

Adição de Fibras de Celulose (Papel Kraft) no Concreto

Verificação da Absorção por Capilaridade

Luana Gomes Queiroz de Souza(1); Niécio da Costa Anuniação Junior (2)

1 Centro Universitário ICESP

2 Universidade Paulista – UNIP

Recebido: 18 Out 2019 / Aceito: 30 Nov 2019 / Publicado: 27 Dez 2019.

Resumo

Introdução: Atualmente, ocorre no Brasil destinação inadequada de materiais da construção civil, fato que acarreta impactos negativos ao meio ambiente e, conseqüentemente, preocupação com a busca de métodos viáveis e sustentáveis de reciclagem e reintegração desses materiais no ciclo produtivo, bem como a verificação da influência desses materiais quando reintegrados à construção civil.

Objetivo: Apresentar um possível método de reciclagem de fibras de papel kraft e analisar, através de pesquisas e testes, sua viabilidade na construção civil, considerando aspectos como a absorção de água por capilaridade. **Materiais e Métodos:** O estudo foi realizado com levantamentos bibliográficos e, em seguida, com testes laboratoriais para analisar a influência da adição de fibras de papel Kraft no concreto, verificando a absorção por capilaridade. **Resultados:** De acordo com os testes e os processos empregados, a reciclagem de fibras de papel kraft é viável, pois sua adição ao concreto não altera abruptamente as propriedades do material e atende aos padrões de umidade. **Conclusão:** Concluiu-se que a adição de fibras de papel kraft no concreto pode reduzir o desperdício na construção civil, trazendo benefícios ao meio ambiente e sendo totalmente sustentável. Concluiu-se também que as fibras aumentam a capacidade de absorção do concreto; por esse motivo, o valor ideal adotado para a adição de fibras é de 0,5% g, característica que garantiu melhor resistência mecânica e menor coeficiente de absorção por capilaridade.

Palavras-Chave: Construção Civil; Reciclagem; Fibra de Papel Kraft; Celulose; Absorção; Umidade

Abstract

Introduction: Currently, we have in Brazil the inadequate disposal of waste construction materials, bringing negative impacts to the environment and consequently the concern to the search of viable and sustainable methods for recycling and reintegration of these materials in the production cycle, as well as the verification of the influence of these materials when reintegrated to civil construction.

Objective: To present a possible method of recycling kraft paper fibers and to analyze, through research and testing, their viability in civil construction, considering aspects such as water absorption by capillarity. **Materials and Methods:** The study was conducted with bibliographic surveys and then with laboratory tests to analyze the influence of the addition of kraft paper fibers in concrete checking the absorption by capillarity. **Results:** According to testing and processes, kraft paper fibers recycling is feasible in that its addition to concrete does not abruptly change material properties and meets moisture standards. **Conclusion:** It is concluded that the recycling and addition of kraft paper fibers in concrete can be applied to reduce construction waste, bringing benefits to the environment and being fully sustainable. It is also concluded that the fibers increase the absorption capacity of concrete; for this reason, the ideal value adopted for fibers to be added is 0.5% g, a trait that ensured better mechanical strength and a lower coefficient of absorption by capillarity.

Keywords: Civil Construction; Recycling; Kraft Paper Fiber; Cellulose; Absorption; Humidity

Autor Correspondente: Luana Gomes Queiroz de Souza, luanagomes644@gmail.com

1- Introdução

A construção civil é um dos setores de grande importância para a economia brasileira; está sempre em movimento e em produção, e sempre à procura de avanços tecnológicos que visam contribuir para a utilização de métodos não destrutivos (PEREIRA, 2018).

A indústria da construção civil está entre as maiores causadoras de impactos ambientais, caracterizados tanto pela utilização de recursos naturais quanto pela alta geração de resíduos. De acordo com dados do SINDUSCON (2016), grande parte dos resíduos existentes no Brasil são provenientes de construções e demolições.



A resolução nº 307 do CONAMA, que trata da gestão dos resíduos da construção civil, define e classifica os tipos de rejeitos de acordo com suas características. Além disso, prioriza a não geração desses e dispõe sobre as etapas de gerenciamento, incluindo o adequado processo de descarte para cada classe.

O descarte inadequado de resíduos da construção e da demolição (RCD) é um problema que deve ser enfrentado. A reutilização e a reciclagem dos materiais são processos que ajudariam a reduzir os impactos negativos, favorecendo o meio ambiente (ALVES, 2016).

