

O USO DE FIBRAS DE CELULOSE PROVENIENTES DO PAPEL IMPRENSA EM COMPÓSITOS PARA PRODUÇÃO DE COMPONENTES HABITACIONAIS

CÉLIA MARIA MARTINS NEVES

Engenheira Civil, mestrandona Engenharia Ambiental Urbana,
pesquisadora do CEPED- Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
Km 0 da BA 512 42800-000 Camaçari – BA cneves@ceped.br

RESUMO

Comenta o processo de produção do papel, inventado no início do século II, cuja concepção básica permanece até os dias atuais. Cita as matérias-primas utilizadas durante a evolução do processo de produção.

No contexto urbano, apresenta a forma de obtenção do papel para reciclagem, ressaltando a taxa média de sua recuperação, e comenta o processo de fabricação do papel reciclado, inclusive suas restrições.

Na construção civil, confirma o uso de materiais reforçados com fibras, citando a industrialização do cimento-amianto desde o início do século e os estudos realizados no Brasil para aproveitamento de fibras vegetais a partir da década de 80.

Como resultado, avança no desenvolvimento para utilização do compósito constituído de fibras de celulose, provenientes do papel reciclado, e matrizes de cimento e areia, denominado argamassa celulósica e destinado à produção de painéis para vedação do edifício. Apresenta as propriedades físicas, mecânicas e as relativas à permeabilidade de misturas preparadas com matrizes de proporções 1:1, 1:1,5 e 1:2 e teor de fibras variando de 3 a 18% em relação à massa do cimento. Conclui, apresentando as características principais do compósito e comentando os estudos que estão sendo realizados.

ABSTRACT

The basic of paper production technology, first developed in the 2nd century, is discussed as it remains essentially unaltered since this time. The changes undergone by the raw materials used in the produced process are mentioned.

It is described how paper to be recycled must be obtained, the recovery rate of used paper in urban areas and the production methods of recycled paper.

In civil construction it is shown the importance of using fibres for reinforcing structural parts , components and others concrete products since its inset, from the asbestos in the beginning of the 20th century, to the plant fibre studies made in the eighties

As a result of technological research, there has been progress in the utilization of cellulose fibre composite obtained from recycled paper and matrices of sand-cement for the making of panels to use in building construction. It shows the physical and mechanical as related to impermeability properties by using mixtures in the 1:1, 1:1,5 and 1:2 proportions along with 3% to 18% fibres as measured against the amount of cement used. In conclusion, the chief characteristics of composite that produced are showed and the studies that are being realized are commented.

1 – O PAPEL

O papel é um material feltrudo, constituído pelo emaranhado de fibras de celulose. A feltragem é obtida vertendo a massa pastosa composta de fibras e água sobre uma tela fina; a água escoa através da tela, enquanto as fibras aí se depositam de forma emaranhada. Após prensagem e secagem, o emaranhando constitui o papel.

As pastas podem ser obtidas por simples dispersão mecânica da celulose em água ou através de processos químicos que resultam na eliminação, por via química, dos constituintes diferentes da celulose contidos na matéria-prima. As pastas ainda podem ser branqueadas pela ação do cloro ou hipoclorito.

Para a fabricação do papel imprensa, é necessário adicionar à pasta mecânica cerca de 20% de pasta química de modo que o papel ganhe resistência adequada à sua passagem pelos procedimentos de formação e secagem e 2% de cargas, geralmente caulim ou carbonato de cálcio, cola de breu e sulfato de alumínio (Meyer e Olmer,1949; D'Almeida,1981).

A concepção básica do processo original para fabricação do papel, inventado no início do século II, permanece até os dias atuais. As inovações recaem em projetos de cubas, prensas, equipamentos de macerar, cavaletes, secadores, etc. (Dalva,[s.d.]; Meyer e Olmer,1949).

Os materiais utilizados para a fabricação do papel variaram muito desde sua invenção: inicialmente vegetais arbustivos como matéria-prima do papiro, depois usaram-se o linho, a palha de gramíneas, fibras de algodão e trapos. Só há pouco mais de um século é que a madeira foi adotada como matéria-prima definitiva (Dalva,[s.d.]; Meyer e Olmer,1949).

O Brasil foi um dos primeiros países do mundo a usar o eucalipto para produção de celulose e é o maior produtor mundial do papel de fibra curta. Enquanto na Escandinávia ou na Canadá, o eucalipto precisa de 35 anos para ser abatido, no Brasil não precisa mais do que 7 anos.

