2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ESTUDO DO EFEITO DO EMPREGO DE FIBRAS DE CELULOSE PARA A DEFORMABILIDADE DE ARGAMASSAS[1]

REZENDE, Emanuela Carvalho Lobo (1); COSTA E SILVA, Angelo Just (2)

(1) Universidade Católica de Pernambuco, emanuelalobo@hotmail.com
(2) Universidade Católica de Pernambuco, angelo.silva@unicap.br

RESUMO

O emprego de fibras vegetais, e especificamente de fibras de celulose, em compósitos à base de cimento tem sido uma interessante alternativa sustentável para pesquisadores. Nas argamassas, essa interação matriz-fibra permite ainda potencializar certas propriedades inerentes ao material. Este artigo avalia o efeito da incorporação de fibras de celulose em argamassas, focando no comportamento mecânico e na deformabilidade das argamassas. Para os compósitos adotou-se dosagens experimentais de argamassa mista cimento e cal na proporção de 1:1:6 em peso, com adição de fibras a 5% e 10% da massa total do traço, e uma relação água/aglomerantes fixa de 0,60. No estado fresco realizou-se ensaios para medir a consistência e a densidade de massa, e no estado endurecido, ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão. Os resultados mostraram que o acréscimo da fibra resultou em redução das resistências à tração (21%) e à compressão (até 50%); porém, de forma antagônica, a adição de fibra proporcionou maior valor de tenacidade e de deformabilidade dos compósitos, comprovado na curva tensão versus deformação. Assim, mesmo suportando menor carga, o uso das fibras de celulose possibilita uma maior capacidade de suporte às deformações requeridas pelas argamassas, especialmente no estágio pós fissura, absorvendo maior energia antes de sua ruptura.

Palavras-chave: *Argamassa. Compósito. Fibra de celulose. Deformabilidade. Tenacidade.*

ABSTRACT

the use of vegetable fibers and particularly cellulose fibers in cementitious composites have been studied throughout the world and in mortars, such fiber-matrix interaction allows to enhance certain properties inherent to the material. This article assesses the effect of incorporating cellulose fibers into mortars, focusing on the mechanical behavior and deformability of mortars. For the composites, experimental dosages of mixed mortar cement and lime were adopted in the proportion of 1: 1: 6 by weight with addition of fiber at 5% and 10% of the total mix weight, and a water / agglomerates rate fixed at 0,60. In the fresh state, tests were carried out to measure the consistency and mass density, and in the hardened state, tests of resistance to compression and traction in flexion. The results showed that the addition of the fiber resulted in a reduction in tensile (21%) and compression strengths (up to 50%); however, in an antagonistic way, the addition of fiber provided a higher tenacity and deformability value of the composites, proven in the tension versus deformation curve. Thus, even supporting lower load bearing, the use of the cellulose fibers provides a greater bearing

[1] REZENDE, Emanuela Carvalho Lobo; COSTA E SILVA, Angelo Just. Estudo do efeito do emprego de fibras de celulose para a deformabilidade de argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

capacity to deformations required for the mortar, particularly in post crack stage, absorbing more energy before rupture.

***Keywords**: Mortar. Composite. Cellulose fiber. Deformability. Tenacity.*

1 INTRODUÇÃO

A questão ambiental e o conceito de sustentabilidade têm sido largamente discutidos no mundo e cada vez mais se tem buscado soluções que minimizem as agressões ao meio, seja reduzindo a exploração dos recursos naturais, seja reduzindo os resíduos e desperdícios nas cadeias produtivas. A construção civil, apesar de ser um ramo de atividade tecnológica considerado como vilão enquanto grande consumidor de recursos e gerador de resíduos, apresenta-se como setor de grande potencial de aproveitamento de resíduos sólidos em sua própria cadeia produtiva, especialmente na área dos materiais de construção.

Segundo defendem Lucas; Benetti (2008), a incorporação dos resíduos em matrizes cimentícias e também cerâmicas para produção de artefatos da construção, feita de maneira criteriosa, permite dar um destino ambientalmente correto para os resíduos que, de outra forma, seriam fontes de poluição.

O uso de fibras vegetais e de cimentos alternativos, ambos provenientes de resíduos, é tido como boa opção na busca por fibrocimentos alternativos (SILVA, 2002). Por ser um material natural e existir em abundância, o uso de fibras vegetais tem sido frequentemente motivado pelo fato deste ser um material renovável, biodegradável, pela sua disponibilidade a baixo custo, inclusive muitas vezes apresentados como resíduos.

