



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Júlia Marques Zuany de Oliveira

**AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS
REFORÇADOS COM FIBRAS VEGETAIS DA AMAZÔNIA**

Manaus-AM
2023

JÚLIA MARQUES ZUANY DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS
REFORÇADOS COM FIBRAS VEGETAIS DA AMAZÔNIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Amazonas como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
de Civil.

ORIENTADOR(A): PROFESSOR DOUTOR: JOÃO DE ALMEIDA MELO FILHO.

Manaus-AM
2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Oliveira, Júlia Marques Zuany de
O48a Avaliação da Durabilidade de Compósitos Cimentícios
Reforçados com Fibras Vegetais da Amazônia / Júlia
MarquesZuany de Oliveira . 2023
44 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: João de Almeida Melo Filho
TCC de Graduação (Engenharia Civil) - Universidade
Federal do Amazonas.

1. Fibras vegetais. 2. Amazônia. 3. durabilidade. 4.
compósitos. 5.flexão. I. Melo Filho, João de Almeida. II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

À minha mãe pelo carinho e amor incondicionais e aos meus estimados professores, amigos e família pelo suporte e apoio para a realização deste trabalho.

RESUMO

O estudo do uso de fibras vegetais como reforço de compósitos cimentícios tem se tornado cada vez mais comum nos últimos anos, graças ao avanço das tecnologias e à demanda por materiais inovadores e sustentáveis. Na Amazônia esse recurso é amplamente encontrado e utilizado para diferentes aplicações, sendo de interesse do presente trabalho a avaliação do uso dessas fibras como reforço estrutural de placas cimentícias. Foram investigadas as propriedades mecânicas e de durabilidade de compósitos cimentícios reforçados com o teor de 5% de fibras vegetais de juta (*Corchorus capsularis*) e malva (*Urena lobata* L.). O objetivo foi avaliar a qualidade e o desempenho dessas fibras como reforço de placas cimentícias para um possível uso desses compósitos na Construção Civil. Foram realizados ensaios de espalhamento e termogravimetria na matriz e ensaios de tração na flexão em 4 pontos nos compósitos. Os resultados obtidos indicaram que as fibras proporcionaram um aumento na resistência à flexão e na tenacidade dos compósitos, bem como o uso da metacaulinita como material pozolânico, contribuiu para aumentar a durabilidade desses compósitos, indicando uma grande possibilidade do uso desses em aplicações estruturais e semiestruturais.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras vegetais, Amazônia, durabilidade, compósitos, flexão.

ABSTRACT

The study of the use of plant fibers as reinforcement for cementitious composites has become increasingly common in recent years, thanks to the advancement of technologies and the demand for innovative and sustainable materials. In the Amazon, this resource is widely found and used for different applications, and the present work is interested in evaluating the use of these fibers as structural reinforcement of cement slabs. The mechanical and durability properties of cementitious composites reinforced with a content of 5% vegetable fibers from jute (*Corchorus capsularis*) and mallow (*Urena lobata* L.) were investigated. The objective was to evaluate the quality and performance of these fibers as reinforcement of cementitious plates for a possible use of these composites in Civil Construction. Spreading and thermogravimetry tests were carried out on the matrix and tensile tests in flexion at 4 points on the composites. The results obtained indicated that the fibers provided an increase in the flexural strength and toughness of the composites, as well as the use of metakaolinite as a pozzolanic material, contributed to increasing the durability of these composites, indicating a great possibility of using them in structural and semi-structural applications.

KEYWORDS: Vegetable fibers, Amazon, durability, composites, bending.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe Valdenise Marques Zuany, que desde sempre me apoiou e fez o possível para que eu tivesse as melhores oportunidades de estudo e educação. Além de ser a minha maior inspiração para a carreira que segui, pois ela que me apresentou o mundo da engenharia civil, serei eternamente grata por todo o cuidado, zelo e apoio que tive na minha vida por você. Agradeço a minha família, em especial a minha tia Dulcemira Marques Zuany que também sempre me apoiou e me recebeu em sua casa para morar durante os dois primeiros anos da faculdade, a minha tia Valdecildes Marques Zuany que me ajudou no presente trabalho costurando as fibras vegetais e todos os outros membros que de alguma forma me apoiou nessa jornada.

Aos meus amigos que compartilharam a vida acadêmica e todos os demais colegas por todo o incentivo e parceria no decorrer do curso.

A todos os professores por todo o ensino, todos os trabalhos e atividades que contribuíram para eu adquirir o conhecimento na área que escolhi para minha profissão. Agradeço em especial aos professores que prestei monitoria, Raimundo Pereira de Vasconcelos e Jossandra Alves Damasceno.

Ao funcionário do laboratório de materiais da UFAM, o senhor Nilson, pela contribuição e apoios prestados durante as atividades experimentais.

Ao meu professor de TCC João de Almeida Melo Filho que contribuiu com o presente trabalho e com quem tenho a honra de ter feito artigos voltados à pesquisa feita com matrizes cimentícias reforçadas com fibras vegetais amazônicas, me proporcionando grandes aprendizados na referida área de estudo.

E a todos que contribuíram de forma direta e indiretamente para que este trabalho fosse realizado.

*“O engenheiro civil deve ser aquele que vai
além da inteligência de equipamentos.”*

Beatriz Mello

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fibras de Juta.....	19
Figura 2. Fibras de Malva.....	19
Figura 3. Manacapuru - AM.....	19
Figura 4. Molde tronco-cônico	21
Figura 5. Pastas armazenadas	21
Figura 6. Misturador mecânico.....	23
Figura 7. Placa cortada.....	23
Figura 8. Colocação da camada de argamassa.....	23
Figura 9. Emassamento	23
Figura 10. Colocação da camada de fibra.....	23
Figura 11. Fibra de Malva costurada	23
Figura 12. Fibra de Juta costurada.....	24
Figura 13. Placa moldada	24
Figura 14. Placas durante o ensaio de envelhecimento acelerado	25
Figura 15. Microscópio com Fissuromêtro	25
Figura 16. Espalhamento MCP.....	26
Figura 17. Espalhamento MK.....	26
Figura 18. (A) Curvas termogravimétricas - Cimento, (B) Curvas termogravimétricas – Metacaulinita	27
Figura 19. Capacidade de deformação de flexão dos compósitos	28
Figura 20. Curvas típicas de Tensão x Deflexão para os compósitos MKJ, MKM e MCPJ	28
Figura 21. Curvas típicas Tensão x Deflexão central para os compósitos MKJ, MKM e MCPJ envelhecidos	30
Figura 22. (A) Modo de fratura dos compósitos de MCPJ, (B) Modo de fratura dos compósitos de MKM, (C) Modo de fratura dos compósitos de MKJ.....	31
Figura 23. (A) Abertura entre fissuras dos compósitos de MCPJ, (B) Abertura entre fissuras dos compósitos de MKM, (C) Abertura entre fissuras dos compósitos de MKJ	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades Mecânicas das Fibras de Malva e Juta.....	17
Tabela 2. Legenda dos compósitos cimentícios produzidos	20
Tabela 3. Resultados médios e coeficientes de variação das propriedades mecânicas para os compósitos MKJ, MKM e MCPJ	29
Tabela 4. Propriedades mecânicas para os compósitos MKJ, MKM e MCPJ submetidos ao envelhecimento acelerado por 28 dias	30
Tabela 5. Diferença percentual entre os resultados de Ensaio de Tração em 4 pontos x Ensaio de Durabilidade.....	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo geral	12
1.2.2 Objetivos específicos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS	13
2.1.1 Matriz de cimento Portland	13
2.1.2 Hidratação do cimento Portland e o uso da metacaulinita	14
2.1.3 Superplastificante	14
2.2 FIBRAS VEGETAIS	15
2.2.1 Fibras de Juta e Malva	15
2.2.2 Características das Fibras	16
2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS E DURABILIDADE DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1. MATÉRIAS-PRIMAS	19
3.2. DOSAGEM DAS MISTURAS	20
3.3 ENSAIO DE MINI-SLUMP	20
3.4 ENSAIO DE TERMOGRAVIMETRIA (TG/DTG)	21
3.5 PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS	22
3.6 ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO EM 4 PONTOS	24
3.7 ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 MINI-SLUMP	26
4.2 ENSAIO DE TERMOGRAVIMETRIA (TG/DTG)	26
4.3 ENSAIO DE FLEXÃO	28
4.4 ENSAIO DE DURABILIDADE	29
4.4.1. Comportamento carga x deflexão dos compósitos envelhecidos.	29
4.5 ARTIGO CIENTÍFICO	32
5. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento na região amazônica necessita de investimentos econômicos e ecologicamente viáveis em atividades construtivas, já que na Amazônia, um dos maiores desafios é criar um plano de desenvolvimento econômico que equilibre a preservação da floresta com o crescimento da região.

A aplicação de fibras naturais de origem vegetal para reforço estrutural é um estudo que vem sendo aplicado na Construção Civil, que pode proporcionar benefícios tanto estruturais quanto ambientais como: melhores propriedades físicas e mecânicas, redução na emissão de poluente e gases estufa, menor dependência de fontes de energia e materiais não renováveis, biodegradabilidade, entre outros. Essas fibras podem ser produzidas a partir de diferentes tipos de vegetais, como o sisal, juta, algodão, malva, cânhamo, kenaf e linho (WEI, 2015).

Conforme os estudos de AGOPYAN e SAVASTANO JUNIOR (2007), a incorporação de fibras nas matrizes pode aperfeiçoar as suas propriedades mecânicas, como a resistência à tração, à flexão e ao impacto. Além disso, modifica seu comportamento após fissuração, diminuindo os efeitos de uma ruptura brusca da matriz cimentícia. As fibras vegetais são materiais renováveis recentemente utilizados em matrizes cimentícias. Materiais alternativos e orgânicos que inibem agressões ao meio ambiente são estudados como forma de obter reforço na matriz cimentícia, gerando uma alternativa viável para a diminuição do consumo de materiais não renováveis (SANTOS & LOPES, 2022).

A fibra natural lignocelulósica de juta vem sendo extensivamente investigada em várias pesquisas, como compósitos poliméricos reforçados por juta (WAMBUA *et al.*, 2007). Os compósitos reforçados com este tipo de fibra residual podem substituir produtos de madeira, trazendo várias vantagens, e ainda podem ser utilizados em materiais de construção e peças de automóveis (ZAH *et al.*, 2007). As fibras extraídas da malva também apresentam grande potencial de utilização na construção civil. Segundo SAVASTANO (2000) matriz argamassa de cimento reforçados com fibras de malva apresentaram desempenho em propriedades mecânicas superiores as argamassas de cimento sem a incorporação de fibras.

