

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO MODIFICADAS POLIMERICAMENTE PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

PERFORMANCE EVALUATION OF POLYMER-MODIFIED BEDDING MORTARS FOR STRUCTURAL MASONRY

Fernanda Bianchi Pereira da Costa¹, Gihad Mohamad², Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastr³, Alexandre Silva de Vargas⁴, Mônica Regina Garcez⁵

¹Engenheira Civil, mestranda no programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. E-mail: fernanda.bpc@gmail.com.

²Professor Doutor na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. E-mail: gihad.civil@gmail.com.

³Professora Doutora na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR
E-mail: elizabete_nakanishi@hotmail.com.

⁴Professor Doutor na Universidade Feevale. E-mail: alexandrebca@gmail.com.

⁵Professora Doutora na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
E-mail: garcez.mr@gmail.com.

RESUMO

A alvenaria estrutural carece de avanços tecnológicos no desígnio de se aproximar do adiantamento em que operam as estruturas de concreto armado. Neste sentido, avaliar diferentes alternativas tecnológicas torna-se uma necessidade, a fim de melhorar o desempenho e as propriedades mecânicas das estruturas de alvenaria. Assim, este estudo tem como objetivo utilizar argamassas modificadas polimERICAMENTE para o assentamento de paredes de alvenaria estrutural, verificando sua eficiência quanto à resistência à compressão e à aderência entre argamassa e bloco. Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização mecânica em argamassas com adição de 0%, 5% e 10% de acetato de polivinila (PVA) e copolímero estireno-butadieno (SBR). Os ensaios incluíram a avaliação das argamassas no estado fresco (teor de ar incorporado) e estado endurecido (módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão, resistência à compressão e porosimetria por intrusão de mercúrio). Foram realizados ensaios de resistência à compressão em prismas de dois blocos cerâmicos, e aderência entre o bloco e a argamassa. Os resultados demonstram que a argamassa com 10% de PVA apresentou o melhor desempenho mecânico, pois aumentou a aderência com o substrato e apresentou resistência à compressão nos primas superior ao valor obtido com 0% de polímero.

Palavras-chave: alvenaria estrutural, argamassa de assentamento, polímeros.

ABSTRACT

Structural masonry requires technological advances to equate the actual state of development constructions that usually operates with the conventional reinforced concrete structures. Evaluate different technological alternatives it is a necessity in order to improve the performance and mechanical properties of masonry. This study aims to use polymer-modified bedding mortars for structural masonry to increase the mechanical strength and ductility. For this purpose a standard mortar is used with addition of 0%, 5% and 10% of polyvinyl acetate (PVA) and copolymer styrene-butadiene rubber (SBR). Several tests to characterize the mortars, that include, in fresh condition (quantity of incorporated air) and hardened condition (dynamic modulus of elasticity, flexural strength, compressive strength and mercury intrusion porosimetry), were performed. It was also performed compressive strength tests in prisms ceramic blocks with the different types of mortars and adherence tests between block and mortars. The results show that the mortar with 10% PVA recorded the best mechanical performance. This mortar has an increased adherence to substrate and obtained the compressive strength higher than the value obtained with 0% polymer materials.

Keywords: structural masonry, bedding mortar, polymer.

1 – INTRODUÇÃO

No início da década de 1980, a alvenaria estrutural passou a ser uma proposta interessante na indústria da construção civil brasileira, devido à racionalização do processo. Entretanto, a falta de conhecimento do sistema e de projetos mais elaborados, acarretou no surgimento de inúmeras patologias apresentadas por estas edificações. A partir da década de 90, com os incentivos governamentais e o avanço da tecnologia brasileira em relação à alvenaria

estrutural, houve um crescimento significativo desta forma de construir.

Segundo Mohamad (2007), o desenvolvimento da alvenaria estrutural na indústria da construção civil caracteriza-se pelas vantagens que este sistema possui em comparação a outros sistemas convencionais, tais como: técnicas executivas simplificadas, facilidade de controle nas etapas de produção e eliminação de interferências, diminuindo, assim, o desperdício de materiais produzidos pelo constante retrabalho. Em paralelo a este crescimento, compreende-se a necessidade de obtenção de grandes

avanços para que a alvenaria estrutural possa se aproximar do desenvolvimento que operam as estruturas convencionais de concreto armado. Para tanto, é imprescindível o estudo de diferentes alternativas tecnológicas para o melhoramento do desempenho e das propriedades mecânicas do conjunto (JUSTE, 2001).

