHN, V. M., CINCOTTO, M. A., SJÖSTRÖM, C., AGOPYAN, V., OLIVEIRA, C. T. A. **Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre.** Cement and Concrete Composites, v. 27, p. 565 – 574, May 2005.

KIHARA, Y. CENTURIONE, S. L. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações.** Capítulo 10 – O cimento Portland. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2005. P. 295 – 322

KIHARA, Y. SHUKUZAWA, J. K. **Contribuição ao estudo de pozolanas no Brasil.** Cerâmicas, v. 28, p. 15-24, 1982.

LI Z., WANG X., WANG L. **Properties of hemp fibre reinforced concrete composites**. Composites Part A, v. 37, p. 497–505, Mar. 2006.

LIMA, P. R. L. TOLEDO FILHO, R. D., NAGAHAMA, K. J. FAIRBAIRN, E. M. **Caracterização mecânica de laminados cimentícios esbeltos reforçados com fibras de sisal**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande, v. 11, p. 644 – 651, 2007.

LIMA, S. P. B. **Estudo da produção e aplicação em pastas cimentícias de sílica gel provenientes das cinzas da casca de arroz**. 2009, p. 219. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009.

LOURENCI, S. **Caracterização de argamassas de revestimento fabricados com materiais alternativos**. 2003, p.129. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2003.

MACIEL, C. F. **“Homens do Barro” e Estratégias Empresariais. Um estudo da relação capital-trabalho no Pólo oleiro-cerâmico da Região Metropolitana de Manaus-AM**. 2013, p. 161. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Sociologia – Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

MALE, J. **Properties of microsilica concrete: An overview of microsilica concrete in UK**. Concrete. London, v. 23, n8, sep., pp. 31-44, 1989.

MALHORTA, V. M. **Superplasticizers: a global review with emphasis on durability and innovative concretes**. In: International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. 3. Proceedings. Ottawa, Canada, p. 1 – 18, 1989.

MALHOTRA, V. M.: MEHTA, P. K.. **Pozzolanic and Cementitious Materials. Advances in concrete technology**. v.1, Gordon and Breach Publishers, 1996

MARGEM, J. I. **Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva** 2013, p.134. Tese (Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2013.

MARTINS NETO, S. F. **Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades**

mecânicas. 2011, p. 94. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

MEDINA, J. C. Plantas fibrosas da flora mundial. Instituto Agrônomo de Campinas, 1959.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1ª ed, São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2ª ed, São Paulo: Ibracon, 2008.

MELO FILHO, J. A., **Desenvolvimento e Caracterização de Laminados Cimentícios Reforçados com Fibras Longas de Sisal**, 2005, p. 114. Dissertação (Mestrado) Ciências em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro- COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

MELO FILHO, J. A. **Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de compósitos de alto desempenho reforçados com fibras de sisal**. 2012. 207p. Tese (Doutorado) Ciências em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro- COPPE, Rio de Janeiro, 2012.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do Concreto**. 2ª ed, São Paulo: PINI, 1997.

OLIVEIRA, I. R. C. **Propriedades mecânicas, físicas e químicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta e de malva**. 2013, p. 77. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

OLIVEIRA, M. J. E. **A influência dos tratamentos simples para as fibras de malva empregadas em reforço de argamassa de cimento Portland**, 1989, p 170. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil – Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

OLIVEIRA, M. P. de, BARBOSA, N. P. **Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland em argamassas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.10, n.2, p.490–496, 2006.

O'FARREL, M., WILD, S. e SABIR, B. B. **Pore size distribution and compressive strength of waste clay brick mortar.** Cement and Concrete Composites, v. 23, p. 81 – 91, 2001.

PACHECO-TORGAL, F., JALALI, S. **Compósitos cimentícios com fibras vegetais: um contributo para a sustentabilidade da construção.** Revista Infraestruturas África, p. 60-67, 2010.

PERES, M. D. P. B. **Compósitos de argamassa de cimento reforçada por fibra de sisal com entalhes definidos: caracterização mecânica e mecanismo de falha.** 2011, p. 118. Dissertação (Mestrado) Engenharia Mecânica, Belém, 2011.

PERUZZI, A. P. **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa.** 2002, p. 96. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

RAMLI, H., HOEKWAN, W., ABAS, N. F. **Strength and durability of coconut-fibre reinforced concrete in aggressive environments.** Construction and Building Materials, v. 38, p. 554 – 566, Jan. 2013.

ROCHA, C. A.A. **Estudo de concretos com adições minerais de resíduo de corte de rocha e de blocos cerâmicos moídos.** 2008. P. 107 Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2008.

RODRIGUES, C. S., GHAVAMI, K., STROEVEN, P., **Rice Husk Ash as a Supplementary Raw Material for the Production of Cellulose–Cement Composites with Improved Performance,** Waste Biomass Valor, v. 1, p. 241–249, 2010

Rydholm, S. A. **Pulping processes.** London: Interscience; 1965.

