

ARGAMASSAS COM FIBRAS DE CELULOSE PROVENIENTES DE EMBALAGENS DE CIMENTO E DE CAL

Patrícia Eliza F. de Carvalho⁽¹⁾; Cláudio Cintra⁽²⁾; Helena Carasek⁽³⁾

(1) Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil - Mestrado - Universidade Federal de Goiás- Goiânia - patriciaefc@gmail.com.

(2) Curso de Especialização em Gestão e Tecnologia da Produção de Edifícios - Universidade Federal de Goiás - Goiânia - Claudio_to@hotmail.com

(3) Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil - Universidade Federal de Goiás - Goiânia - hcarasek@gmail.com

Resumo

A Construção Civil vem buscando encontrar meios para absorver o grande volume de resíduos gerados em sua prática. Um dos resíduos gerados em quase todas as obras de Engenharia e em grande volume são as embalagens de cimento e de cal. Em meio a essa realidade, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar a adição de fibras de papel kraft provenientes de sacos de cimentos e de cal em argamassas para assentamento de alvenaria de vedação, como solução para o resíduo gerado pela embalagem desses materiais. Para tanto, foi realizado um programa experimental, em laboratório, que verificou o desempenho das argamassas estudadas no estado fresco e endurecido e de prismas de alvenaria assentados com essas argamassas. Também foram realizados testes empíricos em canteiro de obra a fim de verificar a prática da proposta. Os resultados obtidos foram satisfatórios, sendo que um dos traços com fibras obteve desempenho em alvenaria superior ao da argamassa de referência, sem adição de fibras. Assim, verificou-se que as fibras contribuem com o desempenho mecânico de alvenarias de vedação assentadas com blocos cerâmicos, gera economia com materiais e apresenta-se viável como solução para o atual problema de disposição final desse resíduo.

Palavras-chave: Alvenaria, Argamassa, Fibra, Saco de cimento, Papel kraft

Abstract

The construction has been searching for many ways to absorb the large volume of waste produced in your practice. One of these wastes in almost all works of engineering and in a high volume are the cement and lime bags. Knowing this reality, the paper proposes to evaluate the addition of fibers from kraft paper packages of cement and lime in laying mortars masonry as a solution to these residues. For this purpose, experimental tests was conducted in the laboratory and it has verified the performance of fresh and hardened mortars and masonry prisms settled with these mortars. Empirical tests were also performed on the construction site to verify the practice of the proposal. The results were satisfactory and it was obtained types of mortars with added fibers whit better performance than the reference mortar (without fibers). Thus, it was verified that the proposal contributes to the mechanical performance of masonry sealing settled with ceramic blocks, savings of materials and presents itself as viable solution to the current problem of final disposal of this packages.

Keywords: Masonry, Mortar, Fiber, Cement bag, Kraft paper

1. INTRODUÇÃO

Em tempos em que a consciência ambiental vem crescendo, observam-se cada vez mais práticas que busquem minimizar os impactos no meio ambiente. No setor da construção,

atualmente responsável por até 70% dos resíduos sólidos dos grandes centros urbanos, não diferente, também vem crescendo essa política sustentável, buscando alternativas que reduzam o volume de resíduos gerados ou, reaproveitando os materiais descartáveis dentro da própria cadeia produtiva.

Dentre os resíduos da construção civil, as embalagens de cimento e de cal são um dos materiais que se destacam por estarem presentes em quase todos os tipos de obras, em grandes quantidades e sem práticas viáveis de reaproveitamento. Em levantamento realizado pelos autores na região, observou-se que apenas 10% dessas embalagens recebem destinação correta. De acordo com a resolução nº 307 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, os sacos de papel *kraft* são classificados como resíduo classe B, devendo, portanto, ser reutilizado, reciclado ou encaminhado a áreas de armazenamento temporário. No entanto, usinas de reciclagem frequentemente refugam esse resíduo em função da contaminação por cimento ou cal.

Assim, este trabalho propõe a reutilização desses sacos na produção de argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, como solução viável para a destinação deste resíduo.