A qualidade da alvenaria estrutural está diretamente relacionada com os materiais e técnicas utilizadas nesse sistema. Segundo Pasquali (2007), o incremento da qualidade da alvenaria está ligado à busca de materiais que permitam ao conjunto melhor desempenho. Assim, um dos princípios fundamentais para que a alvenaria estrutural tenha eficácia ao longo de sua vida útil como estrutura, é o emprego de materiais adequados, uma vez que a utilização de materiais de má qualidade resulta em assentamento fora do prumo, do nível de alinhamento, além da probabilidade de não conferir à parede resistência mecânica especificada em projeto.

A resistência à compressão da alvenaria, dentro das propriedades mecânicas atuantes na mesma, é o parâmetro mais importante para alvenaria estrutural, pois as paredes de alvenaria estão submetidas a carregamentos verticais, de características compressivas, mais intensos que os carregamentos horizontais. Izquierdo (2011) enfatiza que a principal característica da alvenaria estrutural é o seu comportamento à compressão, sendo os tijolos ou blocos os elementos mais importantes nessa resistência. Contudo, lembra também, que é de essencial importância o conhecimento das funções e características de cada componente da alvenaria isoladamente, para que se tenha um melhor entendimento do desempenho estrutural deste tipo de sistema construtivo.

De acordo com Muller e Agopyan (1991), ensaios de compressão de blocos ou tijolos e da argamassa, individualmente, não permitem uma boa avaliação do comportamento mecânico da parede, pois este não depende apenas das características dos seus componentes, mas, também, da interação entre eles, fornecido pela aderência entre os mesmos. Izquierdo (2011) afirma que o surgimento de tensões multiaxiais proporcionado pela aderência é dependente da rigidez entre os componentes (bloco e argamassa), no qual existe uma tendência da argamassa em diminuir as deformações laterais ao longo do carregamento, devido à porosidade, sendo este um fator determinante para o modo de ruptura do material.

Neste contexto, o grande desafio gerado ao meio técnico consiste em como aumentar o desempenho à compressão da alvenaria. Para isso, é necessário compreender os mecanismos que levam o conjunto a ruptura e, com isso, evoluir para o desenvolvimento de novos componentes com propriedades modificadas para atender a finalidade estrutural.

Assim, além do estudo das unidades, a análise do comportamento da argamassa de assentamento é fundamental, uma vez que esta garante o monolitismo e a solidez necessária ao conjunto, cabendo ressaltar que a função principal da argamassa é transmitir todas as ações atuantes da estrutura até a fundação. Logo, uma argamassa considerada adequada para alvenaria estrutural está vinculada com a capacidade de dissipação dos esforços

atuantes na mesma, sem que incida fissuras prejudiciais a alvenaria. Para tanto, é necessário um estudo adequado da sua composição e dosagem, assim como a capacidade de aderência entre o bloco e a argamassa (SOLORZANO, 1994).

Portanto, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de argamassas modificadas poliméricamente, como uma alternativa tecnológica viável em relação às argamassas convencionais.

2 – ARGAMASSAS MODIFICADAS POLIMERICAMENTE

A ciência dos materiais tem mostrado uma gama de possibilidades de associação de argamassas e concretos com materiais distintos, no intuito de melhorar suas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade. Dentre tais materiais encontram-se as escórias de alto forno, as cinzas volantes, a sílica ativa, as fibras naturais e sintéticas, os superplastificantes e, mais recentemente, os polímeros. A utilização de polímeros no Brasil é, ainda, pouco empregada. Porém, em países industrialmente desenvolvidos, seu uso tem apresentado efeitos favoráveis para a melhoria da qualidade e do desempenho das construções.