No estudo a ser realizado serão utilizadas as fibras vegetais de juta e malva como reforço e será verificado seu desempenho no comportamento mecânico de compósitos cimentícios. Com o objetivo de apresentar avanços tecnológicos relevantes para a construção

civil, este artigo desenvolve uma metodologia de reforço com fibras vegetais em compósitos cimentícios.

1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica através da contribuição com conteúdo científico ao campo de pesquisas de materiais compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais. Os resultados e discussões realizados neste trabalho podem ser referência na aplicação de recursos renováveis nas construções, além do aprofundamento do tema acerca do comportamento mecânico destes compósitos.

Considerando a urgência de desenvolver alternativas ao uso do cimento Portland, esta pesquisa também contribuirá com resultados relacionados à afetividade da adição da metacaulitina na substituição parcial em massa do material aglomerante.

Por fim, o uso alternativo das fibras vegetais é de extrema importância, pois é um material com grande potencial de apresentar avanços tecnológicos na construção civil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar análise comparativa de compósitos cimentícios reforçados com fibras naturais vegetais da Amazônia (juta e malva) para aplicações estruturais.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Produzir placas cimentícias de argamassa reforçada com fibras naturais vegetais de juta e malva;
- b) Avaliar mecanicamente compósitos com diferentes matrizes cimentícias;
- c) Comparar os desempenhos mecânicos observados em compósitos com diferentes fibras vegetais de reforço;
- d) Verificar a durabilidade desses compósitos quando submetidos ao envelhecimento acelerado a partir de ensaios mecânicos de flexão em quatro pontos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

De acordo com os estudos de MOREIRA (2009) os materiais compósitos podem ser definidos como misturas (ao nível macroscópico) não solúveis de dois ou mais constituintes com distintas composições, estruturas e propriedades que se unem e em que um dos materiais assegura a ligação (matriz) e o outro a resistência (reforço).

Ainda segundo MOREIRA (2009), a combinação dos materiais vai depender da aplicação que se pretende do material compósito e fatores como: rigidez, resistência, aspecto, entre outros.

2.1.1 Matriz de cimento Portland

O cimento Portland é o material mais empregado na construção civil, sendo de fácil utilização e com boas características mecânicas e de durabilidade. Ele é produzido a partir da moagem de clínquer com uma pequena quantidade de gipsita, para impedir a pega instantânea. Suas características fizeram dele um dos materiais de construção mais utilizados no mundo. Como a utilização de materiais cimentícios abrange quase todos os tipos de obras, desde construções simples até grandes obras de engenharia, o desenvolvimento de materiais mais eficientes tem impacto econômico, social e ambiental em todos os níveis da sociedade (BATISTON, 2012).

Grande parte do aperfeiçoamento das características mecânicas dos cimentos e compósitos cimentícios alcançados nas últimas décadas vieram da redução da porosidade capilar e melhorias no empilhamento das partículas (PELLENQ e DAMME, 2004).

Atualmente existem oito tipos de cimento: Cimento Portland Comum (CP-I), Cimento Portland Composto (CP-II), Cimento Portland de Alto-Forno (CP-III), Cimento Portland Pozolânico (CP-IV), Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP-V ARI), Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS), Cimento Branco (Portland Branco), Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC).

O cimento Portland utilizado na pesquisa foi o CP-IV. Seu uso foi devido o material pozolânico do CP IV, material silicoso ou sílico-aluminoso que reage com compostos vulneráveis do cimento, formar componentes muito mais estáveis e resistente. Além de trazer

outros benefícios como: diminui a segregação, diminui o calor de hidratação, resistência a ataques químicos, entre outros (SILVA, 2021).

2.1.2 Hidratação do cimento Portland e o uso da metacaulinita

De acordo com HOTZA *et al.* (2005), quando o cimento Portland é misturado com água da origem a uma série de reações químicas, denominada de hidratação. A quantidade de água na mistura é um importante fator a ser considerado, pois este pode interferir no aparecimento das fases hidratadas, alterando o tempo de pega e o início do endurecimento.

HOTZA *et al.* (2005) afirma que o hidróxido de cálcio, é um dos principais produtos da hidratação do cimento Portland, a sua presença é devido à cal livre e reações de hidratação dos silicatos. É considerada o principal responsável pela elevada alcalinidade na matriz cimentícia, o que contribui pouco para a resistência da pasta de cimento endurecida, e por ser solúvel em água contribui para a elevação da permeabilidade do compósito.

A metacaulinita foi utilizada para consumir o hidróxido de cálcio, pois a adição da mesma em substituição parcial do cimento Portland (substituição em massa de 50%) produz mais produtos hidratados devido a reação pozolânica (CABRERA; LYNSDALE, 1996). Além disso, ela também altera as propriedades da matriz para reduzir o teor de CH livre e melhorar a durabilidade das argamassas reforçadas com as fibras vegetais de juta e malva.

2.1.3 Superplastificante

Conforme os estudos de SANTOS (2014), por volta dos anos 60 e 70 do século passado, novas matérias-primas passaram a ser utilizadas como aditivos plastificantes, e com o aumento da dosagem tornavam-se superplastificantes. Os chamados superplastificantes de segunda geração tinham como base naftalenos sulfonados e as melaminas sulfonadas, onde as matérias-primas proviam de rejeitos de processos industriais, como a indústria da celulose e a indústria petroquímica.

SANTOS (2014) afirma que entre os séculos XX e XXI surgiu então uma matéria-prima não proveniente de resíduos industriais e, sim produzida com o objetivo de desempenhar um papel essencial no concreto, o poliéster carboxilato. Essa possibilidade permitia reduzir mais a quantidade de água do concreto, além de mudar seu comportamento reológico.

O uso do superplastificante foi empregado em razão da necessidade de uma matriz cimentícia com característica autoadensável, isto é, com adensamento sendo possível através do efeito da gravitacional e também para melhorar a fluidez para que a matriz entre no interior das fibras e assim promova um melhor empacotamento do compósito. Pesquisadores como: SILVA *et al.* (2020) utilizou o superplastificante para estudar o seu efeito nas propriedades do concreto permeável; VÁZQUEZ e PUERTAS (2001) estudou a hidratação inicial de um aditivo de cimento Portland com superplastificantes de diversas naturezas, onde, dependendo da dosagem do aditivo é possível saber o tempo em que ocorre a precipitação massiva dos produtos, bem como os tempos de pega; FERNÁNDEZ, MORALES e SOTO (2016) estudou a resistência de corpos de prova de concreto utilizando o aditivo superplastificante PSP NLS; MELO FILHO (2012), utilizou superplastificante na produção de matrizes cimentícias reforçadas com fibras de sisal, que garantiu boas características reológicas à matriz.

2.2 FIBRAS VEGETAIS

2.2.1 Fibras de Juta e Malva

Conforme os estudos apresentados por NETO *et al.* (2007), as fibras naturais de juta (*Corchorus capsularis*) são diferenciadas pelo seu potencial de aplicação. Existem várias espécies de juta, sendo a *C. capsularis* cultivada na Amazônia, devido a sua maior resistência à ação do calor, à seca e às enchentes da água dos rios, é a mais indicada. É uma fibra de alta resistência que quando adicionada a polímeros, pode dar origem a produtos com menor densidade, podendo apresentar grandes aplicações.

De acordo com LIBONATI (1980), a primeira tentativa de aclimação da juta no Brasil ocorreu em 1920, quando o Sr. Antônio da Silva Neves remeteu da Índia para São Paulo várias toneladas de diferentes variedades, que foram semeadas às margens do Rio Paraná. No entanto, continuamos a importar toneladas de juta da Índia, pois essa experiência não surtiu o efeito desejado.

Em 1990, estimulados pela surpreendente semelhança existente entre as várzeas da Amazônia e as terras da bacia do Ganges, os colonos japoneses que trabalhavam no município de Parintins, Estado do Amazonas, tentaram cultivar juta, fazendo uso das sementes provenientes do Japão e de São Paulo. Embora a juta seja uma planta exótica, com processos

de produção totalmente desconhecidos, teve rápida expansão pelos ribeirinhos, absorvendo a tecnologia desenvolvida pelos japoneses (HOMMA, 2016).

Conforme os estudos de MARTINS NETO (2010) a juta e malva produzem fibras têxteis análogas, tradicionalmente usadas na fabricação de vestuário, barbantes, fundo de tapetes, telas para artesanatos, sobretudo, na confecção de sacaria para acondicionamento de produtos agrícolas, inclusive das commodities, como o café, o açúcar, a castanha-de-caju e o cacau. As fibras de juta e malva fazem parte das plantas dicotiledôneas. Os feixes de fibras são unidos entre si e mantidos no lugar pelo tecido celular do floema e pelas substâncias gomosas e graxas (OLIVEIRA, 2013).

A malva é cultivada no estado do Amazonas desde 1971 em solos de várzea de alta fertilidade, atingindo o dobro da produção de juta em 1978 e triplicando a produção em 1988, antes de começar a declinar (ADA - Agência de Desenvolvimento da Amazônia, 2005). Devido sua boa adaptação à inundação, suas baixas exigências nutricionais e sua maior resistência ao armazenamento, a malva ganhava o espaço da juta.

No estado do Amazonas, seu cultivo se dá mais precisamente nas calhas dos rios Amazonas e Solimões, especificamente nos municípios de Anamá, Anori, Beruri, Caapiranga, Coari, Codajás, Iranduba, Itacoatiara, Manacapuru e Parintins (SOUZA, 2012).

2.2.2 Características das Fibras

Segundo ZIMMERMAN, PÖHLER e GEIGER (2004), apesar das fibras vegetais terem diferentes origens e serem influenciadas pelas regiões de cultivo, suas características intrínsecas, estruturas morfológicas e composição química e física são bastante semelhantes entre si. Elas consistem principalmente de celulose, lignina e hemicelulose, que compõem camadas distintas da fibra, e outros componentes em menor quantidade, como pectina, óleos essenciais e ceras.

Essas fibras lignocelulósicas podem ser vistas como compostos de fibrilas de celulose unidas por uma matriz composta de lignina e celulose, que funcionam como uma barreira natural contra a degradação por ataques microbianos e como proteção mecânica. Suas características estruturais estão ligadas à natureza da celulose e à sua cristalinidade (JAYARAMAN, 2003).