SANTOS, S. **Produção e Avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho.** 2006, p.267. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SAVASTANO JR, H., AGOPYAN, V. **“Transition Zone Studies of Vegetable Fibre-Cement Paste Composites”**, Cement and Concrete Composite, v. 21, p. 49-57, 1999.

SAVASTANO JR, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** 2000, p. 144. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo: São Paulo, 2000.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose.** 2002. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Construção Civil/EPUSP. – São Paulo, 2002.

SILVA, F. A., **Durabilidade e Propriedades Mecânicas de Compósitos Cimentícios Reforçados por Fibras de Sisal,** 2009. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEC/COPP: Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, F. A., TOLÊDO FILHO, R. D., MELO FILHO, J. A., FARBAIRN, E. M. **R.Physical and mechanical properties of durable sisal fiber–cement composites.** Construction and Building Materials, v. 24, May, 2010.

SILVA, M. M. P. **Avaliação de perdas de blocos cerâmicos em Pernambuco: da indústria ao canteiro de obras.** 2007, p. 157. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica do Pernambuco: Recife, 2007.

SILVEIRA, A. A. **A utilização da cinza de casca de arroz com vistas à durabilidade de concretos: estudo de ataque por sulfatos.** 1996, p. 139. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 1996.

STAIGER, M. P., TUCKER, N. **Natural fibre composites in structural applications.** Pickering K. Editor. Properties and performance of natural fibre composites. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, p. 269 – 300, 2008

SWAMY, R. N. **Vegetable fibre reinforced cement composites – a false dream or a potential reality?** Second International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials, Bahia, Salvador 1990. Proceedings: London, Chapman and Hall, 1990 (RILEM – Proceedings).

TATTERSALL, G. H. **Workability and quality of concrete.** London, E & FN SPON, 261p, 1991.

TOLEDO FILHO, R. D., BARBOSA, N. P., GHAVAMI, K. **Application of sisal and coconut fibres in adobe blocks.** Second International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials, Bahia, Salvador 1990. Proceedings: London, Chapman and Hall, p. 139 – 149, 1990 (RILEM – Proceedings).

TOLEDO FILHO, R. D., GHAVAMI, K., ENGLAND, G. L., SCRIVENER, K. **Development of vegetable fibre-mortar composites in improve durability.** Cement and Composites, v. 25, p. 185 – 196, Feb. 2003.

TOLEDO FILHO R. D, SCRIVENER K, ENGLAND GL, GHAVAMI K. **Durability of alkalisensivite sisal and coconut fibers in cement mortar composites.** Cement Concrete Composites, v. 22, p. 127–143, 2000.

TOLEDO FILHO, R. D., SILVA, F. A., FAIRBAIRN, E. M. R., MELO FILHO, J. A., **Durability of compression molded sisal fiber reinforced mortar laminates,** Construction and Building Materials, v. 23, n. 6 p. 2409–2420, Jun. 2009.

TOMCKAC, F. SYDENSTRICKER, T. H. D. SATYANARAYANA, K. E. **Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part. II: Morfology and properties of brasilian coconut fibers.** Composites Part. A. v. 38, p. 1710 – 1721, 2007.

TURANLI, L., BEKTAS, F. e MONTEIRO, P. J. M. **Use of ground Clay as a pozzolanic material to reduce the alkali-silica reaction.** Cement and Concrete Research, v. 33, p. 1539 – 1541, 2003.

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos.** 2005, p.107. Dissertação (Mestrado) Programa de pós-graduação em Engenharia Urbana – Centro de Tecnologia, João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

WILD, S.; KHATIB, J. M.; O'FARREL M. **Sulphate resistance of mortar, containing groundbrick clay calcined at different temperatures.** Cement and Concrete Research, v. 27, p. 697 – 709, 1997.

ZAMPIERI, V. A. **Cimento Portland aditivado com Pozolanas de argilas calcinadas: fabricação, hidratação e desempenho mecânico.** 1993. P. 233. Tese (Doutorado) –Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

ZAMPIERI, V. A. **Mineralogia e mecanismos de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas.** 1989. P. 191. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrografia. São Paulo: Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

ZÁRATE, C. N.; ARARGUREN, M. I.; ROBOREDO, M. M. **Resol – Vegetable fibers Composites.** Journal of Applied Polymer Science, v.77, p. 1832 – 1840, 2000.

ZHOU, X., GHAFFAR, S. H., DONG, W. OLADIRAN, O., FAN, M. **Fracture and impact properties of short discreet jute fibre-reinforced cementitious composites.** Materials and Design, v. 49, p. 35 – 47, Jan. 2013.l