Segundo Silva e Roman (2001), os polímeros adicionados nas argamassas têm a função de conferir maior capacidade de retenção de água, melhor trabalhabilidade, maior adesividade e maior elasticidade às mesmas. Os látex mais utilizados na modificação dos compósitos à base de cimento Portland são: acetato de polivinila (PVA), copolímeros acrílicos, copolímeros estireno-acrílico (SA), copolímeros vinil maleato (AM), copolímeros etileno vinil acetato (EVA), copolímeros estireno-butadieno (SBR) e hidróxido de celulose (HEC) (CESTARI, 2001). Neste trabalho, optou-se pelo emprego do polímero PVA, pela maior utilização no mercado, e o SBR, um copolímero de menor custo e grande disponibilidade.

As pequenas quantidades de polímeros adicionadas às argamassas colantes (até 5% em relação ao peso de cimento) aumentam sua viscosidade e capacidade de retenção de água, por formarem uma película muito fina e impermeável. As partículas do polímero e as bolhas de ar que surgem durante a mistura promovem, juntas, um deslizamento entre as demais partículas da argamassa, concedendo melhor trabalhabilidade. Os efeitos serão maiores, quanto maior for o teor de polímero aplicado, resultando, com isso, em maior resistência de aderência em substratos porosos. Devido a sua alta atividade superficial, o polímero tem efeito plastificante e incorporador de ar, resultando, também, em maior tempo de pega. Contudo, quanto maior o teor de polímero aplicado, menor a resistência mecânica (tração, compressão e flexão) da argamassa (CHANDRA; OHAMA, 1994).

Siqueira (2007) também salienta que a utilização de látex em argamassas aumenta significativamente o teor de ar incorporado na mesma. Entretanto, apesar da incorporação de ar diminuir a resistência à compressão, promove uma melhora considerável na absorção de deformações.

De acordo com o American Concrete Institute (1995), as partículas do látex, além de reduzirem a quantidade de movimentação de água por meio do bloqueio dos capilares, também tampam esses canais e restringem a propagação de fissuras. Isso resulta em incrementos na resistência à flexão.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com o objetivo proposto neste trabalho, foi desenvolvido um programa experimental buscando comparar mecanicamente o desempenho de argamassas com e sem a adição de polímeros, destinadas ao assentamento de alvenaria estrutural. Assim, as mesmas foram avaliadas, no estado fresco, quanto à consistência e teor de ar incorporado, e no estado endurecido, quanto à resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade dinâmico e porosimetria por intrusão de mercúrio. Além disso, foram realizados ensaios de resistência à compressão em prismas de dois blocos cerâmicos e ensaios de aderência por arrancamento.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados na confecção das argamassas consistem em: cimento Portland pozolânico CP IV-32 (ABNT NBR 5736, 1999), cal hidráulica CH-III (ABNT NBR 7175:2003), areia natural média de origem quartzosa, acetato de polivinila (PVA), copolímero estireno-butadieno (SBR) e água deionizada.

Os polímeros possuem aspecto branco, leitoso, isento de bolhas de ar e de qualquer resíduo ou material em suspensão. Na Tabela 1 são apresentadas as características físicas.

Tabela 1 – Propriedades físicas dos polímeros

Propriedades	Acetato de Polivinila (PVA)	Estireno-butadieno (SBR)
Aspecto	Branco, fluído	Branco, fluído
Densidade	≅ 1,02 g/cm ³	≅ 0,97 g/cm ³
Teor de sólidos	12 a 14 %	49 a 51 %

Fonte: Fabricante.

Para confecção dos prismas de alvenaria estrutural, foram utilizados blocos cerâmicos de acordo com a ABNT NBR 15270:2005, cujas propriedades são encontradas na Tabela 2. Os materiais cerâmicos apresentam menores custos quando comparados aos sílico-calcário e concreto, além de possuírem bom desempenho térmico e acústico.

Tabela 2 – Propriedades do bloco cerâmico utilizado

Dimensões (cm)	14x19x29
Área Bruta	406 cm ²
Área Líquida	190,82 cm ²
f_{bk}	10 MPa

Fonte: Fabricante.