A fibra vegetal de juta possui boa resistência mecânica à tração, além de baixa densidade (SILVA, 2014). A malva origina uma fibra de maior resistência que a produzida pela juta, porém menos sedosa e brilhante (MARGEM, 2013).

A Tabela 1, a seguir mostra as propriedades mecânicas das fibras de malva e juta. As propriedades destacadas são: o módulo de resistência à tração (σ_t), o módulo de elasticidade (E), deformação à ruptura (ϵ_t) e a massa específica (P).

Tabela 1. Propriedades Mecânicas das Fibras de Malva e Juta

Tipo de Fibra	σ_t (MPa)	E (GPa)	ϵ_t (%)	P (g/cm ³)
Malva	160	17,40	5,20	1,41
Juta	320-500	12,00-100	1,30-2,80	1,50

Fonte: Adaptado de Satyanarayana, et al 2007

2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS E DURABILIDADE DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS

Os compósitos cimentícios são materiais de grande resistência mecânica que têm em sua composição materiais cimentícios suplementares com a finalidade de diminuir o impacto ambiental provocado pela produção do cimento Portland (SOARES *et al.*, 2019). As fibras, em geral, possuem capacidade de transferência de tensões por meio de inter travamento de agregados, evitando as fissuras e proporcionando à matriz um ganho de resistência e tenacidade (LIMA, 2020). Os estudos de fibras vegetais como reforço em matrizes cimentícias começaram na Inglaterra por volta de 1970 (SAVASTANO JR., AGOPYAN, 1998). No Brasil, a pesquisa inovadora foi realizada pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (Ceped), Camaçari, Bahia, com início em 1980 (GUIMARÃES, 1987).

A aplicação de fibras vegetais, como sisal e coco, para reforçar matrizes frágeis à base de cimento é uma técnica que foi amplamente empregada na década de 70, na fabricação de placas planas e corrugadas para elementos de cobertura em países em desenvolvimento (COUTTS, 1988). No início dos anos 80, a utilização de fibras vegetais como reforço de compósitos a base de cimento foi bruscamente interrompida depois que alguns elementos construtivos apresentaram perda de resistência após poucos meses de aplicação (LIMA *et al.*, 2013). Após a análise dos mecanismos de deterioração da fibra vegetal em meio alcalino (GRAM, 1983) e a proposição de soluções para assegurar compósitos duráveis (TOLEDO FILHO *et al.*, 2003; LIMA e TOLEDO FILHO, 2008), que coincidiram com a preocupação

mundial com a sustentabilidade, o emprego deste tipo de fibra como reforço de compósitos à base de cimento voltou a despertar interesse científico.

O estudo sobre a obtenção de reforços em matrizes cimentícias a partir da utilização de fibras vegetais desperta o interesse de pesquisadores. Exemplos de alguns trabalhos são: MELO FILHO (2012), que utilizou fibras de sisal para o estudo da durabilidade química e térmica dos compósitos, CORREIA (2011), utilizou polpa de bambu com cimento CPV, que com a adição da fibra obteve resultados de maior resistência à ruptura, menor porosidade dos compósitos e absorção de água.

Em relação à degradação, ela pode acontecer tanto na matriz quanto no reforço, ou nos dois ao mesmo tempo nos compósitos cimentícios. Várias variáveis são responsáveis por determinar esse efeito em matrizes feitas de cimento, como a habilidade de resistir a condições externas (temperatura, radiação solar, poluição, presença de microrganismos, cargas, ataques de sulfato ou cloreto) e danos internos (compatibilidade entre as fibras e a matriz feita de cimento, mudanças volumétricas, etc.), entre outros fatores. (PACHECO-TORGAL; JALALI, 2011).

De acordo com GRAM, (1983), a principal razão para a deterioração das fibras vegetais em uma matriz cimentícia é a hidrólise alcalina. Essa reação química causa a fragmentação das cadeias moleculares e diminuição da polimerização da celulose. A presença de água alcalina nos poros da matriz cimentícia dissolverá a lignina e a hemicelulose, resultando na quebra das ligações entre as fibrocélulas.

A avaliação da durabilidade pode ser realizada por meio de testes de envelhecimento natural e acelerado. Nos testes de envelhecimento natural, o compósito é exposto a condições similares ao ambiente real do material, porém, não há controle da intensidade dos fatores, já que o clima é altamente variável (CALDAS e SILVA; SAVASTANO JR.; JOHN, 2009). Já o envelhecimento acelerado busca simular o comportamento do material ao longo de sua vida útil por meio de ciclos de umedecimento e secagem (RODRIGUES, 2007; MÁRMOL; SAVASTANO JR., 2017). No presente trabalho o comportamento de durabilidade de compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais foi estudado através de diferentes tipos de ensaios de ciclagens (molhagem e secagem) e avaliado, através de ensaios de flexão, pois é de execução mais simples e por apresentar uma melhor visualização dos benefícios que as fibras proporcionam aos compósitos (MELO FILHO, 2012).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATÉRIAS-PRIMAS

A Metacaulinita foi adquirida da empresa Metacaulim do Brasil, na cidade de Jundiaí – SP e o superplastificante MASTERGLENIUM 51 adquirido da empresa Basf em São Paulo – SP. O cimento utilizado foi o Cimento CP-IV ou Cimento Portland Pozolânico da marca MIZU, a areia utilizada foi a areia passante na peneira de número 600 mm e a água provenientes da cidade de Manaus- AM. Já as fibras de juta (Figura 1) e malva (Figura 2) foram fornecidas por comunidades ribeirinhas produtoras da cidade de Manacapuru – AM (Figura 3).

Figura 1. Fibras de Juta



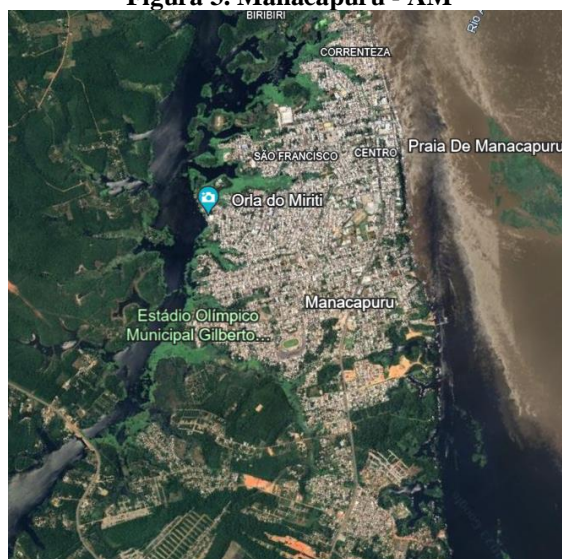
Fonte: Biswas, 2020

Figura 2. Fibras de Malva



Fonte: Gomes, 2020

Figura 3. Manacapuru - AM



Fonte: Google Earth, 2023

3.2. DOSAGEM DAS MISTURAS

Os testes de dosagem foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos-LEM da UFAM. Foram produzidos três tipos de compósitos (ver Tabela 2), o compósito MCPJ, onde o material cimentício foi constituído de 100% de cimento Portland, O compósito MKJ, onde o material cimentício teve o cimento Portland substituído por 50% de Metacaulinita e o compósito MKM, que também teve 50% de substituição e fibras de malva como reforço. O teor de substituição parcial do cimento e a dosagem da matriz se deram a partir dos trabalhos de MELO FILHO (2012), já que o mesmo conseguiu resultados satisfatórios em sua pesquisa, o qual pode ser citado, a diminuição da quantidade de Hidróxido de Cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) da matriz e o aumento da durabilidade das fibras.

Tabela 2. Legenda dos compósitos cimentícios produzidos	
MCPJ	Matriz de cimento Portland 100% +Juta
MKJ	Matriz de metacaulinita 50% + Juta
MKM	Matriz de metacaulinita 50% + Malva

Fonte: Autora (2023)

Uma proporção água/cimento (p/c) de 0,45 e uma proporção ligante/areia de 1:1 foram usadas para todas as misturas cimentícias. O teor de umidade e a capacidade de absorção de água das fibras de juta e malva foram considerados na determinação da relação água/sólido. Todos os materiais e máquinas utilizados nos ensaios foram fornecidos pela UFAM.

3.3 ENSAIO DE MINI-SLUMP

O ensaio de mini-slump foi realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos-LEM da UFAM. Ele foi realizado para avaliar a consistência da matriz, esse processo foi desenvolvido por KANTRO (1980). O ensaio foi realizado na seguinte sequência: o molde tronco-cônico (Figura 4), de dimensões 113 milímetros do diâmetro da base inferior, 68 milímetros do diâmetro da base superior e 65 milímetros de altura, foi posicionado em cima de uma placa e a mistura despejada dentro do cone. Ao levantar o cone em direção vertical, a mistura se espalha sobre a placa. Após um minuto do espalhamento da argamassa foi medido o grau de espalhamento, para isso verifica-se a dimensão do diâmetro da mistura espalhada utilizando um paquímetro.

Figura 4. Molde tronco-cônico

Fonte: Autora (2023)

3.4 ENSAIO DE TERMOGRAVIMETRIA (TG/DTG)

O ensaio de termogravimetria foi realizado no Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos-LaMAC da UFAM. Esse ensaio é um dos principais ensaios térmicos e fornece como resultado a variação mássica em relação a variação de temperatura. Foram realizadas análises termogravimétricas utilizando um equipamento de termogravimetria modelo SDT Q600 V20.9 Build 20 da TA Instruments, que operou com taxa de aquecimento de 10 °C/min com temperatura ambiente até aproximadamente 1000 °C para as pastas, em atmosfera de nitrogênio e fluxo do registrador de 100 mL/min. O ensaio foi realizado utilizando cadinhos de Platina. As pastas foram armazenadas e mantidas em sacos plásticos selados (Figura 5), sem troca de CO₂ ou umidade com o ambiente, num laboratório com temperatura de 31±1 °C, até a idade de execução do ensaio. A idade de ensaio para as pastas foi de 28 dias; uma amostra de cada pasta foi submetida a análise termogravimétrica. Para a análise da preparação de cada amostra, foi feito o seguinte processo: retirada de cerca de 40 g da pasta; moagem manual em saco plástico; e retirada de aproximadamente 10 mg para todas as análises.