A construção civil emprega matrizes frágeis: as pastas, argamassas e concretos. Estas matrizes, na sua maioria derivadas de aglomerantes minerais, rompem-se sem deformação plástica e, apesar de resistentes a esforços de compressão, não suportam grandes solicitações de tração e cargas dinâmicas. Para compensar esta deficiência, outros materiais – como o aço, são empregados como reforço aos materiais à base de cimento. O concreto armado é o exemplo clássico. (SILVA, 2002)

A adição de fibras em materiais rígidos faz com que parte da força atuante sobre o corpo seja transferida para ela [...]. Isso diminui o nível de tensão sobre as partes mais solicitadas do corpo, reduzindo o comprometimento ocasionado por eventuais defeitos microestruturais e elevando a resistência mecânica (PERET *et al*, 2003).

Muitos pesquisadores defendem o uso de fibras em argamassas por beneficiar o comportamento pós-fissuração do compósito (SILVA; BARROS, 2007). As fibras então, funcionando como ponte de transferência de tensões, contribuem no aumento da capacidade resistente, aumento da capacidade de deformação e da tenacidade do compósito, conferindo à argamassa uma fratura quase dúctil.

Assim, a utilização da fibra de celulose em compósitos de base cimentícia agrega os benefícios das propriedades de reforço (já que trata-se de uma matriz frágil que recebe um reforço de fibra orgânica de baixo módulo de elasticidade) às questões de reutilização na forma de resíduo (reduzindo os rejeitos lançados no ambiente), favorecendo uma prática sustentável na construção civil.

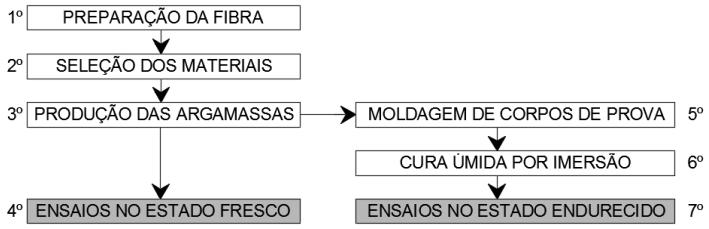
Este artigo se concentra no emprego das fibras de celulose, provenientes dos resíduos de papel branco como alternativa para incorporação às argamassas, com objetivo geral de avaliar a potencialidade técnica do emprego desse tipo de fibra na composição de argamassas alternativas, através de um estudo experimental

realizado em laboratório.

2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O projeto experimental foi desenvolvido seguindo sete etapas (preparação da fibra, seleção dos materiais, produção das argamassas, ensaios no estado fresco, moldagem de corpos de prova, cura úmida por imersão durante sete dias e ensaios no estado endurecido), conforme fluxograma ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das etapas do projeto experimental

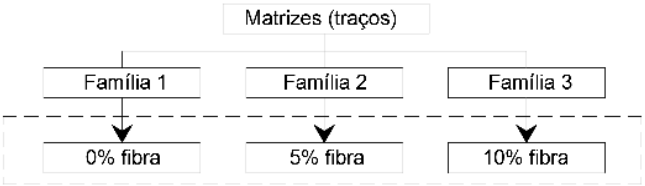


Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

Avaliaram-se as propriedades de consistência e densidade da argamassa no seu estado fresco e posteriormente, no seu estado endurecido, verificou-se o comportamento mecânico e a tenacidade a partir das amostras produzidas em laboratório.

O estudo da influência da adição de fibras de celulose foi avaliado a partir de variações na composição da matriz em relação ao teor de fibras incorporado em três diferentes traços, no caso 5% e 10% de adição em relação ao volume total de sólidos, além de um traço de referência sem adição de fibra (0%), conforme ilustrado na Figura 2 e detalhado na Tabela 1. O percentual de fibra foi incluído no traço T.U.P.

Figura 2 - Variações na composição da matriz (argamassa experimental)



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

Tabela 1 - Plano de dosagem experimental

Família	Traço T.U.P. (c:c:a:f)	Matriz	Teor de fibras (%) 0	5	10	agua/agl	Traço em Massa (quantidades em g)
F1	1:1:6:0	1:3	x			0,60	312 : 312 : 1872 : 375:0
F2	1:1:6:0,4	1:3		x		0,60	312 : 312 : 1872 : 375 : 125
F3	1:1:6:0,8	1:3			x		312 : 312 : 1872 : 375 : 250

Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

Para a dosagem experimental, o traço unitário em peso para as três famílias foi 1:1:6, cimento, cal, areia, e o traço aglomerante x agregado, chamado Matriz, foi 1:3. A água adicionada foi de 375 ml, o que corresponde a uma relação água/aglomerantes constante de 0,60, não sendo corrigida essa relação com a inclusão da fibra úmida.