Os demais valores de caracterização física do cimento, cal e areia utilizados neste trabalho, determinados de acordo com a ABNT NBR NM 23:2001, ABNT NBR NM

45:2006 e ABNT NBR NM 52:2009, podem ser visualizados na Tabela 3. A composição granulométrica da areia, obtida da ABNT NBR NM 248:2003, encontra-se na Tabela 4.

Tabela 3 – Características físicas dos materiais

Material	Massa aparente (g/cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
Cimento (CP-IV)	0,99	2,86
Cal (CH-III)	0,68	2,39
Areia média	1,61	2,70

Tabela 4 – Composição granulométrica da areia

Peneira, abertura (mm)	% Retida	% Retida acumulada
4,80	0,08	0,08
2,40	1,70	1,78
1,20	3,49	5,27
0,60	4,65	9,92
0,30	52,39	62,31
0,15	34,75	97,06
Fundo	2,90	99,96
Dimensão máxima característica		2,4 mm
Módulo de finura		2,764

3.2 Traços

Para confecção das argamassas utilizou-se o traço 1:1:6 (cimento: cal: areia, em volume), conforme recomendado pela norma BS 5628-3 (2005) no emprego de assentamento de alvenarias em geral, ressaltando-se pela boa relação entre resistência à compressão e flexão, trabalhabilidade e economia. Os polímeros foram adicionados às matrizes nas porcentagens de 0%, 5% e 10%. O traço utilizado, bem como a porcentagem de polímero correspondente, podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Designação dos traços

Argamassa /Código	A0	AP5	AP10	AS5	AS10
Traço (volume)	1:1:6	1:1:6	1:1:6	1:1:6	1:1:6
PVA (%)	–	5,0	10,0	–	–
SBR (%)	–	–	–	5,0	10,0
Relação a/agl.	0,805	0,770	0,763	0,760	0,745

A relação água/aglomerante foi determinada por meio da consistência da argamassa, fixada em (230 ± 10) mm, conforme recomendando pela ASTM C 270 (2008).

3.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para realização dos ensaios nas argamassas, foram moldados corpos de prova nas dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm, conforme os preceitos da ABNT NBR 13279:2005. Os corpos de prova permaneceram 48h nos moldes em ambiente de laboratório, com temperatura e umidade

relativa do ar de aproximadamente 23 °C e 60%, respectivamente. A seguir, os mesmos foram desmoldados e mantidos nas mesmas condições até a data de teste, em 28 dias. Foram confeccionados, ao todo, trinta corpos de prova, sendo seis referentes a cada traço.

A moldagem dos prismas para os ensaios de compressão axial foi realizada de acordo com a ABNT NBR 15812-2:2010, com a utilização de dois blocos sobrepostos, com juta de argamassa em toda a área líquida do bloco e com capeamento total (sobre toda a superfície dos blocos), mantido em plano uniforme. Ao todo, foram moldados quinze prismas, sendo três referentes a cada traço. A espessura das juntas atendeu ao requisito da ABNT NBR 15812-2:2010, mantendo-se em (10 ± 3) mm.

Para a realização dos ensaios de aderência na interface entre os elementos (bloco/argamassa), as argamassas, com e sem adição de polímeros, foram assentadas na face lateral dos blocos, possibilitando a execução de seis ensaios de arrancamento referente a cada traço.

3.4 Caracterização das argamassas

As argamassas foram caracterizadas no seu estado fresco, quanto ao teor de ar incorporado, e estado endurecido, quanto ao módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão, resistência à compressão e porosimetria por intrusão de mercúrio. A descrição da metodologia aplicada a cada ensaio encontra-se descrita nos itens subsequentes.

3.4.1 Estado fresco

Os teores de ar incorporado em cada argamassa foram determinados de acordo com a ABNT NBR 13278:2005. Os resultados são referidos na forma de densidades de massa considerando o volume de vazios e densidade de massa teórica da argamassa, sem vazios.