2 – O REUSO DO PAPEL

No Brasil, desde 1934, existem fábricas de reciclagem de papel. No início, existia preconceito em relação à reciclagem, cujos empresários, distantes dos movimentos ecológicos de hoje, eram considerados lixeiros. A preocupação mundial com o meio ambiente e a busca do desenvolvimento sustentável impulsionaram, nos últimos anos, o setor de reciclagem. Atualmente, mais de 60% do volume total de papel ondulado consumido no Brasil é reciclado. A taxa média anual de recuperação de aparas, relação

entre a quantidade de material reaproveitado e o consumo de papel, gira em torno de 38%, compatível com os valores internacionais.

A quantidade de madeira economizada com a substituição da pasta celulósica por aparas é significativa: uma tonelada de aparas equivale ao rendimento lenhoso de uma área plantada da ordem de 250 m²; o consumo de energia por tonelada de papel produzido também é mais baixo (D'Almeida, 1981).

Aparas corresponde ao nome comercial dado a resíduos ou produtos de papel, cartas e papelões coletados antes e após sua utilização, que são escolhidos, selecionados, enfadados e vendidos usualmente como matéria-prima para fábricas de papéis. As aparas comercializadas obedecem uma terminologia e classificação próprias, em função de sua procedência.

Tecnicamente, qualquer tipo de papel pode ser reaproveitado, porém, nem todos são vantajosos. A forma de obtenção do papel para reciclagem é a seguinte (Brasil..., 1996):

- ◊ catadores separam do lixo, ou por outro meio de coleta, os materiais com destino aos sucateiros;
- ◊ estes fazem seu enfadamento em prensa e encaminha aos aparistas;
- ◊ estes classificam as aparas e enviam para as fábricas.

O processo de fabricação do papel reciclado não é muito diferente do de papel a partir de fibras virgens. A principal diferença é a depuração das aparas. O reaproveitamento do papel usado inicia com sua desagregação, geralmente em um grande liqüidificador denominado “hidropulper”, com água, formando uma pasta de celulose. O processo, no entanto, tem restrição: existe o enfraquecimento das fibras durante os vários ciclos de reaproveitamento. A constante entrada de novos papéis recicláveis, produzidos total ou parcialmente com matérias-primas fibrosas virgens, proporciona o revigoramento das características da pasta, contornando este aspecto e permitindo a ampliação desta atividade no setor papeleiro.

Os papéis recicláveis são gerados principalmente nos supermercados, lojas de departamento, gráficas e fábricas de caixas. A maior parte do papel reciclado, cerca de 86%, é gerado por atividades comerciais e industriais. Apesar do apelo ecológico em torno da reciclagem e da coleta seletiva do lixo, ainda não existe incremento significativo da oferta de aparas geradas por residências e escritórios.

Segundo Haddad (1994), o lixo domiciliar típico brasileiro contém cerca de 25% de papéis e papelões que, se selecionado pela população para posterior reciclagem, além de reduzir a quantidade de lixo transportada e exigir menores áreas de descarte, diminuiria o problema de poluição causado pela queima. A questão é identificar formas atrativas de coleta destes materiais pois o aumento constante dos resíduos sólidos descartados pela população está se tornando um sério problema urbano.

A formação de preço do papel reciclado é vulnerável devido à coleta, que apresenta forte variação em função dos pontos de geração e do tipo de material disponível (Brasil..., 1996).

3 – MATERIAIS REFORÇADOS COM FIBRAS

O uso de fibras incorporadas em matrizes frágeis, como a pasta ou a argamassa de aglomerantes minerais, tem a finalidade de melhorar suas propriedades, especialmente as resistências à tração e flexão, e aumentar a resistência ao impacto. Fibras com

módulo de elasticidade e resistência à tração altos – aço, vidro, amianto e carbono – produzem compósitos (matriz e fibras) com resistência à tração e à flexão superiores à da matriz; fibras com módulo de elasticidade baixo – polipropileno, nylon e fibras orgânicas – produzem compósitos mais dúcteis e com resistência ao impacto aumentada (Ceped,1982). O compósito resultante de cada mistura fibra e matriz pode ser empregado para fabricação de componentes habitacionais desde que os esforços solicitantes sejam compatíveis com a sua capacidade de resistência.

O comportamento do compósito depende do tipo, comprimento e distribuição das fibras e da condição de aderência das fibras à matriz. As fibras, no entanto, não são as únicas responsáveis pelas características do compósito. Para as mesmas matérias-primas e mesmo processo de produção podem ser obtidos, entre outras particularidades, melhorias significativas na resistência à tração, na variações volumétricas e da ductilidade em função do proporcionamento de agregados, da relação água/cimento e das adições (Guimarães,1987).