De acordo com dados do SNIC, de maio de 2018 a abril de 2019 as vendas acumuladas de cimento totalizaram 53 milhões de toneladas, sendo que o cimento ensacado representa 66% das vendas no Brasil. A grande quantidade de material produzido e posteriormente descartado de modo inadequado traz a preocupação em desenvolver meios viáveis e sustentáveis para a reintegração desses materiais no ciclo produtivo.

Os sacos de cimento são produzidos com papel *kraft* multifoliado. Segundo Buson (2009), este apresenta alta resistência, sendo submetido a padrões rígidos exigidos pelos fabricantes e consumidores de cimento. Além disso, as especificações técnicas de produção das embalagens exigem uma celulose produzida pelo processo de sulfato, de alta resistência e de fibra longa, que é geralmente empregada pura (proveniente de celulose de madeira ou de bambu), garantindo à fibra excelentes propriedades físicas e mecânicas.

De acordo com tais características, e visando principalmente a reutilização de materiais, a presente pesquisa compreenderá a adição de fibras de celulose recicladas do papel *kraft* no concreto. Segundo Alves (2016), o teor máximo de fibra a ser adicionada é de 1%; quanto maior a quantidade de fibras, menor a resistência do concreto. Dentre os valores analisados, destaca-se o teor de 0,5%, com o qual se obtém melhores resultados, atendendo aos valores e características exigidos por norma (BUSON, 2009).

A fibra *kraft* propicia uma mudança no compósito que o torna mais absorvente (SANTOS e CARVALHO, 2011). A avaliação da absorção e da umidade do concreto com fibras é de suma importância, pois, a umidade é um dos maiores problemas quando se fala em patologias das estruturas.

Portanto, será avaliada a penetração de água por absorção capilar do concreto produzido com e sem fibras, para que possam ser confrontados ambos os materiais em termos dos seus comportamentos. Para tanto, a NBR 9779/2012 detalha os procedimentos a serem seguidos e os cálculos a serem efetuados.

Materiais e Métodos

O papel *kraft* empregado nas embalagens de cimento é proveniente de polpa química de fibra longa de celulose obtida da madeira; essas fibras podem ser produzidas de maneiras diferentes, por meio de processos mecânicos e processos químicos (PEREIRA, 2018).

No processo de reciclagem das fibras de celulose foram necessários sacos de cimento vazios, água, agitador, peneira, triturador e local para que as fibras possam ser secadas naturalmente.

O processo começa com a limpeza dos sacos de cimento, primeiro retirando o resíduo de cimento seco ainda presente nas embalagens. Nessa pesquisa foram usadas 6 embalagens de cimento, e retirados 56,56g de cimento seco ainda presente nas embalagens, o que equivale a aproximadamente 0,025% de cimento desperdiçado para 6 sacos de cimento.

Em seguida, os sacos foram cortados, higienizados e deixados de molho. Foram agitados até que se transformassem em polpa de celulose, retirado o excesso de água, e, posteriormente, triturados a fim de se obterem as fibras de celulose. Logo em seguida, essas fibras foram dispostas para secagem. Neste estudo, foi verificado que, no primeiro procedimento de obtenção da polpa de celulose, permaneceram pedaços de papel *kraft* inteiros, o que acarretou a necessidade de repetição do processo.

O processo de agitação e a sua duração variam de acordo com o equipamento. O papel deve ser agitado pelo tempo necessário para a formação da polpa. A água usada pode ser reutilizada várias vezes, evitando assim desperdício.

O procedimento de reciclagem é simples, baseado apenas em processos mecânicos, pouca energia e água. Após a agitação dos sacos de cimento para obtenção da polpa de celulose, aplica-se o processo da retirada do excesso de água da polpa para que seja possível a trituração e obtenção das fibras *kraft* (figura 1).



Figura 1 – Processo de retirado do excesso de água da polpa.

Obtenção das fibras

No processo de obtenção das fibras foram utilizados seis sacos de cimento, agitados por

aproximadamente uma hora e trinta minutos e secados por uma semana, sendo por fim triturados. Nas figuras 2 e 3 é possível observar respectivamente a polpa de celulose após a retirada do excesso de água e as fibras já trituradas e prontas para serem utilizadas.



Figura 2 – Polpas de fibras de celulose.



Figura 3 – Fibras de papel kraft.

Durante o processo de produção da polpa, foi possível notar a resistência das embalagens de *kraft*, fato que obrigou por repetidas vezes a parada da agitação para diminuição do tamanho dos pedaços de papel.

Celulose

A celulose é um polissacarídeo, componente estrutural primário das plantas e base para a fabricação de papeis. É um dos compostos que constituem a madeira, cerca de 50%; suas moléculas, agrupadas pela lignina, configuram feixes de fibras formadores das células vegetais (CMPC, 2019).