Para cada traço foram moldados dois corpos de prova nas dimensões de 50 mm de diâmetro x 100 mm de comprimento, conforme NBR 7215 (ABNT, 1997) e três corpos de prova de formato prismático nas dimensões de 40 mm de espessura x 40 mm de altura x 160 mm de comprimento, conforme NBR 13279 (ABNT, 2005).

Para preparação da fibra, o resíduo de papel branco foi inicialmente cortado em tiras e submerso em água por 12 horas para saturação. Posteriormente foi picotado manualmente e triturado com água na proporção de 100g de papel para 750 ml de água, em liquidificador doméstico Philips, modelo RI2101 a uma frequência de 50/60 HZ, equivalente a 3.000 a 3.600 rpm e potência de motor de 550W, durante 10 minutos. Foi retirado o excesso de água através do uso de uma peneira simples, espremendo a fibra para deixá-la apenas úmida. O processo foi totalmente mecânico (corte, saturação e trituração), não sendo adicionado nenhum produto químico para o processamento da fibra, conforme registro na Figura 3 e Figura 4.

Figura 3 – Processamento da fibra (corte, saturação, trituração)



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

Antes do início do preparo das argamassas, os materiais cimento, cal, areia e fibra foram separados e pesados, conforme traços das famílias estudadas.

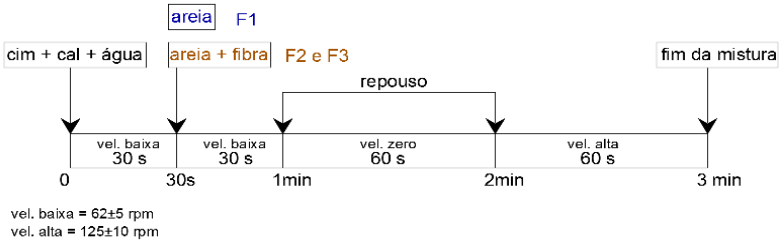
Figura 4 – Vista superior da centrifugação e preparação da polpa.



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

Foi utilizado um misturador mecânico de argamassa, com capacidade aproximada de 5L, com velocidades de 62±5 rpm (baixa) a 125±10 rpm (alta). O processo de produção da argamassa experimental seguiu uma mesma ordem de colocação dos materiais e tempo de mistura para os três traços utilizados, de forma a manter uma padronização da técnica e evitar possíveis fatores externos intermediários no resultado dos ensaios, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Etapas de produção das argamassas



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

3 ENSAIOS REALIZADOS

Finalizada a mistura, foi realizado o ensaio para determinação do índice de consistência – *flow table* conforme NBR 13276 (ABNT, 2005) e moldados cinco corpos de prova de cada família, sendo 2 cilíndricos e 3 prismáticos (ver Figura 6).

Figura 6 – Realização de ensaio de consistência e moldagem de corpos de prova



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

Ainda no estado fresco foi pesado o corpo de prova cilíndrico vazio e preenchido com a argamassa adensada, com a finalidade de determinar a densidade de massa de cada família de traço da matriz estudada. A cura inicial foi feita no laboratório em temperatura ambiente por 48h e após a desforma, foram identificados e submersos em água até 12h antes dos ensaios de caracterização mecânica.

O ensaio de resistência à tração na flexão a três pontos, foi realizado de acordo com as recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005), com os corpos de prova prismáticos, sendo utilizada uma máquina universal de ensaios Emic, modelo DL60000, com célula de carga Trd 28 de 500 Kgf (~5000 N), para aplicação de carga pontual e centrada sobre o corpo de prova até a ruptura (Figura 7).

Figura 7 – Ensaio de resistência à tração na flexão nos corpos de prova prismáticos



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

Para o ensaio de resistência à compressão axial, foram utilizadas metade dos corpos de prova prismáticos, ou seja, amostras de 40x40x80 mm, atendendo às recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005), e também os corpos de prova cilíndricos, conforme recomendações da NBR 7215 (ABNT, 1996) (ver Figura 8).