2. OBJETIVOS

Este trabalho objetiva avaliar o emprego de fibras de papel *kraft* provenientes de embalagens de cimento e de cal como incremento em argamassas de assentamento de alvenaria de vedação buscando uma solução viável para destinação do resíduo em estudo. Para tal são abordados objetivos específicos, a saber: verificar a influência das fibras de papel *kraft* nas propriedades da argamassa tanto no estado fresco como endurecido e avaliar o desempenho mecânico de alvenarias produzidas com as fibras por meio de ensaios em prismas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

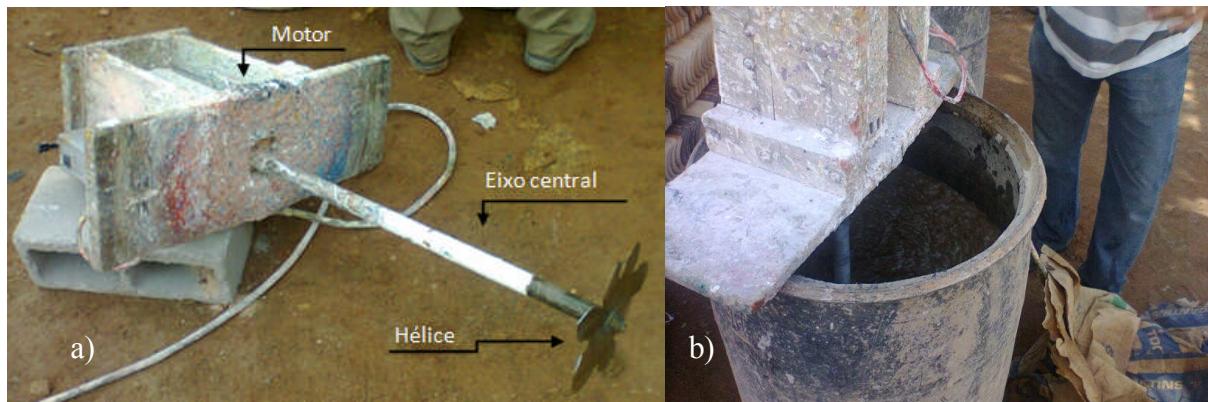
Os materiais empregados nesta pesquisa bem como os traços e procedimentos realizados na avaliação das argamassas são explanados na sequência.

3.1. Materiais

Para o preparo das argamassas em estudo foram utilizados os aglomerantes cimento CP II E-32 e cal hidratada do tipo CH III. Já o agregado miúdo foi areia natural, lavada, de módulo de finura igual a 1,77 e massa específica igual a 2,7 g/cm³. A água de amassamento foi de rede pública, sendo que parte dessa já era contabilizada na água presente na polpa de papel *kraft*.

As fibras de celulose empregadas nas argamassas foram as dos sacos de cimento de papel *kraft*. A produção da polpa de fibras trata-se de um processo físico de dispersão, portanto, não houve segregação entre as fibras celulósicas e demais materiais empregados na fabricação do papel. Então, a polpação das embalagens foi realizada por agitação dos sacos juntamente com água potável até se obter a dispersão das fibras, como ilustrado na Figura 1. O equipamento utilizado no processo é composto por um eixo cuja extremidade é acoplada à um motor e, na outra, uma hélice. Por meio de testes preliminares observou-se que não há necessidade de imersão prévia dos sacos em água nem a adição de produtos químicos.

Figura 1 – a) Equipamento empregado no processamento da fibras. b) Processamento dos sacos de cimento para obtenção da polpa.