Figura 5. Pastas armazenadas

Fonte: Autora, 2023

3.5 PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS

A produção dos compósitos foi feita no Laboratório de Ensaios Mecânicos-LEM da UFAM. As argamassas foram produzidas em um misturador mecânico, como mostra a Figura 6. Para a utilização da areia na produção dos compósitos cimentícios é necessária a sua secagem para retirar a umidade e não alterar o fator água/cimento, para isso, a areia foi colocada em um recipiente e aquecida em 30 minutos, em intervalos de 10 minutos era feita a sua mistura para evitar que ela queimasse. Após a secagem, foi feito o processo de peneiração utilizando uma peneira de análise granulométrica de 600 milímetros de diâmetro. O processo de produção iniciava com adição da areia, do cimento e da metacaulinita (quando exigir). e em seguida a água junto com o SP era adicionada gradualmente a 70 rpm durante 1 min, seguido de 1 min de descanso e mais 3 min de mistura adicional a 130 rpm. A trabalhabilidade da argamassa foi ajustada utilizando o SP até o teor de 1,2% em massa de ligante. MASTERGLENIUM 51 é um tipo de policarboxilato aditivo superplastificante, que não afeta a resistência mecânica da mistura cimentícia nas primeiras idades de hidratação do cimento. Para cada mistura foi moldado uma placa de 200 mm x 400 mm x 10 mm (largura, comprimento e espessura), e a partir desta, seis placas foram cortadas com dimensões de 40 mm x 200 mm x 10 mm (Figura 7) com volume de 5 % de fibra de juta e malva para os ensaios de flexão em quatro pontos. O processo de moldagem iniciava após a mistura da matriz, e ocorria com a colocação na forma de uma camada de argamassa de cerca 2 mm de espessura (Figura 8), cada camada de argamassa passava por um processo de emassamento (Figura 9) para uniformizar a placa. Em seguida foi colocada uma camada de fibras longas alinhadas unidirecionais (Figura 10). A camada de fibra foi penteada e cortada em 38 centímetros, em seguida foram costuradas como mostra as Figuras 11 e 12. A segunda camada de argamassa de 2 a 3 mm de espessura foi colocada, e uma segunda camada de fibra foi distribuída alinhada, seguida da terceira camada de argamassa para preencher a forma. A placa moldada está demonstrada na Figura 13.

Figura 6. Misturador mecânico

Fonte: Autora (2023)

Figura 7. Placa cortada

Fonte: Autora (2023)

Figura 8. Colocação da camada de argamassa

Fonte: Autora (2023)

Figura 9. Emassamento

Fonte: Autora (2023)

Figura 10. Colocação da camada de fibra

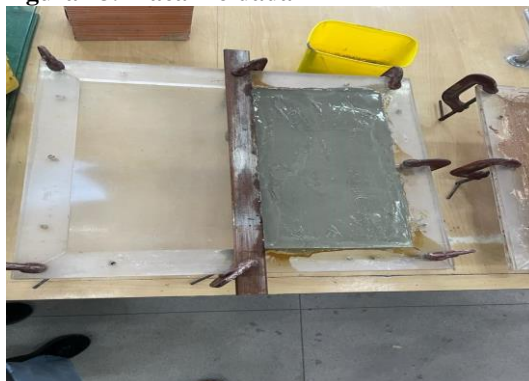
Fonte: Autora (2023)

Figura 11. Fibra de Malva costurada

Fonte: Autora (2023)

Figura 12. Fibra de Juta costurada

Fonte: Autora (2023)

Figura 13. Placa moldada

Fonte: Autora (2023)

3.6 ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO EM 4 PONTOS

O ensaio foi feito no Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos-LaMAC da UFAM. As propriedades de flexão aos 28 dias do compósito reforçado com fibras de juta e malva foram determinadas e serviram como referência. Os ensaios de flexão em 4 pontos foram realizados em uma máquina de ensaios universal Filizola AME-2KN a uma velocidade de 0,5 mm/min, padronizada para todos os ensaios. Três corpos de prova com vão de 180 mm foram ensaiados para cada mistura, os pontos de carga distavam 60 mm. Em seguida, o efeito de reforço da fibra de juta e malva foi investigado determinando a resistência à primeira fissura (σ_f), resistência máxima (σ_m) e deflexão máxima (D_m). Estes foram determinados da seguinte forma: De acordo com ASTM C1018, a primeira carga de fissura F_f é definida como “o ponto na curva carga-deflexão no qual a forma da curva primeiro se torna não linear”. Assim, a resistência à primeira fissura é dada pela Eq. (1): $\sigma_f = F_f \cdot L / b \cdot h^2$, onde L é o vão inferior do corpo de prova (180 mm), e b e h são a largura e a espessura do corpo de prova, respectivamente. σ_m : Determinado a partir da carga máxima ($F_{m\acute{a}x}$) do ensaio de flexão após a formação da primeira-fissura usando a Eq. (1). D_m : A deflexão máxima é definida durante a aplicação da carga, ela ocorre no centro do corpo-de-prova.

3.7 ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO

A avaliação da durabilidade dos compósitos foi realizada por ensaios mecânicos após as amostras serem submetidas a ensaios de envelhecimento acelerado, realizado na residência da graduanda, mediante a exposição natural na cidade de Manaus (Figura 14), que possui um clima tropical. O ensaio de envelhecimento acelerado foi realizado nas misturas MCPJ, MKJ

e MKM. As amostras foram submetidas a 20 ciclos de molhagem e secagem, onde em cada ciclo, as placas ficavam 1 dia submerso em água seguido por 1 dia de secagem ao sol na temperatura ambiente média de 30 ± 1 °C. Ao final dos ciclos de molhagem e secagem, as amostras foram submetidas ao ensaio de flexão em 4 pontos.

Foi utilizado um equipamento para microscopia com fissurômetro, (Figura 15) para fazer o registro das fissuras nas placas após os ensaios.

Figura 14. Placas durante o ensaio de envelhecimento acelerado



Fonte: Autora, 2023

Figura 15. Microscópio com Fissuromêtro



Fonte: Autora, 2023

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MINI-SLUMP

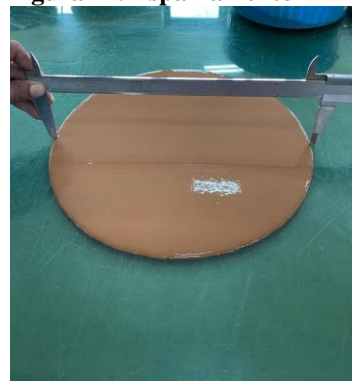
No ensaio de mini-slump os resultados obtidos para a matriz de cimento Portland - MCP (Figura 16) foi de 29,4 centímetros e para a matriz de 50% de metacaulinita – MK (Figura 17) foi um espalhamento de 31,5 centímetros. A partir da avaliação visual das misturas, observou-se também, que a matriz não apresentou segregação ou exsudação, indicando que o teor de superplastificante não estava prejudicando ou alterando de forma negativa a fluidez da matriz.

Figura 16. Espalhamento MCP



Fonte: Autora (2023)

Figura 17. Espalhamento MK



Fonte: Autora (2023)

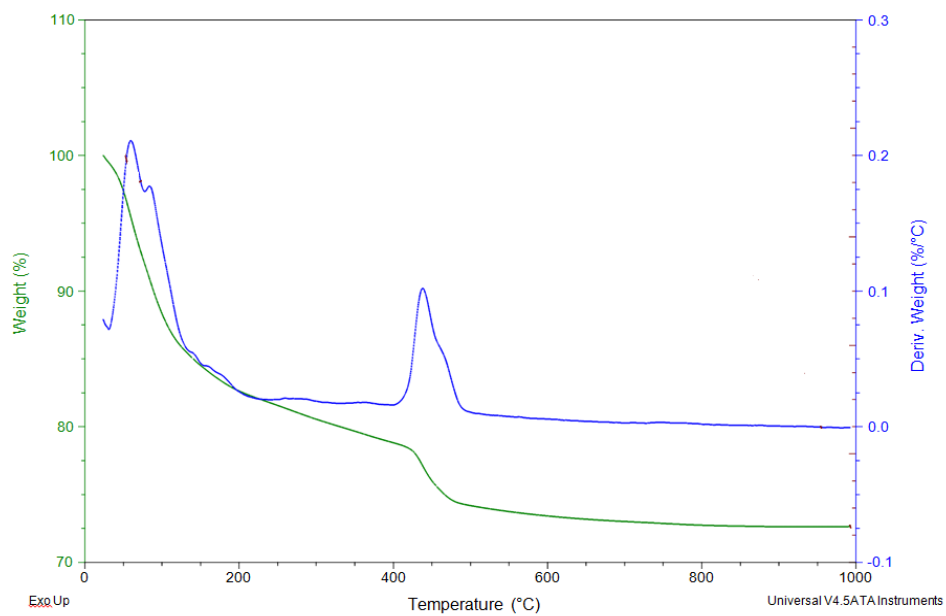
4.2 ENSAIO DE TERMOGRAVIMETRIA (TG/DTG)

Nas Figuras 18 (A) e (B) estão apresentadas curvas termogravimétrica (TG e DTG) da mistura de cimento e metacaulinita.

De acordo com estudos de DENARI e CAVALHEIRO (2012), as propriedades físicas medidas e técnicas relacionadas em Análise Termogravimétrica da Termogravimetria (linha verde do gráfico) é de decomposição e desidratação, enquanto que a da Termogravimetria Derivada (linha azul do gráfico) é de oxidação. A curva DTG apresentou dois eventos térmicos bem definidos, o primeiro pico para o cimento entre 30 °C a 60 °C, para a metacaulinita entre 25 °C a 50 °C refere-se à desidratação da amostra em virtude da evaporação da umidade, da água livre, o segundo pico atribuído à presença de hidróxido de cálcio para o cimento entre 400 °C a 550 °C, na amostra de metacaulinita o hidróxido de cálcio foi decomposto, por isso não apresenta o segundo pico, o tamanho do pico é um indicativo da quantidade de hidroxilas originalmente presente na estrutura (MEDEIROS; MORAIS, 2020).