As fibras celulósicas podem ser encontradas com diferentes características, o que influencia diretamente o seu comportamento. A celulose de fibra longa, foco desse estudo, possui grande capacidade de resistência (principalmente à tração), de absorção de água, e porosidade significativa (KLABIN, 2019).

As fibras naturais são diretamente afetadas pelo grau de alcalinidade do meio (SAVASTANO, 2000). Logo, a fibra tende a se degradar quando envolvida com o cimento, o que acarreta diminuição da sua vida útil.

Corpos de prova

Para que fosse possível a análise da umidade sob influência das fibras no concreto, foram moldados corpos de provas (doravante CP) com

cimento CP V ARI, brita 0 e areia média. Foi aplicado aditivo plastificante porque esse reduz a quantidade de água, mantendo o *slump*; ele não diminui a resistência, mas não foi adicionado em todos os CP. A moldagem teve lugar de acordo com a NBR 5738/2015, que estabelece critérios como as dimensões dos CP, os processos para mistura dos materiais e moldagem, os processos para adensamento do concreto, além de dispor sobre o processo de cura, trazendo informações acerca do tempo, do armazenamento e do desmolde.

A fim de se analisar o comportamento da umidade no concreto com adição das fibras de celulose, foram moldados cinco CP. O CP1 foi produzido com 0,5% de fibra em relação à massa de agregados; O CP2 com 1% de fibra e o CP3 com 1,5% de fibra. Todos receberam 1,5% de aditivo para facilitar o manuseio e o emprego das fibras no concreto, tendo em conta que o aditivo permite obter a mesma fluidez com menor quantidade de água.

Os outros CP foram moldados de forma convencional para que seus desempenhos pudessem ser confrontados com os dos demais contendo fibras. Portanto, o CP4 foi produzido sem adição de fibra e sem aditivo; o último, CP5, sem adição de fibra e com 1,5% de aditivo. A figura 4 ilustra os CP submetidos à análise.



Figura 4 – Corpos de prova.

Umidade e absorção por capilaridade:

A umidade é um dos maiores problemas quando se fala em patologias, afetando diretamente a eficiência das estruturas. Suas causas são normalmente decorrentes de fenômenos naturais como chuvas, umidade do ar, do solo e entre outros (Santana e Aleixo, 2017). De acordo com Perez (1986), a umidade pode ser proveniente da própria construção, de infiltração ou de condensação; pode ainda ser acidental e ascensional.

Ascensional é o termo usado para definir a umidade causada pela água que penetra o concreto por capilaridade (transporte da água no estado líquido) (PEREZ, 1996). Segundo Pinto (1998), capilaridade é a propriedade de um material em promover a sucção de água quando em contato com

ela, dependendo de vários fatores. Pode ser definida também como o fluxo vertical de água.

As patologias causadas no concreto devido à umidade trazem desconforto e podem variar desde problemas simples à problemas mais complexos que afetam a estrutura e o seu funcionamento. Segundo Perez (1985), a umidade nas edificações representa um dos problemas mais difíceis de serem corrigidos no âmbito da construção civil, assim como a lixiviação do concreto, problema causado pelo contato da estrutura com a água, e que se caracteriza pela dissolução e pela remoção do hidróxido de cálcio formado no processo de hidratação do cimento. Outro problema causado pela umidade é a despassivação das armaduras concomitante à reação de corrosão do aço.

A NBR 9779/2012 determina o ensaio e o cálculo para a absorção de água por capilaridade. Os ensaios foram realizados seguindo a norma e foram avaliados posteriormente.

Tabela 1 – Constância de massa para CP1.

Corpo de Prova 1	Peso (g)
tempo 0 (massa seca)	3149,70
3hrs	3163,94
6hrs	3168,98
24hrs	3168,06
48hrs	3172,57
72hrs (massa saturada)	3168,79

É importante conhecer a interação da água com todos os materiais envolvidos, sendo ela matéria prima nas obras, estando presente em todas as fases da construção e durante toda a vida útil da estrutura.

Absorção por capilaridade

Para se obter o coeficiente de absorção por capilaridade utilizou-se a equação (1) dada na NBR 9779/2012, que o caracteriza como a razão da diferença entre as massas saturadas e as secas em estufa sobre a área de seção transversal.

$$C = \frac{Msat - Ms}{S}, \quad (1)$$

onde: C = coeficiente de absorção de água por capilaridade (g/cm^2), $Msat$ = massa saturada (g), Ms = massa seca (g), S = área da seção transversal (cm^2).