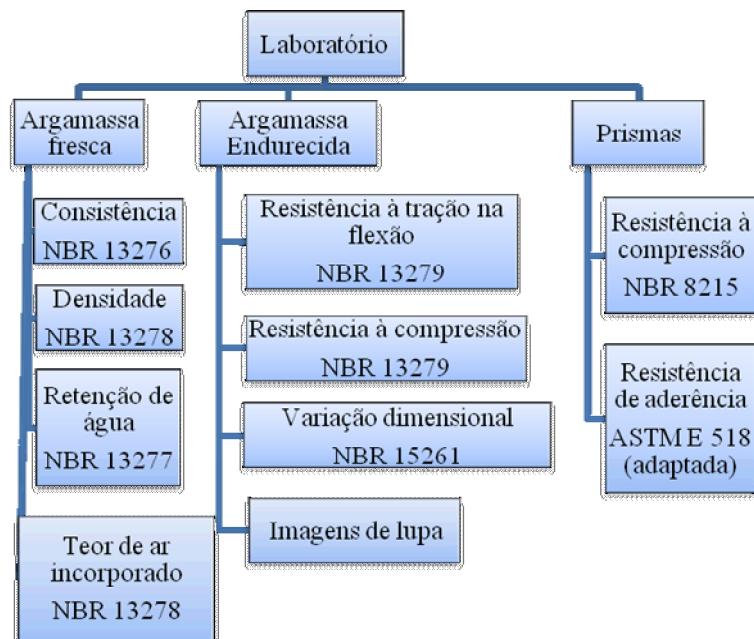


Para confecção dos prismas foi utilizado como unidade de alvenaria o bloco cerâmico de dimensões de 9 cm x 13 cm x 29cm e vazados, com 6 furos na direção longitudinal ao assentamento. A caracterização básica dos blocos foi realizada segundo a ABNT NBR 1570-3: 2005 e obteve como resultados resistência média à compressão de 3,3 MPa, índice de absorção de 18% e absorção inicial de 13,4 (g/193,55cm²)/min.

3.2. Métodos

Para o cumprimento dos objetivos específicos traçados, foram realizados ensaios laboratoriais que avaliaram as argamassas no estado fresco, endurecido e desempenho na alvenaria. A Figura 2, apresenta a seguir, resume os ensaios realizados em cada etapa laboratorial, bem como as respectivas normas adotadas. E, também foram realizados testes em obra a fim de verificar a aplicabilidade das argamassas.

Figura 2 – Fluxograma indicando ensaios e respectivas normas de cada etapa laboratorial



Foram definidos quatro proporcionamentos (traços) a serem estudados. Todos tiveram como base a composição 1:2:8 (cimento, cal, areia, em volume). Um dos traços foi composto apenas pela composição base, servindo como referência para méritos comparativos. Outros dois traços tiveram a adição de fibras, sendo um em 5% e outro 10% da massa de aglomerante (cimento e cal) e, um quarto traço, com 10% de fibras, também em relação à massa de aglomerantes, porém em substituição à mesma quantidade de areia. A Tabela 1 apresenta os traços e suas respectivas siglas.

Tabela 1 - Relação das designações das argamassas em função da inserção da polpa de sacos de cimento na argamassa – percentagem em relação à massa de aglomerante.

Sigla	R	A5	A10	S10
Fibra em adição	0%	5%	10%	0%
Fibra em substituição	0%	0%	0%	10%

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no programa experimental realizado nesta pesquisa são apresentados a seguir.

4.1. Resultados da caracterização das argamassas no estado fresco

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco, estão exibidos na Tabela 2, apresentada a seguir, bem como a relação água/aglomerante (a/agl).

Tabela 2 - Resultados médios dos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco

Argamassa	R	A5	A10	S10
Índice de consistência (mm)	393	300	318	375
Densidade de massa (g/cm ³)	1,89	1,82	1,67	1,71
Retenção de água (%)	95	85	79	78
Teor de ar incorporado (%)	1	2	5	5
Relação a/agl	1,6	1,7	2,4	1,9

O ensaio de determinação do índice de consistência é um dos parâmetros para se avaliar a trabalhabilidade da argamassa. Segundo Carasek (2010), por se tratar de um método cuja deformação da argamassa é produzida através de vibrações e choques mecânicos, nele são medidas concomitantemente a consistência e a plasticidade. Assim, tendo a fluidez grande influência nos valores de consistência, presume-se que a maior quantidade de água na mistura implicará em maiores valores de índice consistência. No entanto, observa-se o contrário, as argamassas com maiores consumos de água, tiveram menores espalhamentos na mesa ABNT (índices de consistência). Tal comportamento é justificado pela presença das fibras que estruturam uma espécie de “esqueleto” no interior da mistura, garantindo maior coesão da argamassa. A alteração da viscosidade da argamassa é explicada pelo formato alongado da fibra que gera uma maior área superficial, bem como pela grande quantidade de contato gerado entre as partículas sólidas, seja das fibras com os grãos de cimento e cal além do agregado ou entre as próprias fibras.