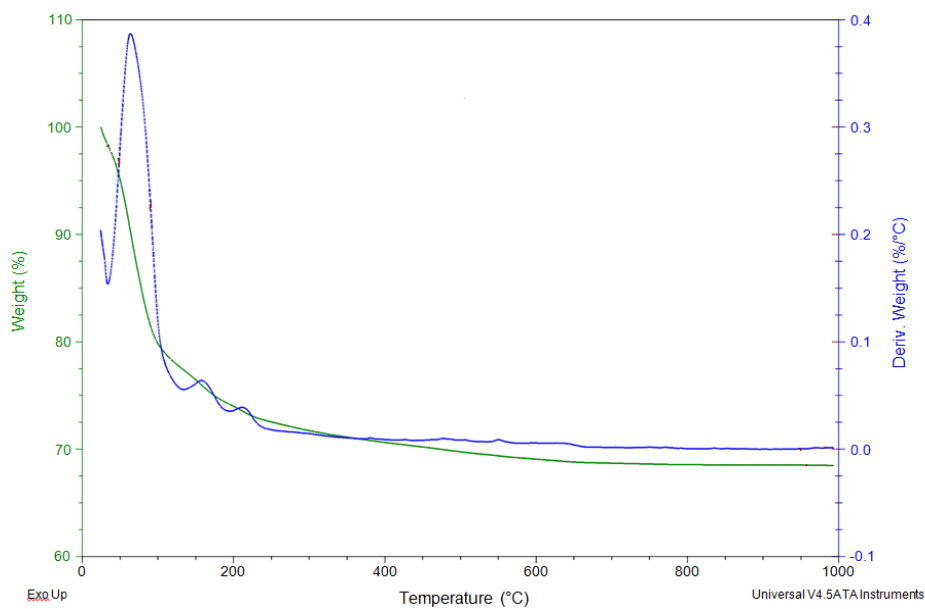
Figura 18. (A) Curvas termogravimétricas - Cimento, (B) Curvas termogravimétricas – Metacaulinita

(A)



Fonte: Autora (2023)

(B)

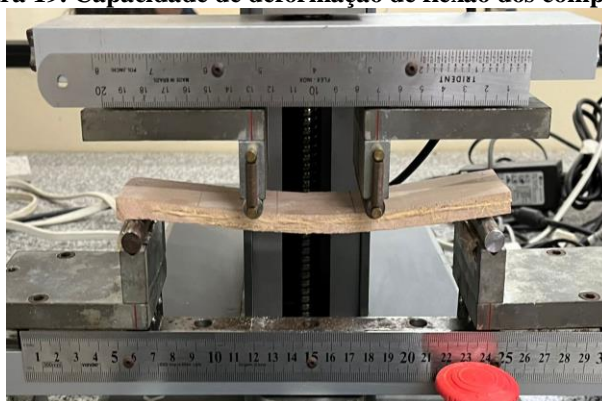


Fonte: Autora (2023)

4.3 ENSAIO DE FLEXÃO

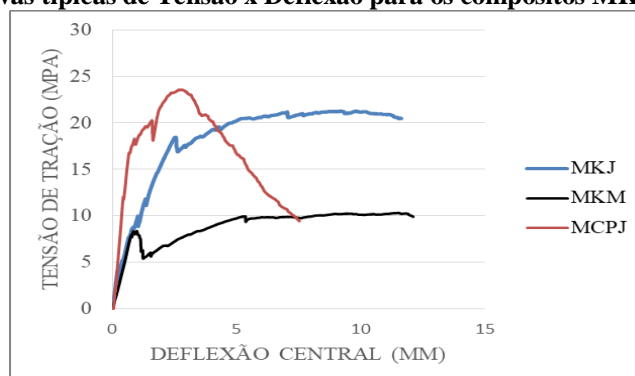
O ensaio de flexão foi realizado numa máquina universal de ensaio de flexão em 4 pontos, conforme a Figura 19. Para o comportamento mecânico sob tração na flexão, foram obtidas as seguintes curvas típicas tensão x deflexão que estão representadas na Figura 20, para os compósitos MKJ, MKM e MCPJ.

Figura 19. Capacidade de deformação de flexão dos compósitos



Fonte: Autora (2023)

Figura 20. Curvas típicas de Tensão x Deflexão para os compósitos MKJ, MKM e MCPJ



Fonte: Autora (2023)

Os valores médios das propriedades obtidas em cada região estudada com seus respectivos coeficientes de variação estão apresentados na Tabela 3.

De uma forma geral, percebe-se que todos os compósitos apresentaram um comportamento de endurecimento na flexão, caracterizado pelo aumento da tensão após o surgimento da primeira fissura. Comparando-se os três compósitos, nota-se que não existe diferença significativa nos valores de tensão de primeira fissura. Observa-se que durante o processo de formação de fissuras, a mistura com MCPJ apresentou maior variação de carga quando da formação de novas fissuras, o que induz a formação de um maior número de fissuras no processo de múltipla fissuração.

Tabela 3. Resultados médios e coeficientes de variação das propriedades mecânicas para os compósitos MKJ, MKM e MCPJ

Compósitos	Resistência à Primeira Fissura (σ_f) CV%	Resistência Máxima (σ_m) CV%	Deflexão Máxima (Dm) CV%
MKJ	8,14	24,57	9,93
	9,31	14,25	36,06
MKM	6,62	9,56	7,13
	28,84	5,77	0,5
MCPJ	10,10	25,75	3,42
	23,89	12,36	24,23

Fonte: Autora (2023)

Comparando-se as três misturas, a resistência à primeira fissura apresentou uma pequena diferença, porém devido ao alto coeficiente de variação essa diferença é desprezada. Em relação a resistência máxima as misturas com juta apresentaram valores maiores, isso pode ser decorrente de que os compósitos reforçados fibra de juta, que proporcionou uma maior resistência da matriz, do que comparada com o compósito reforçado com fibra de malva. Percebe-se que a misturas com MKJ apresentou uma deflexão máxima na faixa de 9,93 mm enquanto que as misturas com MKM apresentou uma deflexão máxima de 7,13 mm e a mistura com MCPJ apresentou uma deflexão máxima de 3,42 mm. As misturas com 50% de metacaulinita apresentaram maior deflexão máxima, isso pode ser decorrente do alto teor de metacaulinita, que proporcionou uma diminuição da deflexão da matriz.

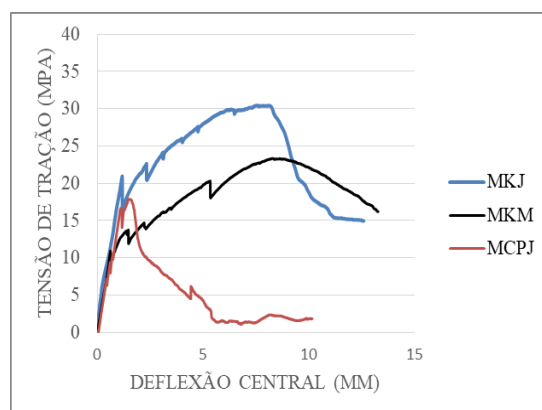
Observou-se que todos os corpos de prova apresentaram várias fissuras na região inferior dos corpos de prova. Esse comportamento corrobora com os resultados mecânicos que mostraram curvas com quedas de cargas indicando a ocorrência de fissuras.

4.4 ENSAIO DE DURABILIDADE

4.4.1. Comportamento carga x deflexão dos compósitos envelhecidos.

Para o comportamento mecânico sob tração na flexão, foram obtidas as seguintes curvas para os ensaios de flexão após 28 dias de envelhecimento, que estão representadas na Figura 21, para os compósitos MKJ, MKM e MCPJ.

Figura 21. Curvas típicas Tensão x Deflexão central para os compósitos MKJ, MKM e MCPJ envelhecidos



Fonte: Autora (2023)

Fazendo a análise entre as curvas típicas de tensão para o ensaio de flexão em 4 pontos e as curvas do ensaio de envelhecimento acelerado, pode-se perceber que a curva para o compósito MCPJ ocorreu uma diminuição significativa da variação de tensão de tração, já para as matrizes MKJ e MKM o pico de tensão aumentou.

Os valores médios das propriedades obtidas em cada região estudada com seus respectivos coeficientes de variação estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Propriedades mecânicas para os compósitos MKJ, MKM e MCPJ submetidos ao envelhecimento acelerado por 28 dias

Compósitos	Resistência à Primeira Fissura (σ_f) CV%	Resistência Máxima (σ_m) CV%	Deflexão Máxima (Dm) CV%
MKJ	12,06	22,84	4,79
	95,79	46,6	93,59
MKM	5,38	19,75	7,31
	130,12	24,85	15,86
MCPJ	15,59	26,345	1,66
	87,63	45,98	3,85

Fonte: Autora (2023)

Analisando-se o gráfico percebe-se que as quedas representam as camadas que resistem à flexão, sendo primeira a camada matriz, depois fibra, matriz e novamente a fibra. Nas curvas carga x deflexão, observa-se que os valores médios de σ_f apresentaram um leve aumento com o tempo de envelhecimento. A resistência máxima para os compósitos com MK apresentaram aumento com o envelhecimento, enquanto que o compósito OCP apresentou decréscimo, comportamento associado à reação pozolânica que contribui com a resistência ao longo do tempo, essa reação é devido ao hidróxido de cálcio que afeta as fibras e a água

encaminha o hidróxido para as mesmas, a metacaulinita corrobora para o consumo total do hidróxido de cálcio. A deflexão de primeira fissura apresentou decréscimos para os compósitos envelhecidos. O comportamento observado pode estar associado tanto ao processo de hidratação do cimento quanto da reação pozolânica ao longo do tempo.

A diferença percentual entre a variação de valores entre os ensaios de flexão em 4 pontos e o ensaio de durabilidade está apresentado na Tabela 5. Os valores com sinal positivo “+” indicam o aumento percentual, já os valores com sinal negativo “-” indicam a diminuição.

Tabela 5. Diferença percentual entre os resultados de Ensaio de Tração em 4 pontos x Ensaio de Durabilidade

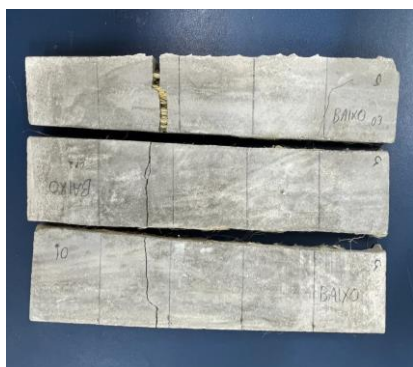
Compósitos	Resistência à Primeira Fissura (σ_f)	Resistência Máxima (σ_m)	Deflexão Máxima (Dm)
MKJ	+ 48,16%	- 7,04%	- 51,76%
MKM	- 18,73%	+ 106,59%	+ 2,52%
MCPJ	+ 55,74	+ 2,31%	- 51,46%

Fonte: Autora (2023)

O modo de fratura após os ensaios de flexão para os compósitos MCPJ, MKM e MKJ, respectivamente, estão apresentados nas Figuras 22 (A), (B) e (C). Observou-se que todos os corpos de prova apresentaram várias fissuras na região inferior dos corpos de prova, o que corrobora com os resultados mecânicos que mostraram curvas com quedas de cargas indicando a ocorrência de fissuras.