O primeiro material de construção a ser industrializado com reforço de fibras foi o cimento-amianto. Patenteado em 1900 por Ludwig Hatscheck, é até hoje o compósito mais utilizado, apesar de apresentar a possibilidade de risco à saúde, se o amianto for manuseado de forma inadequada (Agopyan e Derolle,1988).

No Brasil, desde o início da década de 80, vêm sendo realizadas pesquisas que envolvem a incorporação de fibras a matrizes de cimento, visando a obtenção de material apropriado para a produção de componentes habitacionais.

Os estudos, inicialmente, voltaram-se à identificação das fibras vegetais existentes nas diversas regiões do País, objetivando seu aproveitamento na produção de componentes habitacionais como forma de incentivar culturas, cujos mercados tornaram-se restritos, devido à substituição das fibras vegetais por fibras sintéticas. Por suas propriedades e disponibilidade, destacaram-se as fibras do sisal (*Agave sisalana*), do coco (*Cocos mucifera L.*) e de pasta de celulose (Ceped,1982; Guimarães,1987; Agopyan e Derolle,1988).

A maioria das fibras vegetais é vulnerável ao meio alcalino das matrizes de cimento (pH ~ 13), pois a lignina é facilmente dissolvida e a hemicelulose decomposta (Agopyan,1991; Ceped,1992; John e Agopyan,1993).

Porém, as fibras da pasta de celulose, ou fibras de celulose provenientes da madeira, além das propriedades mecânicas elevadas, contêm pouca lignina e hemicelulose, apresentando melhor durabilidade no meio alcalino (Agopyan e Derolle, 1988). Essas fibras já são utilizadas como substituto parcial do amianto em telhas que utilizam pregos para sua fixação na cobertura. São relativamente caras se comparadas a outras fibras vegetais, como coco e sisal, pois, para esta finalidade, estas fibras são provenientes dos resíduos das indústrias beneficiadoras. No entanto, pode-se viabilizar o uso das fibras de celulose através do reaproveitamento de papéis usados, cuja reciclagem representa também benefício ao ambiente. O tipo de papel que mais facilmente se desagrega na água é o jornal, por não possuir colagem superficial (Agopyan e Derolle,1988).

Este trabalho apresenta os resultados do estudo de dosagem e as propriedades do compósito constituído de argamassa de cimento e areia e fibras de celulose provenientes da reciclagem do papel, denominado argamassa celulósica e destinado à produção de componentes habitacionais. O estudo realizado faz parte do projeto “Componentes habitacionais de argamassa celulósica e espuma de poliuretano” que está sendo desenvolvido no CEPED com apoio do Programa Tecnologia da Habitação/HABITARE da FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos.

5 – CARACTERÍSTICAS DO COMPÓSITO COM FIBRAS DO PAPEL

As variáveis adotadas para o estudo da dosagem correspondem à matriz, constituída de cimento e areia, e ao teor de fibras incorporadas. As composições das misturas para o estudo da argamassa celulósica foram determinadas através de um plano de amostragem, apresentado na tabela 1, definido pelo proporcionamento da matriz e pela quantidade de fibras que pode ser adicionada de modo a ficarem uniformemente dispersas e totalmente envolvidas pela matriz.

Tabela 1 – Plano de amostragem

MATRIZ (cimento e areia)	TEOR DE FIBRAS ¹ (%)					
1:1	0	3	5	7	14	18
1:1,5	0	-	-	7	14	-
1:2	0	-	-	7	-	18

1 – percentual da quantidade de fibras em relação ao cimento, em massa

A areia e o cimento são colocados na argamassadeira de eixo vertical¹ e misturados durante aproximadamente 2 minutos; adiciona-se a fibra de celulose em forma de polpa, misturando por mais 7 a 8 minutos. Mais água é adicionada, se necessário, até obter uma mistura com consistência adequada para moldagem de placas. O somatório das porções de água contida na polpa e adicionada corresponde à quantidade de água da mistura, que determina a proporção de água do traço.

Os parâmetros identificados para caracterizar a argamassa celulósica e definir traços correspondem à massa específica e às propriedades mecânicas e de permeabilidade. Para cada mistura, as propriedades da argamassa celulósica no estado endurecido, foram determinadas mediante os ensaios e programação apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Programação de ensaios

Discriminação	Procedimento	corpo-de-prova	
		quantidade	dimensões (cm)
massa específica	NBR 9778	3	$\varnothing 5 \times 10$
índice de vazios			
absorção por imersão			
absorção por capilaridade	NBR 9779	4	$\varnothing 5 \times 10$
resistência à compressão	NBR 12041	6	$\varnothing 5 \times 10$
resistência à tração na compressão	NBR 7222	6	$\varnothing 5 \times 10$
resistência à tração na flexão	NBR 12142	12	$4 \times 4 \times 16$
resistência ao impacto ¹ e moldagem	NBR 12764	3	$20 \times 20 \times 2$

1 – realizado em uma série da matriz 1:1, nas misturas de matrizes 1:1,5 e 1:2 sem fibras e nas misturas com aditivos.