Os CP secos ao ar foram pesados e em seguida colocados em estufa para chegarem à constância de massa. Foram resfriados e imergidos em água até +/- 5mm da sua base inferior. Em seguida, foram registradas as massas com 3, 24, 48 e 72 horas. As dimensões dos moldes dos CP são de

10x20 cm de acordo com a figura 5.



Figura 5 – CP imergidos na água

Resultados

A fim de se verificar o comportamento da umidade dos CP após a adição das fibras de celulose, as tabelas de 1 a 5 apresentam suas respectivas massas para registro do coeficiente de absorção.

Na tabela 1 é possível verificar uma variação de 19,09g entre massa seca e massa saturada do CP1 após 72 horas. Na tabela 2 verifica-se a diferença de 23,85g entre massa seca e massa saturada do CP2.

Tabela 2 – Constância de massa para CP2.

Corpo de Prova 2	Peso (g)
tempo 0 (massa seca)	3068,08
3hrs	3082,07
6hrs	3082,84
24hrs	3089,41
48hrs	3093,94
72hrs (massa saturada)	3091,93

O CP3 demonstra uma diferença de massa de 19,07g (tabela 3).

Tabela 3 – Constância de massa para CP3.

Corpo de Prova 3	Peso (g)
tempo 0 (massa seca)	3033,52
3hrs	3047,92
6hrs	3047,63
24hrs	3051,97
48hrs	3055,61
72hrs (massa saturada)	3052,59

O CP4 foi moldado de forma usual para servir como referencial comparativo, portanto sem fibras e sem aditivo, apresentando diferença de massa igual a 21,07g (tabela 4).

Tabela 4 – Constância de massa para CP4.

Corpo de Prova 4	Peso (g)
tempo 0 (massa seca)	3211,69
3hrs	3226,29
6hrs	3226,35
24hrs	3231,80
48hrs	3235,28
72hrs (massa saturada)	3232,76

A tabela 5 exibe uma diferença de 15,6g para o CP5.

Tabela 5 – Constância de massa para CP5.

Corpo de Prova 5	Peso (g)
tempo 0 (massa seca)	3274,65
3hrs	3287,22
6hrs	3286,84
24hrs	3290,28
48hrs	3293,94
72hrs (massa saturada)	3290,25

Os coeficientes de absorção de água para cada corpo de prova, calculado de acordo com a equação (1), são apresentados na tabela 6, onde a diferença de massa entre os corpos de prova é de 0,105g entre a maior e a menor.

Tabela 6 – Coeficiente de absorção por capilaridade.

Coeficiente de absorção por capilaridade (g/cm ²)	
CP1 – 0,5% Fibra + 1,5% Aditivo	0,243
CP2 – 1% Fibra + 1,5% Aditivo	0,304
CP3 – 1,5% Fibra + 1,5% Aditivo	0,243
CP4 – 0% Fibra + 0% Aditivo	0,268
CP5 – 0% Fibra + 1,5% Aditivo	0,199

Discussão

A diferença de massa entre o CP1 e CP2 foi de 0,061g, e pode estar relacionada ao volume de fibra de celulose adicionado. É sabido que as fibras são absorventes, mais ainda se não tratadas quimicamente. No CP2, obteve-se o maior coeficiente de absorção (estudos realizados mostram que as fibras podem ter aumento de massa em até 50%). Já o CP3 apresentou massa igual ao CP1, embora a diferença entre volumes de fibras seja de 1% a mais para o CP3; este fato pode estar associado à adição de ativo plastificante, pois esse tem a função de reduzir ou manter a quantidade de água usada no concreto, preservando suas características. Outro

fator importante no processo é a homogeneização do concreto, pois, quanto mais homogêneo o concreto, menor a sua porosidade, o que conseqüentemente afeta os resultados.

O CP4 apresentou um volume de massa apreciável comparado aos outros CP, porém, como declarado anteriormente, sem adição de fibras e sem aditivo; este fato pode estar relacionado à necessidade de água do próprio cimento para o processo de cura, à porosidade do concreto e à falta de homogeneização, que influenciam diretamente a umidade por capilaridade.

Para o CP5 foi possível verificar que o aditivo influenciou diretamente a relação água/cimento do concreto, pois permitiu reduzir a quantidade de água acrescentada sem modificar a consistência do concreto. O aditivo também ajudou a homogeneizar as partículas de cimento, liberando a água que fica presa nos grãos por meio da reação de repulsão entre eles provocada por cargas elétricas. De maneira geral, a diferença de massa está relacionada à capacidade de absorção de água dos corpos de prova em virtude do acréscimo de fibra, pois a celulose de fibra longa possui grande capacidade de absorção devido a sua alta porosidade. Portanto, o aditivo plastificante é adicionado ao concreto para obter maior fluidez com menor quantidade de água, aumentando a plasticidade, propriedade que o concreto possui definida pela facilidade com que o mesmo pode ser moldado sem se romper.