A ação das fibras em trazer maior coesão é bastante significante na prática do assentamento, pois, não prejudica a trabalhabilidade e ainda exige menor quantidade de argamassa para se produzir uma mesma espessura de junta, conforme constatado nos testes práticos em obra.

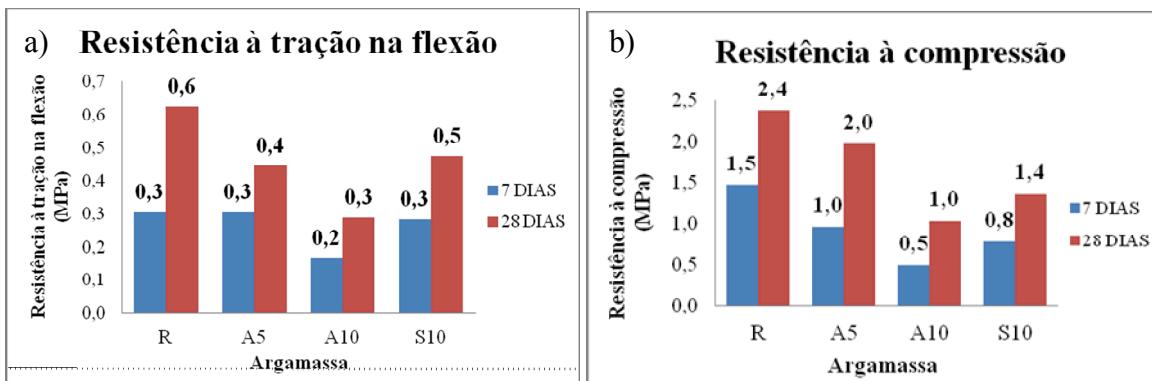
A densidade de massa das argamassas em estudo reduz na presença da fibra, uma vez que é inserido um material mais leve. Outro fator que contribui com a redução da densidade de massa é o teor de ar incorporado, pois representa vazios na mistura. Os valores obtidos no ensaio de determinação do teor de ar incorporado, por meio do método gravimétrico, são apenas comparativos entre os traços uma vez que não foi possível determinar com exatidão a densidade de massa da fibra. Observa-se que a o teor de ar se eleva na presença das fibras, conforme já constatado por diversos autores citados por Silva (2006). Esse aumento provavelmente está relacionado com o contato entre as próprias fibras e entre estas e os agregados. O arranjo estrutural formado por essas interações dificilmente formará um máximo empacotamento de partículas sólidas, ficando ar aprisionado entre elas.

No ensaio de retenção de água foram obtidos valores inferiores para as argamassas com fibras. Possivelmente, este fato seja explicado novamente pelo menor empacotamento gerado no arranjo estrutural com as fibras, que permite a saída da água mais facilmente desse esqueleto.

4.2. Resultados das argamassas no estado endurecido

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização mecânica das argamassas nas idades de 7 e 28 dias após moldagem dos corpos de prova são apresentados nas Figuras 3a) e 3b).

Figura 3- a) Resultados médios obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão. b) Resultados médios obtidos nos ensaios de resistência à compressão



Como se pode observar nos resultados, houve uma redução na resistência mecânica das argamassas que contém fibra. Isso era esperado em razão de três aspectos observados: baixa resistência mecânica da fibra, maior porosidade da argamassa em função do elevado consumo de água e o empobrecimento de aglomerantes nos traços com fibra, conforme apresenta a Tabela 3, o que representa uma menor concentração de produtos de hidratação e, portanto, menor resistência mecânica.