Os diversos índices determinados permitem estabelecer possíveis relações entre eles e as proporções de materiais constituintes da argamassa celulósica. A influência da quantidade das fibras no compósito pode ser avaliada por comparação entre os valores

¹ Experiências anteriores demonstraram que a betoneira de eixo inclinado é inadequada ao preparo da argamassa celulósica que necessita de processo de mistura mais vigoroso (Neves, 1998); usou-se o misturador turbo de eixo vertical, marca BETOMAC MT 120, com capacidade útil de 80 litros.

das características físicas e mecânicas das diversas misturas, e em relação aos das matrizes correspondentes, sem fibras.

Os resultados apresentados na tabela 3 indicam, para cada matriz e cada variável, a tendência observada e a faixa dos valores obtidos em função do teor crescente de fibras.

Tabela 3 – Propriedades da argamassa celulósica em função do teor de fibras

MATRIZ ¹	1:1		1:1,5		1:2	
	tendênci ⁴	valores	tendênci ⁴	valores	tendênci ⁴	valores
caract. do traço						
% de fibras ¹	↑	0-18	↑	0-14	↑	0-17
relação a/c	↑	0,38-1,84	↑	0,40-1,52	↑	0,44-1,85
consumo (kg/m³)						
cimento	↓	913-342	↓	758-323	↓	714-365
areia	↓	913-342	↓	1137-582	↓	1286-646
fibra	↑	0-62	↑	0-54	↑	0-55
água	↑	347-629	↑	303-590	↑	283-596
estado fresco						
consistência (mm)	↓	245-130	↓	231-143	↓	225-139
ar incorporado (%)	↓?	1,4-8,6	?	2,2-4,0	?	1,4-6,6
densidade massa ²	↓	2,17-1,38	↓	2,20-1,62	↓	2,20-1,62
ret. água molde (%)	?	86-90	?	87-94	?	88-94
índice físico						
massa específica ²						
real	?	2,51-2,31	?	2,51-2,48	?	2,47-2,50
seca	↓	2,01-0,94	↓	2,05-1,21	↓	2,05-1,14
saturada	↓	2,21-1,55	↓	2,23-1,73	↓	2,22-1,68
índice de vazios (%)	↑	20-62	↑	18-51	↑	17-55
absorção de água (%)	↑	10-66	↑	9-42	↑	8-48
coef. abs. capilar ³	↑	0,08-1,24	↑	0,06-1,72	↑	0,15-2,68
índice mecânico						
compressão (MPa)	↓	42,3-2,8	↓	42,2-3,4	↓	43,8-2,1
tração comp. (MPa)	↓	4,6-0,6	↓	4,0-0,7	↓	4,9-1,2
tração flexão(MPa)	↓	6,9-1,9	↓	7,5-1,6	↓	6,3-1,2
impacto (cm)	↑	22 - >40	↑	23 - 35	↑	25 - >40

1 – variáveis selecionadas para a análise do comportamento das propriedades da argamassa celulósica

2 – (kg/dm³)

3 – (kg/m² × min^{1/2})

4 – indicadores de tendência

↑ - crescente

⊖ - variável crescente – decrescente

↓ - decrescente

⊖ - variável decrescente – crescente

A interrogação colocada ao lado do indicador de tendência significa que as variações nos resultados não permitem relacioná-los diretamente com o teor ascendente de fibras na argamassa celulósica. Neste caso, os valores indicados referem-se ao máximo e ao mínimo determinados nos ensaios.

6 – CONCLUSÕES

A argamassa celulósica pode ser identificada como um compósito de matriz frágil e reforço de fibra orgânica de baixo módulo de elasticidade, cujas propriedades, em função dos dados obtidos, caracterizam-se basicamente nas faixas de valores apresentados na tabela 4

Tabela 4 – Características da argamassa celulósica

PROPRIEDADE	MATRIZ ¹	FAIXA DE VARIAÇÃO		
massa específica (kg/dm ³)		1,0	a	1,5
teor de fibras (%)	1:1	16	a	9
	1:1,5	17	a	9
	1:2	18	a	9
índice de vazios (%)		60	a	40
absorção de água por imersão (%)		60	a	25
resistência à compressão (MPa)		3,2	a	10,0
resistência à tração na flexão (MPa)	1:1	2,5	a	4,2
	1:1,5	1,0	a	2,5
	1:2			
resistência à tração por comp. diametral (MPa)		1,0	a	2,0