Figura 8 – Ensaio de resistência à compressão axial - corpos de prova prismáticos e cilindricos



Fonte REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

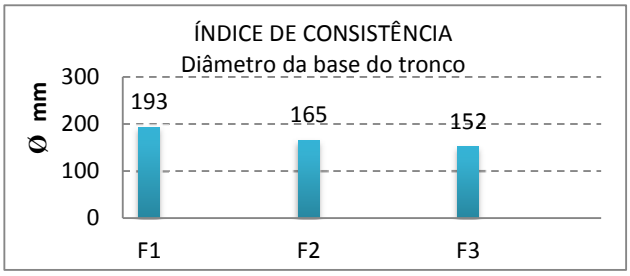
Os corpos de prova cilíndricos receberam nas faces de topo e base um capeamento de 2 mm a quente composto de 90% enxofre e 10% metacaulim, para reduzir o atrito entre o corpo de prova e os pratos da prensa, ou desvios do eixo do corpo de prova em relação à direção de aplicação da carga imposta, o que causaria excentricidade pelo carregamento não uniforme aplicado, influenciando negativamente na resistência final avaliada.

Foi utilizada a mesma prensa citada no ensaio à flexão, porém com outro dispositivo de apoio e célula de carga Trd 24 de 10tf (~100KN), com incremento de força de 500±50 N/s até a ruptura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

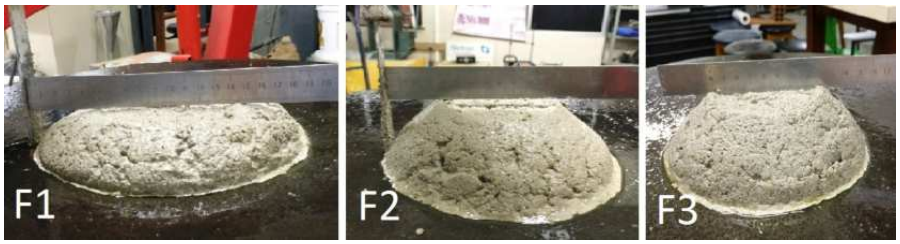
Para o estado fresco, avaliou-se a consistência da mistura e a densidade de massa, que influenciam diretamente a trabalhabilidade da argamassa. Quanto à consistência, observou-se que quanto maior o teor de fibra adicionado à mistura, a argamassa tendeu a ficar mais firme, ou seja, de plástica a seca, conforme gráfico indicado na Figura 10 e abatimento dos traços apresentado na Figura 11.

Figura 10 - Gráfico comparativo: Índice consistência dos traços do experimento



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

Figura 11 - Abatimento do corpo de prova tronco cônico por família



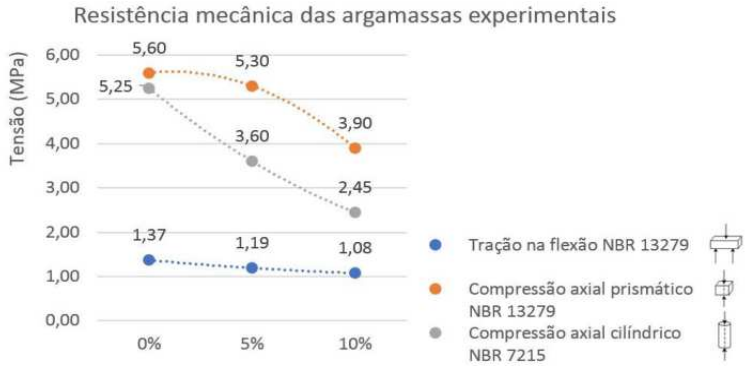
Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

Em relação à densidade de massa, obteve-se resultados dentro da classificação de densidade normal, porém com a adição de fibra a argamassa tende a ficar leve, função da baixa densidade aparente do papel, incorporado à mistura.

No estado endurecido os ensaios de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão permitiram avaliar o comportamento da argamassa quanto à capacidade de resistência mecânica e quanto à deformação e tenacidade.

Por meio da Figura 12 é possível verificar queda de resistências mecânicas entre a argamassa de referência (F1:0% de fibra) e as celulósicas (F2: 5% e F3:10%), com tendência de redução conforme aumento do teor de fibra incorporado à matriz.

Figura 12 - Gráfico dos resultados médios de resistência mecânica



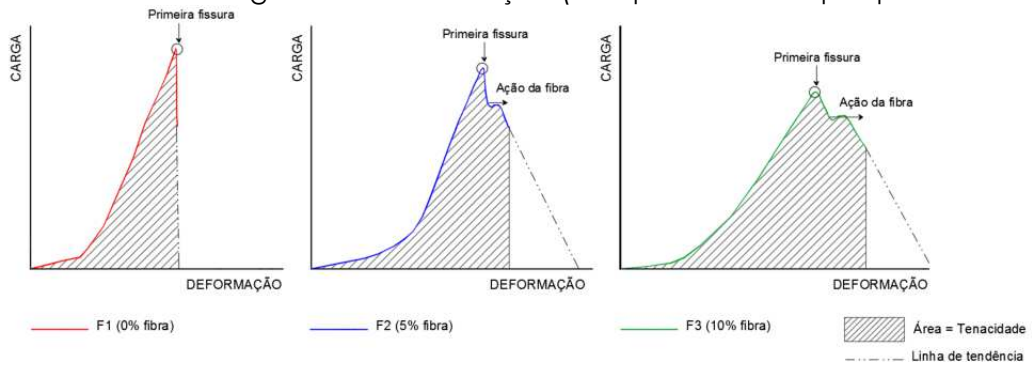
Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