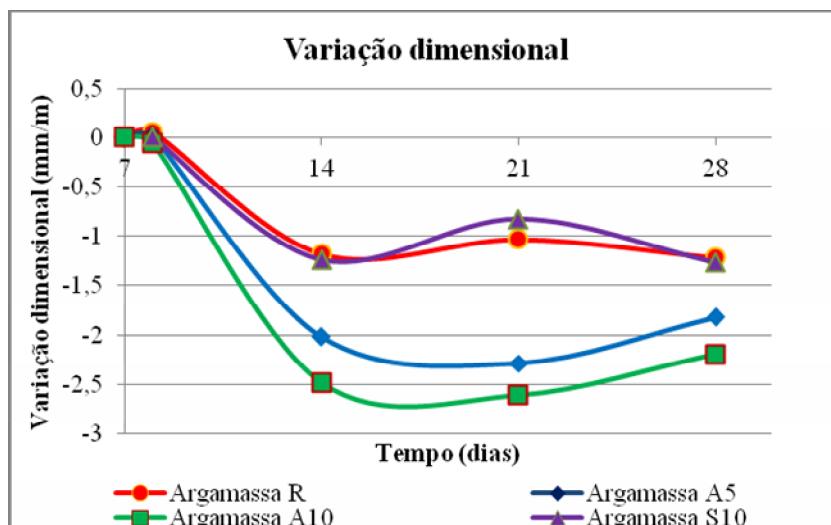
Tabela 3 - Consumo de materiais para confecção das argamassas

	Consumo de materiais (kg/m ³)			
	R	A5	A10	S10
Cimento	100,00	97,95	95,99	96,70
Cal	109,09	106,86	104,71	105,50
Areia	1963,64	1923,42	1884,82	1898,93
Fibra	0,00	10,24	20,07	20,22

Contudo, a redução da resistência das argamassas com fibra não significa menor desempenho quando aplicada na alvenaria. Pois, ao contrário do que se intui, melhores resistências da argamassa não expressam o mesmo para alvenaria. Uma redução de 90% de resistência do material das juntas resulta em apenas 20% de redução da resistência da parede. (VALLE, 2008)

Quanto ao ensaio de variação dimensional linear, foram realizadas medições nas idades de 7, 8, 14, 21 e 28 dias, sendo que a desforma ocorreu no 7º dia após a moldagem. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Resultados médios obtidos no ensaio de variação dimensional linear.