Figura 22. (A) Modo de fratura dos compósitos de MCPJ, (B) Modo de fratura dos compósitos de MKM, (C) Modo de fratura dos compósitos de MKJ

(A)



Fonte: Autora (2023)

(B)



Fonte: Autora (2023)

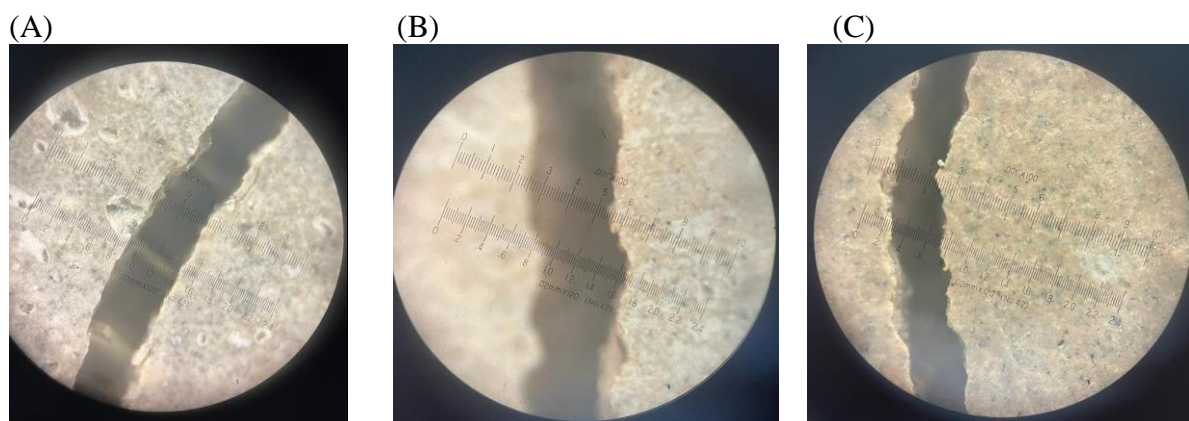
(C)



Fonte: Autora (2023)

Nas Figuras 23 (A), (B) e (C) estão apresentadas imagens de microscopia da abertura de fissuras para os compósitos MCPJ, MKM e MKJ respectivamente. Observa-se que, o compósito de MCPJ apresentou abertura de fissuras na ordem de 2 mm após os ensaios, o compósito de MKM apresentou fissura de 3 mm e o compósito de MKJ de cerca de 1 mm. Essas fissuras podem indicar que os compósitos não podem ser submetidos a grandes cargas em sua vida útil, visto que, essas fissuras podem ser vulneráveis a ataques químicos.

Figura 23. (A) Abertura entre fissuras dos compósitos de MCPJ, (B) Abertura entre fissuras dos compósitos de MKM, (C) Abertura entre fissuras dos compósitos de MKJ



Fonte: Autora (2023)

Fonte: Autora (2023)

Fonte: Autora (2023)

4.5 ARTIGO CIENTÍFICO

Outro resultado a ser mencionado decorrente desta pesquisa foi a realização de um artigo científico apresentado no congresso de engenharia da 78ª Semana Oficial da Engenharia e da Agronomia, em Gramado – Rio Grande do Sul. O tema do artigo foi “Caracterização Mecânica de Flexão em Argamassas Reforçadas com Fibras Naturais Vegetais Amazônicas”. O referido artigo está no Anexo I ao final do trabalho.

5. CONCLUSÃO

Os compósitos reforçados com fibras de juta e malva desenvolvidos no presente artigo apresentaram múltiplas fissuras com um comportamento de endurecimento de tensão durante o ensaio de flexão. A falha dos compósitos na flexão, com matriz de OPC, ocorreu após uma deflexão central com valores menores do que os compósitos com matriz de MK. Após o estágio de fissuração, os compósitos apresentaram uma manutenção da tensão devido à localização e a abertura de umas das fissuras existentes. Os compósitos com fibras de juta apresentaram maiores valores de resistência máxima e deflexão máxima.

No ensaio de durabilidade após 20 ciclos de molhagem conclui-se que os compósitos com metacaulinita apresentaram uma maior durabilidade por consumir totalmente o hidróxido de cálcio, dessa forma, não degradando as fibras com o decorrer do tempo, os compósitos com fibras de juta apresentaram maiores valores de resistência máxima. Os compósitos com metacaulinita tiveram um maior número fissuras, o que pode estar associado às fibras não terem sido afetadas pelo hidróxido de cálcio, o compósito com fibra de malva apresentou uma abertura média de fissura maior do que os compósitos com fibra de malva.

Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram uma alta potencialidade do uso das fibras de juta e malva como reforço de compósitos cimentícios para aplicações estruturais e semiestruturais.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V; SAVASTANO JUNIOR, H. **Fibras vegetais como materiais de construção**. In: ISAIA, G. C. (editor) Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: Ibracon, 2007. 2v. 1721 p.

BATISTON, E. **Incorporação de Nanotubos de Carbono em Matriz de Cimento Portland**. UFSC, 2012. Tese de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BEER, F.P.; JOHNSTON Jr., E.R.; DEWOLF, J.T.; MAZUREK, D.F. **Mecânica dos Materiais**. Ed.7. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2015.

BISWAS, A. A fibra de juta é conhecida como fibra dourada. Freepik, 2020. Disponível em: <https://br.freepik.com/fotos-premium/a-fibra-de-juta-e-conhecida-como-a-fibra-dourada-e-fibra-vegetal-natural-marrom-amarelada_32838096.htm>. Acesso em 25 de outubro de 2023.

CABRERA, J. G.; LYNSDALE, C. J. **The effect of superplasticisers on the hydration of normal Portland cement**. L'Industria Italiana del Cimento, v. 7-8, p. 532-541, 1996.

CALDAS e SILVA, A.; SAVASTANO JR., H.; JOHN, V.M. **Envelhecimento de compósitos à base de escória de alto-forno reforçados com polpa celulósica residual de eucalipto**. Ambiente Construído, [s.l.], v. 9, n. 1, p.25-44, mar. 2009.

CALLISTER JR., W.D. **Materials Science and Engineering - An Introduction**. Ed.7, John Wiley & Sons, Inc., 2007.

CONFEA. **Conselho Federal de Engenharia e Agronomia**. Civil. Disponível em: <https://www.confex.org.br/eventos/contecc/contecc-2023/civil>. Acesso em: 13 de outubro de 2023.

COUTTS, R.S.P. (1988) **Wood fibre reinforced cement composites. In: Natural fibre reinforced cement and concrete**, V.5, Anais... Edited by R.N. Swamy, Blackie and Son Ltd, London, pp.1-62.

DENARI G., CAVALHEIRO É. **Princípios e Aplicações de Análise Térmica**. USP, 2012.

FERNÁNDEZ, A.; MORALES, J.; SOTO, F. **Evaluation of the development of the Compressive Strength of Concrete applying the Admixture superplasticizer PSP NLS, for age older than 28 days**. Revista Ingeniería UC, Vol. 23, No. 2, 2016.

FIGUEIREDO, A.D.; MONTE, R.; BITENCOURT JR., L.A.G. **Capítulo – Concreto com Fibras. In: IBRACON. – Instituto Brasileiro do Concreto (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia**. 3ªed. São Paulo: Arte Interativa, 2022, v.2, p. 1523-1560.

GARCIA, A.; SPIM, J.A.; DOS SANTOS, C.A. **Ensaio dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

GOMES, W. Trabalho sobre a fibra “malva”. Winston Gomes, 2020. Disponível em: <<http://www.winstongomes.com.br/trabalho-sobre-a-fibra-malva/>>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

GRAM, H.E. (1983) **Durability of natural fibres in concrete, Swedish cement and concrete research institute**, Research Fo.1:83, Stockolm.

GUIMARÃES, S. S., **Fibra vegetal-cimento - Resultados de algumas experiências realizadas no THABA/CEPED**. In: Anais do I simpósio internacional sobre produção e transferência de tecnologia em habitação: da pesquisa à prática. HABITEC 87. São Paulo, 6-10, abr. p.103, 1987.

HOMMA, A. **A imigração japonesa na Amazônia**. Revista e Ampliada. Ed. 2. Brasília, 2016.

HOTZA *et al.*, D. **Hidratação do Cimento CP C ARI: Influência da Água nas Reações de Hidratação**. 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Pedro, 2005.

JAYARAMAN, K., **Composites.Sci. Techol.**(2003), 63, 367.

LIMA, Paulo Ricardo Lopes. **Concreto com fibras para elementos construtivos estruturais**. Congresso Brasileiro do Concreto - Ibracon, 62º - setembro, 2020.

LIMA *et al.*, P. **Mecanismo de fissuração sob tração direta de compósitos cimentícios reforçados com fibras curtas de sisal**. ENGEVISTA, V. 15, n. 1. p. 95-103, abril 2013.

LIMA, P.R.L.; Toledo Filho, R. D. (2008) **Uso de metacaulinita para incremento da durabilidade de compósitos à base de cimento reforçados com fibras de sisal**, Ambiente Construído, Vol.8, N.4, pp.7-19.

MARGEM, J. **Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva**. UENF, 2013. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Materiais).

MÁRMOL, G.; SAVASTANO JR., H. **Study of the degradation of non-conventional MgO-SiO₂ cement reinforced with lignocellulosic fibers**. Cement and Concrete Composites, [s.l.], v. 80, p.258-267, jul. 2017.

MARTINS NETO, S. F. **Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades mecânicas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Materiais e Processos de Fabricação) - Universidade Federal do Pará – UFPA.

MEDEIROS, J.; MORAIS, C. **Aplicação de técnicas termoanalíticas (TGA/DTA) para avaliação do comportamento térmico de amostras de argilas para obtenção de pozolanas.** Principia n°50, 2020.

MELO FILHO, J. **Durabilidade Química e Térmica e Comportamento Mecânico de Compósitos de Alto Desempenho Reforçados com Fibras de Sisal.** URFJ, 2012. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil).

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials.** Ed.4, Berkeley: McGraw-Hill Professional, 2013.

MOREIRA, A. **Materiais Compósitos.** ESTT, 2009.