A hipótese para essa redução está associada à quantidade de água da mistura, uma vez que a fibra adicionada estava úmida, carregando mais água à matriz. Com o aumento de água incorporada à mistura, uma vez que a relação água/aglomerantes não foi corrigida, a argamassa tendeu a ficar mais porosa, afetando diretamente sua resistência mecânica.

Outra hipótese diz respeito ao teor de ar incorporado pela adição da fibra, ou a baixa resistência a esforços de compressão da própria fibra, ou ainda à incompatibilidade da fibra em meio alcalino, porém estas variáveis não foram alvo de estudo nesse projeto. Conclui-se essencialmente que a redução da resistência ocorre em função do aumento do teor de água da mistura, bem como pela presença da própria fibra.

No entanto, no ensaio à flexão foi possível verificar que a adição da fibra de celulose permitiu uma mudança no comportamento pós-fissurado, conforme Figura 13.

Figura 13 - Gráfico carga *versus* deformação (comportamento após primeira fissura)



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2015)

Submetida à carga máxima, a argamassa de referência apresentou ruptura brusca (típico de fratura frágil), enquanto nas argamassas com adição de fibras, o compósito continua a deformar, após a primeira fissura, até atingir a ruptura/colapso. Assim, as fibras adicionadas permitem uma sobrevida à argamassa, mesmo apresentando a primeira fissura a uma carga máxima menor.

A área sob a curva tensão *versus* deformação representa a tenacidade do material que é a energia mecânica suportada/absorvida até o ponto de fratura. No compósito matriz-fibra, as tensões são transferidas para as fibras e elas postergam a fratura deformando. Assim, mesmo suportando menor carga máxima, a argamassa

alcança maior deformação e tenacidade, se distanciando de um material de fratura frágil em razão da interação matriz-fibra.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados desse projeto experimental, pode-se concluir que a adição de fibras de celulose apresenta potencial para uso em argamassas à medida que favorece determinadas propriedades, senão qualidades, como a capacidade de absorver deformações. Observou-se que apesar da presença das fibras de celulose reduzir as resistências à compressão e à tração, elas proporcionaram melhores resultados no estado pós fissura, promovendo mais deformação e melhorando significativamente a tenacidade.

Com isso, constata-se que as fibras permitem postergar a sobrevida das argamassas, pois após atingir a resistência máxima da matriz, a fibra começa a atuar provocando uma deformação e tenacidade diretamente proporcionais ao teor de fibra incorporado. Assim, tal incorporação à matriz cimentícia permite fratura menos frágil.

Nesse trabalho não foi avaliada a durabilidade da matriz com a adição da fibra de celulose. Embora outros estudos comentem que a fibra de celulose não se comporta satisfatoriamente no meio alcalino, pois a tendência em longo prazo seria de a fibra se desintegrar, os resultados desse estudo experimental indicam um potencial de uso para a adição dessas fibras nos compósitos cimentícios em razão da deformabilidade e tenacidade proporcionadas.

Assim, conclui-se como positivo o efeito da adição de fibras de celulose nas argamassas, provenientes de resíduo de papel branco, como uma alternativa de inovação técnica quanto aos aspectos de deformabilidade e tenacidade de argamassas, além de permitir destino sustentável e uso a esse tipo de resíduo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215**. Cimento Portland – Determinação de resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13276**. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279**. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e compressão. Rio de Janeiro, 2005.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.1, n.3, p. 405-418, set./dez. 2008. Disponível em: <http://periodicos.unicesumar.edu.br/index. php/rama/article/view/850/663>. Acesso em 15 de outubro de 2015.

PERET, C. M.; SALOMÃO, R.; ZAMBON, A. M.; PANDOLFELLI, V. C. **Reforço mecânico por fibras poliméricas e seus efeitos na secagem de concretos refratários**. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. Cerâmica 49, p. 257-261, São Carlos, 2003.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

SILVA, R. da P.; BARROS M. M. S. B. de. **Argamassa com adição de fibras de polipropileno; estudo do comportamento reológico e mecânico**. Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: EPUSP, 2007.