1- indicam-se as proporções dos materiais da matriz apenas para as propriedades em que se observou sua influência

A principal modificação do comportamento da argamassa celulósica no estado fresco corresponde à sua trabalhabilidade. Ao adicionar as fibras, a mistura, mesmo homogênea, torna-se áspera e consistente, interferindo nas condições de moldagem e acabamento superficial; a adição de água, até determinada quantidade, pode melhorar a fluidez da mistura. Ao adicionar mais água, ocorre o “excesso de saturação” da mistura em que não se observa mais a melhoria das suas características no estado fresco e sim a exsudação da água adicionada.

Constata-se que a argamassa celulósica é suscetível à ação da água devido, principalmente, ao elevado índice de absorção e comportamento permeável; sua porosidade é diretamente afetada pelo teor de fibras.

Para a determinação do traço adequado para a fabricação de componentes habitacionais, deve-se considerar as características da argamassa celulósica e as exigências próprias de uso do componente.

Semelhante ao desenvolvimento de outros materiais e sistemas construtivos direcionados para produção de habitação, o estudo da argamassa celulósica e sua aplicação na produção de componentes habitacionais apresentam ainda exigências quanto ao atendimento dos critérios de desempenho e qualidade, e redução dos custos dos componentes habitacionais. Asseguradas as exigências de segurança, conforto e custo, o aspecto crítico de qualquer processo de desenvolvimento de um novo componente habitacional refere-se a sua durabilidade no ambiente em que está inserido.

Ainda estão sendo realizados estudos que avaliem a durabilidade da argamassa celulósica submetida à ação dos agentes de degradação de natureza física, química e biológica.

Em relação ao meio ambiente, a argamassa celulósica não apresenta, em princípio, efeitos prejudiciais à sua qualidade. Como não existe ainda uma metodologia específica

para avaliação do impacto ambiental de materiais de construção, o procedimento adotado é tratar a argamassa celulósica como um resíduo sólido e determinar a possível liberação de substâncias perigosas que contamem o ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN, Vahan. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais.** São Paulo: EPUSP, 1991. 204p. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil.
- AGOPYAN, V., DEROLLE, A. Materiais de construção reforçados com fibras: uso do papel-imprensa. **Tecnologia de Edificações.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Divisão de Edificações do IPT. p. 35-38, 1988.
- BRASIL acompanha média mundial. **Celulose e Papel**, São Paulo, v.13, n. 54, p.16-17, mai./jun. 1996.
- CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. Programa THABA. **Utilização de fibras vegetais no fibro-cimento e no concreto-fibra.** Rio de Janeiro: BNH/DEPEA, 1982. 72p.
- _____. **Compósito fibra vegetal-cimento: análise da durabilidade.** Relatório Final. Camaçari: CEPED/FINEP, 1992. 38p. (Documento THABA nº 243/92)
- D'ALMEIDA, Maria Luiza O. **Celulose e papel.** São Paulo: SENAI:IPT, 1981. (publicação IPT n. 1193)
V1:Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 492 p.
V2: Tecnologia de fabricação do papel. 402 p.
- DALVA,C. **Papel.** Salvador: Universidade Federal da Bahia. Escola de Biblioteconomia e Documentação. [s.d.]. (Notas de aula da disciplina EBI-175 História do Livro e das Bibliotecas).
- GUIMARÃES, Suely da S. Fibra vegetal-cimento – resultados de algumas experiências realizadas no THABA/CEPED. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA EM HABITAÇÕES: DA PESQUISA À PRÁTICA**, 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT, 1987. p.103-109
- HADDAD, J.F. Alternativa da destinação de resíduos sólidos. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE DESTINAÇÃO DO LIXO**, 1994, Salvador. **Anais ...** Salvador: CONDER/Projeto Metropolitano, 1994. p.11-26.
- JOHN, V.M., AGOPYAN, V. Materiais reforçados com fibras vegetais. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE MATERIAIS REFORÇADOS COM FIBRAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP,1993. p. 29-38.
- MEYER, F., OLMER, L.-J. **Le papier et les dérivés de la cellulose.** Paris: Presses Universitaires de France, 1949. 128 p.
- NEVES, Célia M. M. O uso do papel jornal na argamassa para fabricação de componentes habitacionais. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO ENTAC 98**, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: NPC/ECV/CTC/UFSC, 1998. v.1. p.63-71.