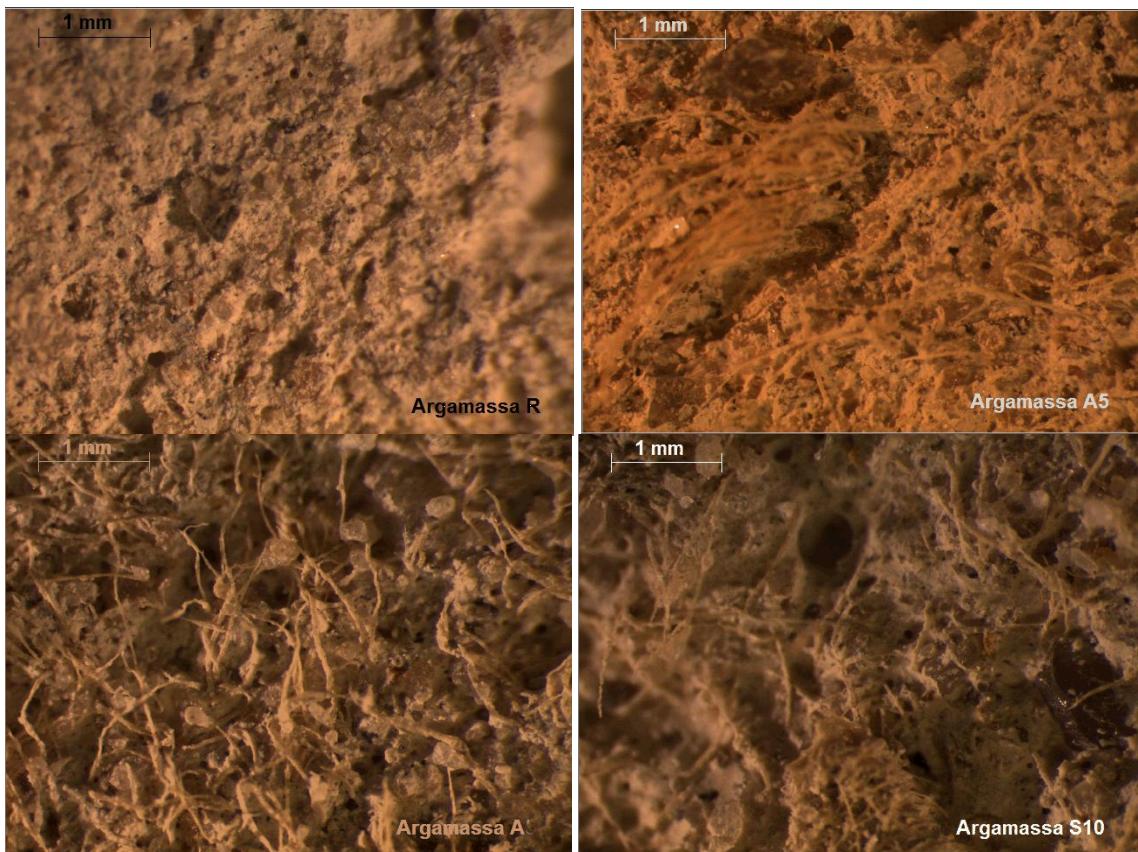
Neste ensaio, a argamassa S10 obteve um comportamento bastante similar ao da argamassa R, de referência, enquanto as demais tiveram retracções superiores. A retração nas idades iniciais está associada principalmente à saída de água por secagem, bem como a perda de massa está associada também à saída de água em excesso adsorvida na argamassa. Assim, é esperado que as argamassas com maiores consumos de água sofram maiores retracções.

No entanto, observa-se que a argamassa S10, mesmo tendo perdido mais água para o meio, não apresentou elevada retração, comportando-se de forma similar à argamassa sem fibra. Esse comportamento se dá em virtude da estruturação de um esqueleto pelas fibras celulósicas. A retração exerce um esforço de tração na argamassa, que não possui grande capacidade de resistência. Porém, a configuração das fibras permite que esse esforço seja transferido para elas, que passam então resistir às solicitações de tração, reduzindo a retração do material.

Vale ressaltar que esse parâmetro é relevante no que diz respeito às patologias de argamassas de assentamento. Um dos principais problemas são as fissuras em decorrência da retração. Assim, uma argamassa capaz de suportar a saída de água sem sofrer grandes retrações, contribuirá significativamente para uma redução do surgimento de fissuras.

Também, foram realizadas imagens em uma lupa estereoscópica, com ampliações de 100 vezes, a fim de se verificar o aspecto das argamassas (Figura 5). Observou-se que a distribuição das fibras foi uniforme e há adesão estruturando um esqueleto na argamassa. Esse fator é relevante, pois, estando presentes nos poros, as fibras dificultam a propagação de possíveis microfissuras e, estando inserida na pasta de cimento, garante-se a adesão da fibra com a matriz. Essa adesão é de fundamental importância para que a fibra contribua com a resistência de tração das argamassas, bem como com a acomodação de deformações, visto que a transferência de cargas entre elas só possível se estiverem bem aderidas. (SILVA, 2006)