NELSON, E.B.; GUILLOT, D. **Well Cementing.** Ed.2, Texas: Schlumberger. 2006.

OLIVEIRA, I. **Propriedades Mecânicas, Físicas e Químicas de Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibras Longas de Juta e de Malva.** UFAM, 2013. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil).

OUAJAI, S. and SHANKS, R. A. “**Composition, structure and thermal degradation of hemp cellulose after chemical treatments**” Polymer Degradation and Stability, Volume 89, Issue 2, pp. 327-335, August 2005.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. **Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review.** Construction and Building Materials, [s.l.], v. 25, n. 2, p.575-581, fev. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024>

PELLENQ, R.J.M.; DAMME, H.V. **Why does Concrete Set?: The Nature of Cohesion Forces in Hardened Cement-Based Materials.** Material Research Society Bulletin, p. 319-323. 2004.

RODRIGUES, L. **Efeitos do envelhecimento ambiental em compósitos poliméricos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SANTOS, G., LOPES, D. “**Compósito de Alto Desempenho Reforçado com Fibra Vegetal**” Revista Científica Integrada, Volume 5, Edição 3, p.2, 2022.

SANTOS, G. **História do Superplastificante.** Construchemical. Ano 3 - Nº 16, Set/Out 2014.

SATYANARAYANA, K. G. ; GUIMARÃES, J. L. ; WYPYCH, F. **Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. Composites: Part A**, v. 38, p. 1694-1709, 2007.

SAVASTANO, Jr. ; LUZ, P. H. C. ; NOLASCO, A. M. ; **Seleção de Resíduos de alguns tipos de fibras vegetal, para reforço de componentes de construção.** In: Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 1. Canela, nov Anais. Porto Alegre, Antac, 1997, P107-12.

SILVA *et al.*, A. **Propriedades mecânicas e permeabilidade de concretos permeáveis com aditivo superplastificante.** Revista eletrônica de Materiais e Processos s, v. 15, n. 2 (2020).

SILVA, G. **Conheça quais são os benefícios do cimento CP IV.** Santa Catarina, 2021.

SILVA, I. L. A. Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta. Tese de Doutorado em Ciência dos Materiais –Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2014.

SOARES, M.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; FREITAS, T.; FERREIRA, F.; SALVADOR FILHO, J. **Compósitos cimentícios de ultra alto desempenho com a incorporação de**

diversos teores de pó de vidro. 4º Simpósio paranaense de patologia das construções. ISSN 2526-7248 artigo n. 4SPPC116, pp. 136-146, 2019.

TOLEDO FILHO, R.D.; GHAVAMI, K.; ENGLAND, G.L.; SCRINEVER, K. (2003) Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. **Cement and Concrete Composites**, Vol.25, N.2, pp.185-196.

VÁZQUEZ, T; PUERTAS, F. **Hidratación inicial del cemento. Efecto de aditivos superplastificantes.** *Materiales de Construcción* 51(262): 53-61(2001)

WEI, J.; MEYER, C. **Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites.** Elsevier, Nova York, v.1, n. 1, p. 3, 2015.

WAMBUA, P., VANGRIMDE, B., LOMOV, S., VERPOEST, I. (2007) **The Response of Natural Fiber Composites to Ballistic Impact by Fragment Simulating Projectiles.** *Composite Structures*, v. 77, p. 232-240.

ZIMMERMANN, T.; PÖHLER, E.; GEIGER, T. Cellulose fibrils for polymer reinforcement., **Advanced Engineering Materials**.v. 6, n.9, p. 754–761, 2004.

ANEXO I – ARTIGO CIENTÍFICO



CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FLEXÃO DE ARGAMASSAS REFORÇADAS COM FIBRAS NATURAIS VEGETAIS AMAZONICAS

JÚLIA MARQUES ZUANY DE OLIVEIRA¹, JOÃO DE ALMEIDA MELO FILHO²

¹ Graduada em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, UFAM, Manaus-AM, jujuzuanym@gmail.com;

²PhD em Engenharia Civil, UFRJ, Engenheiro Civil, Manaus-AM, jalmeida26179@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
8 a 11 de agosto de 2023

RESUMO: O uso de fibras vegetais em compósitos cimentícios tem se tornado cada vez mais comum nos últimos anos, graças ao avanço das tecnologias e à demanda por materiais inovadores e sustentáveis. Na Amazônia esse recurso é amplamente encontrado e utilizado para diferentes aplicações, sendo de interesse do presente trabalho a avaliação do uso dessas fibras como reforço estrutural de placas cimentícias. Foram investigadas as propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais de juta (*Corchorus capsularis*) e malva (*Urera lobata* L.). O objetivo foi avaliar a qualidade e o desempenho dessas fibras para aplicações na Construção Civil. Foram realizados ensaios de espalhamento e flexão. Os resultados obtidos indicaram que as fibras proporcionaram um aumento na resistência a flexão dos compósitos, indicando serem adequadas para uso em reforço estrutural em materiais compósitos cimentícios.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras vegetais, Amazônia, Construção Civil, compósitos, flexão.

BENDING MECHANICAL CHARACTERIZATION OF MORTARS REINFORCED WITH NATURAL AMAZONIAN VEGETAL FIBERS

ABSTRACT: The use of plant fibers in cementitious composites has become increasingly common in recent years, thanks to the advancement of technologies and the demand for innovative and sustainable materials. In the Amazon this resource is widely found and used for different applications, being of interest of the present work the evaluation of the use of these fibers as structural reinforcement of cementitious plates. The mechanical properties of cementitious composites reinforced with plant fibers of jute (*Corchorus capsularis*) and mallow (*Urera lobata* L.) were investigated. The objective was to evaluate the quality and performance of these fibers for applications in Civil Construction. Spreading and bending tests were carried out. The results obtained indicated that the fibers provided an increase in the flexural strength of the composites, indicating that they are suitable for use in structural reinforcement in cementitious composite materials.

KEYWORDS: Vegetable fibers, Amazon, Civil Construction, composites, bending.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento na região amazônica necessita de investimentos econômicos e ecologicamente viáveis em atividades construtivas, já que na Amazônia, um dos maiores desafios é criar um plano de desenvolvimento econômico que equilibre a preservação da floresta com o crescimento da região.

A tecnologia avança com rapidez e o engenheiro deve se manter atualizado para poder beneficiar-se com as melhores e mais avançadas tecnologias, utilizando materiais de baixo custo e com os melhores benefícios estruturais. Os materiais podem ser simples ou compostos, obtidos da natureza ou da indústria. Sua evolução é tão rápida que o profissional que não deseja ficar desatualizado deve permanecer sempre atento aos novos conhecimentos e invenções, de modo que é



Fonte: CONFEA, 2023

necessário que o estudo dessa matéria seja uma constante em toda a sua vida profissional (Oliveira et al., 2010).

A aplicação de fibras naturais de origem vegetal para reforço estrutural, é um estudo que vem sendo aplicado na Construção Civil, que pode proporcionar benefícios tanto estruturais quanto ambientais como: melhores propriedades físicas e mecânicas, redução na emissão de poluente e gases estufa, menor dependência de fontes de energia e materiais não renováveis, biodegradabilidade, entre outros. Essas fibras podem ser produzidas a partir de diferentes tipos de vegetais, como o sisal, juta, algodão, malva, cânhamo, kenaf e linho. (Wei, 2015)

Em meados do século XX, o uso de fibras surgiu como uma alternativa de reforço passivo complementar aos tradicionais (Rentur e Mindess, 2007) com a finalidade de inserir avanços dos compósitos cimentícios como material estrutural. O material componente da fibra define o módulo de elasticidade e resistência mecânica da mesma, sendo essas propriedades importantes para a capacidade de reforço que a fibra pode fornecer para o compósito.

A fibra natural lignocelulósica de juta vem sendo extensivamente investigada em várias pesquisas, como compósitos poliméricos reforçados por juta (Wambua et al, 2007). Os compósitos reforçados com este tipo de fibra residual podem substituir produtos de madeira, trazendo várias vantagens, e ainda podem ser utilizados em materiais de construção e peças de automóveis (Zah et al, 2007). As fibras extraídas da malva também apresentam grande potencial de utilização na construção civil. A malva origina uma fibra de maior resistência que a produzida pela juta, porém menos sedosa e brilhante. São plantadas juntas, em sistema de consórcio, sendo que a juta em várzea baixa e a malva em várzea alta, ambas em terras muito férteis (Sabbá, 1993).

No estudo a ser realizado serão utilizadas as fibras vegetais de juta e malva como reforço e será verificado seu desempenho no comportamento mecânico de compósitos cimentícios. Com o objetivo de apresentar avanços tecnológicos relevantes para a construção civil, este artigo desenvolve uma metodologia de reforço com fibras vegetais em compósitos cimentícios.

MATERIAL E MÉTODOS

A Metacaulinita foi adquirida da empresa Metaculim do Brasil, na cidade de Jundiá – SP e o superplastificante MASTERGLENUM 51 adquirido da empresa Basf em São Paulo - SP. O cimento utilizado foi o Cimento CP-IV ou Cimento Portland Pozolânico da marca MIZU, a areia utilizada foi a areia passante na peneira de número 600 mm e a água provenientes da cidade de Manaus- AM. Já as fibras de juta e malva foram fornecidas por comunidades ribeirinhas produtoras da cidade de Manacapuru – AM.

Foram produzidos três tipos de compósitos, o compósito OCP + Juta, onde o material cimentício foi constituído de 100% de cimento Portland, O compósito MK50 + Juta, onde o material cimentício teve o cimento Portland substituído por 50% de Metacaulinita e o compósito MK50 + Malva, que também teve 50% de substituição e fibras de malva como reforço. A substituição parcial do cimento se deu a partir dos trabalhos de Melo, 2012 com a finalidade de diminuir a alcalinidade da matriz e surmentar a durabilidade das fibras.

Através desses materiais estudados, foram realizados os seguintes ensaios estruturais: espalhamento e flexão, para a identificação das possíveis melhorias que essas fibras acarretam. Todas as máquinas utilizadas nos ensaios foram fornecidas pela UFAM.