Devido ao processo de moldagem manual dos CP, pode ter ocorrido falha na mistura, no adensamento e em outros critérios que possivelmente influenciaram os resultados. Os processos automatizados ou industriais melhoram a produção de concreto quanto à homogeneização, ao adensamento e à mistura. Ainda, durante a reciclagem das fibras, podem ter permanecido alguns fragmentos de papel. De toda sorte, mesmo que tais fatos tenham interferido com os resultados, estes se mostraram consistentes com as premissas básicas adotadas na literatura técnica.

As indústrias que trabalham com as fibras naturais de celulose costumam aplicar alguns tratamentos químicos a fim de melhorar características como aderência da fibra, redução da capacidade de absorção e durabilidade das fibras em meios alcalinos. Alguns desses tratamentos são a acetilação, a hornificação, a lavagem com soluções alcalinas, a impregnação de polímeros e os tratamentos térmicos. Esses tratamentos têm o objetivo de melhorar o desempenho das fibras nas matrizes cimentícias.

Conclusão

Diante do exposto nessa pesquisa, concluiu-se que a adição da fibra *kraft* ao concreto, apesar dos

efeitos negativos da maior absorção de água, pode ser empregada para reduzir os resíduos da construção civil, além do que, a reciclagem das fibras traz benefícios para o meio ambiente, não requerendo grande quantidade de recursos e não necessitando de processos químicos sofisticados.

É importante frisar que os CP não foram ensaiados quanto às resistências mecânicas. Entretanto, ao analisar os dados de outras pesquisas, concluiu-se que o excesso de fibras implicaria em menor resistência, não atendendo aos padrões

mínimos. Com essa ressalva, a adição mínima de 0,5% de fibra foi considerada ideal, pois, de acordo com os resultados, o CPI mostrou-se mais impermeável que os demais, evitando possíveis problemas decorrentes da umidade.

Agradecimentos

Agradecemos ao **Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa – NIP** pelo apoio a essa pesquisa.

Referências:

- 1 ALVES, L. S. **Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Distrito Federal, 2016. 129p.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738**: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. _____. **NBR 9779/2012**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade
- 3 BUSON, M. A. **Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- 4 CARVALHO, P. E. F.; SANTOS, L. R. **Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft proveniente de embalagens de cimento**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- 5 CMPC Celulose Riograndense. **Celulose**. Disponível em: <<http://www.celuloseriograndense.com.br/produtos>>. Acesso em: Junho 2019.
- 6 CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: Junho 2019.
- 7 DIAS, R. A. (2017) **Avaliação da interferência da adição de fibras de papel kraft em argamassas**. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF – 002/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 94 p.
- 8 GARCIA, J. R. R. **Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias em edifícios**. Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2013/2014 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.
- 9 KLABIN. **Celulose**. Disponível em: <<https://www.klabin.com.br/negocios-e-produtos/celulose/>>. Acesso em: Outubro 2019.
- 10 PEREIRA, F. T. M.; **Avaliação da influência da adição de fibras kraft em argamassas**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília, DF, 2018.
- 11 PEREZ, A. R. **Umidade nas edificações**. São Paulo, 1986. Dissertação (Mestrado). Universidade de São

- Paulo.
- 12 PINTO, F. C. **Influência da pressão exterior na embebição de materiais de construção**. Tese (Doutorado) – Universidade do Porto, 1998.
 - 13 SANTANA, B. V.; ALEIXO, I. V. **Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas para revestimento com diferentes aditivos impermeabilizantes**. Brasília, 2017.
 - 14 SANTOS, RENATA DANIEL. **Estudo da influência de tratamentos na promoção da durabilidade e aderência de fibras de curauá e sisal em matrizes à base de cimento Portland**; Renata Daniel dos Santos – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016
 - 15 SAVASTANO JÚNIOR, H. **Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal: Reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
 - 16 SILVA, ALUIZIO CALDAS; **Estudos da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2002.
 - 17 SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINDUSCON. Disponível em: <<http://www.sinduscondf.org.br/portal/>>. Acesso em: Junho 2019.
 - 18 SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Números – Resultados Preliminares de Abril 2019**. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. Disponível em: <<http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares-ver.php?id=36>>. Acesso em: Junho 2019.