3.4.2 Estado endurecido

O módulo de elasticidade dinâmico das argamassas foi obtido por meio do ensaio de emissão de pulso elétrico de baixa frequência ultrassônica, conforme a ABNT NBR 15630:2008. O tempo de propagação da onda, em μ s, foi medido por meio de um aparelho de ultrassom, com transdutores de 54 kHz e forma direta de leitura. Com a obtenção dos dados, presumiu-se a velocidade de pulso em km/s, dividindo-se o comprimento do corpo de prova pelo tempo resultante. O módulo de elasticidade dinâmico (E_d) foi determinado por meio da equação proposta pela ABNT NBR 15630:2008.

Os ensaios de resistência à tração na flexão e compressão nas argamassas foram realizados de acordo com a ABNT NBR 13279:2005. Primeiramente, os corpos de prova foram rompidos à tração na flexão e, na sequência, fazendo-se o uso das suas metades, os mesmos foram rompidos à compressão axial.

As quantidades e tamanhos dos poros das argamassas foram determinados por meio do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio, conforme a ASTM D 4404 (2010). O ensaio consiste na determinação da porosidade

do material por meio da pressão realizada sob o mercúrio. Os resultados são expressos na forma de porosidade total, que indica o volume total acumulado de mercúrio intrudido, e na forma de curvas de distribuição do tamanho dos poros.

3.5 Propriedades mecânicas dos prismas de alvenaria estrutural

Os ensaios de compressão axial em prismas de dois blocos foram executados para avaliar a capacidade de resistência e de ductilidade das alvenarias construídas com as argamassas modificadas, a fim de comparar com a alvenaria de argamassa padrão.

A determinação da resistência à compressão nos prismas foi feita de acordo com a ABNT NBR 15812-2:2010, ensaiados aos 28 dias em série de três prismas para cada tipo de argamassa. Para tanto, foi utilizada uma prensa hidráulica de 3 MN da marca WPM.

Na sequência foram realizados ensaios de aderência na interface bloco/argamassa. Segundo Mohamad (2007), a aderência é a principal responsável pelo surgimento das tensões de confinamento que induzem um aumento na rigidez da argamassa e transfere tensões para a unidade. Para a realização dos ensaios de aderência na interface entre os elementos, as argamassas, com e sem adição de polímero, foram assentadas na face lateral dos blocos. Os arrancamentos, com diâmetro de corte correspondente a 49,5 mm, foram realizados por meio de um aparelho de tração digital calibrado na escala de 5000 N. O procedimento foi executado de acordo com a ABNT NBR 13528:2010.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de caracterização das argamassas no estado fresco (teor de ar incorporado) e estado endurecido (módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração na flexão, resistência à compressão e porosimetria), bem como os ensaios mecânicos (resistência à compressão e aderência) nos prismas de alvenaria, encontram-se apresentados nas subseções a seguir.

4.1 Teor de ar incorporado

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos em relação ao teor de ar incorporado nas argamassas no estado fresco, realizado conforme os procedimentos da ABNT NBR 13278:2005. Assim, foram calculadas as densidades de massa (A) considerando o volume de vazios, a densidade de massa teórica (B) desconsiderando os vazios presentes e, por fim, o teor de ar incorporado (AI).

Tabela 6 – Valores médios de teor de ar incorporado

Exemplar	A (g/cm ³)	B (g/cm ³)	AI (%)
A0	2,055	2,209	6,95
AP5	2,008	2,224	9,72
AP10	2,021	2,227	9,23
AS5	1,984	2,230	11,02
AS10	1,945	2,235	12,98

Nota-se que o aumento da porcentagem de polímero aumentou o teor de ar incorporado nas misturas, com exceção da argamassa com adição de PVA que, com a variação da porcentagem de 5% para 10%, apresentou uma incorporação de ar levemente menor. Entretanto, por meio de uma análise de variância, a diferença entre os teores de ar incorporado, não pode ser considerada significativa. Dessa forma, presume-se que a adição dos polímeros, de maneira geral, aumenta o teor de ar incorporado na mistura quando comparado à argamassa sem adição.

Segundo Sabbatini e Baía (2008), os valores de massa específica real (considerando os vazios na pasta) juntamente com o teor de ar incorporado interferem na trabalhabilidade de uma argamassa no estado fresco. Neste contexto, argamassas com menor valor de massa específica e maior teor de ar apresenta melhor trabalhabilidade. Diante disso, é possível observar que a adição de polímeros, além de reduzir a relação água/aglomerante, confere uma diminuição da densidade real e o aumento do teor de ar incorporado à mistura, resultando em ganhos na trabalhabilidade.