O próximo passo foi a proporção de mistura e produção de compósitos. Foi feito então o ensaio de Flow Test, o ensaio de espalhamento (Flow test) é utilizado para medir a capacidade do concreto autoadensável fluir livremente sem segregar, permitindo, também, a observação visual de possível segregação. Foi padronizado primeiramente no Japão, para ser usado em concretos submersos (Tutikian, 2004). O flow test define o espalhamento da argamassa, ou seja, verifica sua fluidez. Ele é feito em uma forma de cone. O molde é posicionado em cima de uma placa e a mistura despejada dentro do cone. Ao levantar o cone em direção vertical, a mistura se espalha sobre a placa. Para medir o grau de espalhamento verifica-se a dimensão do diâmetro da mistura espalhada utilizando um paquímetro. Com o ensaio de Flow Test foi obtido as proporções das misturas. Uma proporção

água/cimento (p/c) de 0,45 e uma proporção ligante/areia de 1:1 foram usadas para todas as misturas de argamassa. O teor de umidade e a capacidade de absorção de água das fibras de juta e malva foram considerados na determinação da relação água/sólido.

As argamassas foram produzidas em um misturador mecânico. O processo iniciava com adição da areia, do cimento e da metaculinita (quando exigir) e em seguida a água junto com o SP era adicionada gradualmente a 70 rpm durante 1 min, seguido de 1 min de descanso e mais 3 min de mistura adicional a 130 rpm. A trabalhabilidade da argamassa foi ajustada utilizando o SP até o teor de 1,2% em massa de ligante. MASTERGLENITUM 51 é um tipo de poliacrilato aditivo superplastificante, que não afeta a resistência mecânica da mistura cimentícia nas primeiras idades de hidratação do cimento. Para cada mistura foi moldado uma placa de 200 mm x 400 mm x 10 mm (largura, comprimento e espessura), e a partir desta, seis placas foram cortadas com dimensões de 40 mm x 200 mm x 10 mm (Figura 1) com volume de 5 % de fibra de juta e malva para os ensaios de flexão em quatro pontos. O processo de moldagem iniciava após a mistura da matriz, e ocorria com a colocação na forma de uma camada de argamassa de cerca 2 mm de espessura, seguida por uma camada de fibras longas alinhadas unidirecionais. A camada de fibra foi costurada como mostra as Figuras 2 e 3. A segunda camada de argamassa de 2 a 3 mm de espessura foi colocada, e uma segunda camada de fibra foi distribuída alinhada, seguida da terceira camada de argamassa para preencher a forma.

Figura 1. Placa cortada para ensaios



Figura 2. Fibra de Malva costurada



Figura 3. Fibra de Juta costurada



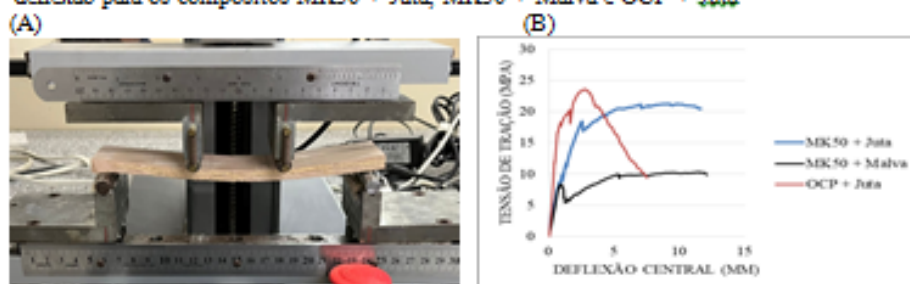
Os ensaios de flexão foram realizados para verificar o comportamento dos compósitos reforçados com fibras de juta e malva. As propriedades à flexão aos 28 dias da argamassa reforçada com fibras de juta e malva foram determinadas e serviram como referência. Testes de flexão de quatro pontos foram realizados em uma máquina de teste universal Eijizola AME-2KN. A velocidade de ensaio utilizada foi de 0,5 mm/min, padronizada para todos os ensaios para investigar o comportamento à flexão dos compósitos reforçado com fibras de juta e malva. Três corpos de prova com vão de 180 mm foram ensaiados para cada mistura, os pontos de carga distavam 60 mm. Em seguida, o efeito de reforço da fibra de juta e malva foi investigado determinando a resistência à primeira fissura (σ_f), resistência máxima (σ_m) e deflexão máxima (D_m). Estes foram determinados da seguinte forma: De acordo com ASTM C1018, a primeira carga de fissura F_f é definida como “o ponto na curva carga-deflexão no qual a forma da curva primeira se torna não linear”. Assim, a resistência à primeira fissura é dada pela Eq. (1): $\sigma_f = F_f \cdot L / b \cdot h^2$, onde L é o vão inferior do corpo de prova (180 mm), e b e h são a largura e a espessura do corpo de prova, respectivamente. σ_m : Determinado a partir da carga máxima (F_{max}) do ensaio de flexão após o primeiro evento de trinca usando a Eq. (1). D_m : A deflexão máxima é definida durante a aplicação da carga, ela ocorre no centro do corpo-de-prova.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ensaio de **Flow Test** os resultados obtidos para a dosagem com a matriz de 50% de **metacaulinita** apresentou um espalhamento de 31,5 centímetros e para a dosagem de argamassa pura foi de 29,4 centímetros. A partir da avaliação visual das misturas, observou-se também, que a matriz não apresentou segregação ou exsudação, indicando que o teor de SP não estava prejudicando ou alterando de forma negativa a fluidez da matriz.

Para o comportamento mecânico **sob tração** na flexão, foram obtidas as seguintes curvas típicas tensão x deflexão que estão representadas na Figura 4 (B), para os compósitos MK50 + Juta, MK50 + Malva e OCP + Juta.

Figura 4. (A) Capacidade de deformação de flexão dos compósitos, (B) Curvas típicas de tensão x deflexão para os compósitos MK50 + Juta, MK50 + Malva e OCP + Juta



Fonte: Autora (2023)

Fonte: Autora (2023)

Os valores médios das propriedades obtidas com seus respectivos coeficientes de variação estão apresentados na Tabela 1.

De uma forma geral, percebe-se que todos os compósitos apresentaram um comportamento de endurecimento na flexão, caracterizado pelo aumento da tensão após o surgimento da primeira fissura. Comparando-se os três compósitos, nota-se que não existe diferença significativa nos valores de tensão de primeira fissura. Observa-se que durante o processo de formação de fissuras, a mistura com OCP + Juta apresentou maior variação de carga quando da formação de novas fissuras, o que induz a formação de um maior número de fissuras no processo de múltipla fissuração.

Tabela 1. Resultados médios e coeficientes de variação das propriedades mecânicas para os compósitos MK50 + Juta, MK50 + Malva e OCP + Juta

Compósitos	Resistência à Primeira Fissura (σ _f)	Resistência Máxima (σ _m)	Deflexão Máxima (D _m)
	CV%	CV%	CV%
MK50 + Juta	8,14	24,57	9,93
	23,89	9,31	28,84
MK50 + Malva	6,62	9,56	7,13
	12,36	14,25	5,77
OCP + Juta	10,10	25,75	3,42
	24,23	36,06	0,50

Fonte: Autora (2023)

Comparando-se as três misturas, a resistência à primeira fissura apresentou uma pequena diferença, porém devido ao alto coeficiente de variação essa diferença é desprezada. Em relação a resistência máxima as misturas com juta apresentaram valores maiores, isso pode ser decorrente de que os compósitos reforçados fibra de juta, que proporcionou uma maior resistência da matriz, do que comparada com o compósito reforçado com fibra de malva. Percebe-se que a misturas com MK50 +

Juta apresentou uma deflexão máxima na faixa de 9,93 mm enquanto que as misturas com MK50 + Malva apresentou uma deflexão máxima de 7,13 mm e a mistura com OCP + Juta apresentou uma deflexão máxima de 3,42 mm. As misturas com 50% de metacaulinita apresentaram maior deflexão máxima, isso pode ser decorrente do alto teor de metacaulinita, que proporcionou uma diminuição da deflexão da matriz.

O modo de fratura após os ensaios de flexão para os três compósitos estão apresentados na Figura 5. Observou-se que todos os corpos de prova apresentaram várias fissuras na região inferior dos corpos de prova. Esse comportamento corrobora com os resultados mecânicos que mostraram curvas com quedas de cargas indicando a ocorrência de fissuras.

Figura 5. Ocorrência de fissuras na região inferior dos corpos de prova.



CONCLUSÃO

Os compósitos reforçados com fibras de juta e malva desenvolvidos no presente artigo apresentaram múltiplas fissuras com um comportamento de endurecimento de tensão durante o ensaio de flexão. A falha dos compósitos na flexão, com matriz de OPC, ocorreu após uma deflexão central de cerca de 4 mm, enquanto que os compósitos com matriz de MK apresentaram uma deflexão próximo a 10 mm. Após o estágio de fissuração, os compósitos apresentaram uma manutenção da tensão devido à localização e a abertura de umas das fissuras existentes. A resistência pós-fissura dos compósitos variou de cerca de 9 a 25 MPa, sendo que os compósitos com fibras de juta apresentaram maiores valores de resistência máxima e deflexão máxima. Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram uma alta potencialidade do uso das fibras de juta e malva como reforço de compósitos cimentícios para aplicações estruturais e semiestruturais.

REFERÊNCIAS

- Bentur, A.; Mindess, S. *Fibra reinforced cementitious composites*. Second Edition. United Kingdom. Taylor & Francis, 2007.
- Figueiredo, A. D.; Monte, R.; Bitencourt Jr., L. A. G. Capítulo – Concreto com Fibras. In: IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto (Org.). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 3ª ed. São Paulo: Arte Interativa, 2022, v.2, p. 1523-1560.
- Melo, J. *Durabilidade Química e Térmica e Comportamento Mecânico de Compósitos de Alto Desempenho Reforçados com Fibras de Sisal*. URFJ, 2012. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil).
- Oliveira et al. *Avaliação de custo e impermeabilização na argamassa para emboço e reboco produzidas a partir de cal, agrofilito e viscal*. Faculdade Multivix, 2016.
- Sabbá, J. *O Quadro de Crise do Sistema Juta/Malva e suas possíveis Alternativas de Seguimento*. Manaus: UFAM, 6, 14 p., 1993.
- Tutikian, B. F. *Método para dosagem de concretos auto-adensáveis*. UFRGS, 2004. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- Wei, J.; Meyer, C. *Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites*. Elsevier, Nova York, v.1, n. 1, p. 3, 2015.
- Wambua, P.; Vangrimde, B.; Lomov, S.; Verpoest, I. (2007) *The Response of Natural Fiber Composites to Ballistic Impact by Fragment Simulating Projectiles*. *Composite Structures*, v. 77, p. 232-240.