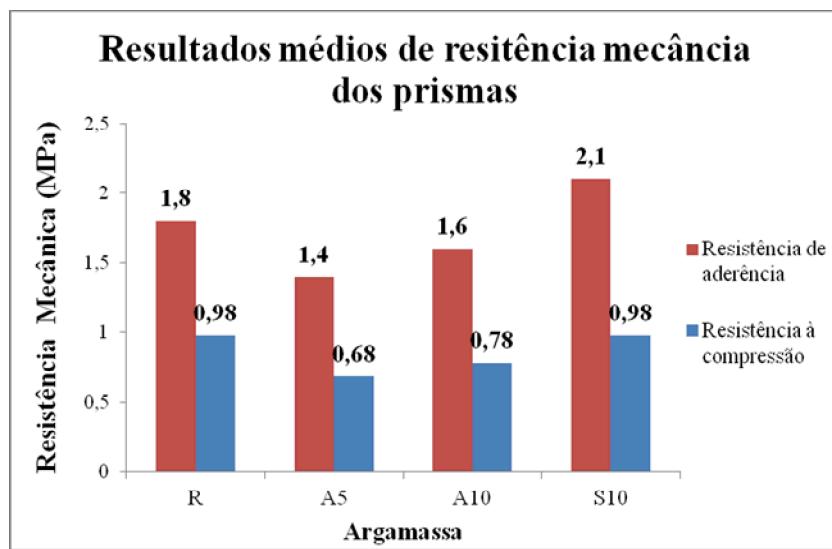
Figura 5 – Imagens das argamassas obtidas em lupa estereoscópica



4.3. Avaliação das juntas de argamassa

Os resultados médios obtidos nos ensaios de resistência de aderência e resistência à compressão são apresentados na Figura 6, a seguir.

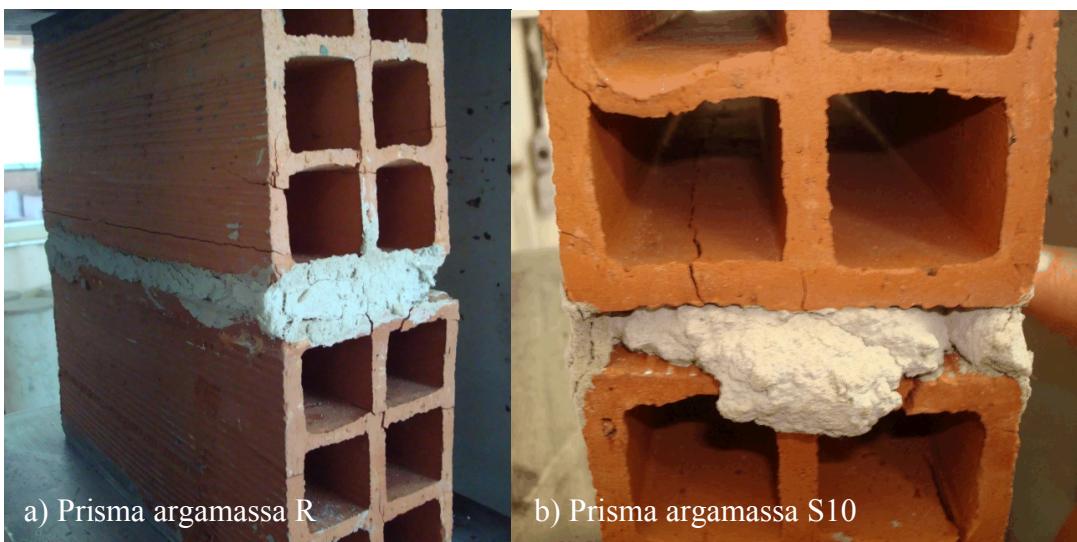
Figura 6 – Resultados médios dos ensaios de resistência mecânica das argamassas.



A resistência à tração na flexão dos prismas está associada à resistência de aderência. Assim, nos prismas com blocos cerâmicos, o rompimento se dá na interface bloco/argamassa. Esse comportamento está relacionado à compatibilidade entre a capacidade do bloco de absorver água, da argamassa reter água e da ligação gerada na interface. O maior valor na resistência dos prismas com a argamassa S10 é explicado pela presença das fibras na interface. Parte significativa da aderência ocorre por meios mecânicos através da cristalização dos aglomerantes, carregados pelo fluxo de água, no interior dos poros do bloco. Tal fluxo de água, segundo Carasek (1996), é condicionado pela relação entre os sistemas de poros do substrato e das argamassas. Sendo que, enquanto os diâmetros (raios médios) dos capilares da argamassa forem superiores aos do bloco, o movimento de água ocorrerá no sentido da argamassa para o substrato. Assim, o que propiciou melhores valores de aderência para a argamassa S10 foi um melhor sistema de fluxo gerado entre essa argamassa e o bloco cerâmico em razão da maior presença de vazios. Tendo a fibra maior teor de ar, o sistema de poros da argamassa manteve-se superior ao do substrato, no que se refere ao diâmetro, de forma mais efetiva, aumentando o fluxo de água e, consequentemente, a quantidade de produtos a serem cristalizados no interior do bloco, fortalecendo o travamento mecânico entre esses materiais.

Já a resistência à compressão é resultado de um bom comportamento da argamassa quando submetida a tensões triaxiais. Observa-se um bom comportamento da argamassa S10, sendo igual ao da argamassa R, confirmando, assim, que a resistência da argamassa pouco influiu na resistência da alvenaria. Também, todos os prismas, quando submetidos à compressão, foram à ruína pelo rompimento do bloco. No entanto, notou-se formas de ruptura diferentes que mantinham relação com a composição dos traços. As argamassas R, A5 e A10 tiveram maioria de rupturas na parede lateral externa e de forma brusca, imediatamente após ao surgimento da trinca. Já os prismas com juntas de argamassa S10, a maior frequência de ruptura se deu com acréscimo de tensão mesmo após surgimento de trinca na base do bloco superior, em contato com a argamassa. Tal comportamento se deu, pois, o material estando confinado, só poderia ter escape lateral. Assim, no momento da ruína, o movimento lateral de escape era contido pela ação mútua de boa adesão entre o bloco e argamassa e a resistência à tração da argamassa. A Figura 7 a seguir, ilustra a posição das trincas.

trincas. Figura 7 – Trinca lateral no bloco superior. b) Trinca na base do bloco superior



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliando todos os resultados dos ensaios contemplados neste trabalho pode-se definir a argamassa com 10% de fibras de papel *kraft*, em relação à massa de aglomerante, em substituição à mesma quantidade de areia atende aos quesitos técnicos para ser empregada em alvenaria de blocos cerâmicos. Isto porque essa argamassa tem boa trabalhabilidade, valores de retração similares aos da argamassa sem fibras e confere à alvenaria resistência à compressão igual e resistência à tração na flexão superior em relação à argamassa de referência.

Quanto ao aspecto sustentável, a produção de argamassas com fibras advindas de embalagens de cimento e de cal, tem potencial para absorver parte significativa desse resíduo, reutilizando-o dentro da própria cadeia produtiva sem agregar novos impactos ambientais.

Também, no que se refere ao aspecto econômico, o emprego desta argamassa se mostra viável. O investimento necessário se resume à aquisição do equipamento para processar as embalagens. As economias geradas com extinção da necessidade de transporte do resíduo, em um prazo de até um mês, equivale ao custo do equipamento. Outra vantagem se faz quanto à economia com materiais na produção da argamassa. O maior volume produzido sem a necessidade de acréscimos de cimento, cal ou areia, representa uma economia de 27% na composição do traço de 10% de fibras em substituição.

Assim, os resultados obtidos até o momento são satisfatórios. Nas próximas etapas da pesquisa serão ainda avaliados aspectos de durabilidade das argamassas com fibras de papel *kraft*, bem como a produção de alvenarias estruturais com blocos de concreto.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao laboratório Calos Campos Consultoria e Construções Ltda. pela contribuição na realização de vários ensaios deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos** – Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. 285f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- CARASEK, H. **Argamassas.** In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil**, 2^aed., São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, p. 893-944.
- CONAMA. **Resíduos da Construção Civil** – Resolução 307 de 05 de julho de 2002. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- SILVA, R. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno** – estudo do comportamento reológico e mecânico. 2006. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- VALLE, J. B. S. **Patologia das Alvenarias:** Causa / Diagnóstico / Previsibilidade. 2008. 72f. Monografia (Especialização em Tecnologia da Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.