4.2 Módulo de elasticidade dinâmico

Na Tabela 7 são mostrados os resultados médios obtidos em relação ao módulo de elasticidade dinâmico (E_d) para os diferentes tipos de argamassas modificadas, bem como o desvio padrão (Sd) e coeficiente de variação (CV) das amostras.

Tabela 7 – Valores médios de módulo de elasticidade dinâmico das argamassas

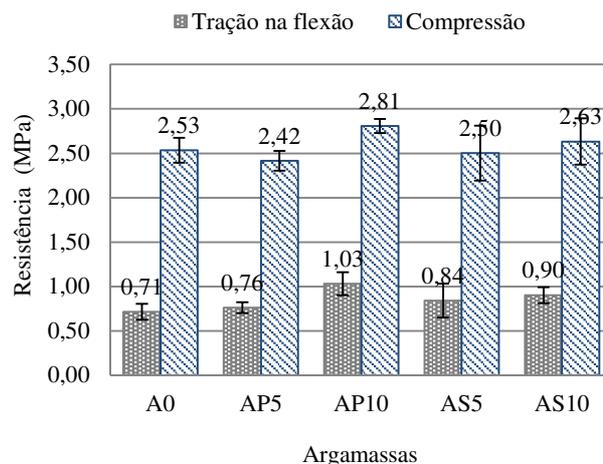
Exemplar	E_d (GPa)	Sd (MPa)	CV (%)
A0	9,800	2,42	2,47
AP5	9,360	5,13	5,48
AP10	10,710	6,72	6,28
AS5	9,058	1,70	1,88
AS10	9,060	0,77	0,85

De maneira geral, a adição de polímeros diminuiu o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas, com exceção da argamassa AP10 (10% de polímero PVA). É importante frisar que o módulo de elasticidade representa a relação tensão/deformação. Logo, quanto menor o módulo de elasticidade da argamassa, maior a sua capacidade de absorver deformações. Contudo, segundo Godoy e Barros (1999), a resistência do filme de polímero contribui para o aumento da resistência à compressão da argamassa, podendo elevar o módulo de deformação da mesma, desenvolvendo, ainda, a capacidade da argamassa de absorver deformações. Este fato foi, portanto, verificado para a argamassa AP10, já que as resistências à compressão e tração na flexão foram superiores as demais, conforme é evidenciado na seção 4.3.

4.3 Resistência à compressão e tração na flexão

Na Figura 1 são mostrados os dados das resistências à tração na flexão e compressão, distribuídos em um histograma, juntamente com as barras de desvio padrão.

Figura 1 – Valores médios de resistência à compressão e tração na flexão das argamassas



Como previsto, as argamassas modificadas polimericamente apresentaram uma maior resistência à tração quando comparadas a argamassa sem aditivo. Isto se deve a maior capacidade de deformação das argamassas quando adicionados polímeros.

É possível observar que a argamassa AP10, apesar de possuir um maior módulo de elasticidade, como mostrado na seção 4.2, também consegue manter a capacidade de absorver deformações, apresentando uma maior resistência à tração na flexão. É neste aumento que se torna notável a contribuição da resistência mecânica do filme de polímero.

Em relação à resistência à compressão média, todas as argamassas, com exceção da argamassa AP5 (5% de PVA) obtiveram resistências superiores à argamassa referência (A0), sendo o valor obtido para a argamassa AP5 pouco inferior, considerando o desvio padrão. Cabe ressaltar que a resistência à compressão da argamassa não tem grande influência na resistência à compressão da alvenaria, conforme mencionado por alguns pesquisadores (IZQUIERDO, 2011; PASQUALI, 2007; JUSTE, 2001; OLIVEIRA JUNIOR, 1992). Segundo Izquierdo (2011), do ponto de vista econômico, não há necessidade de utilizar uma argamassa com elevada resistência à compressão, sendo mais desejável a utilização de argamassas menos resistentes e mais deformáveis, para acomodar pequenas deformações.

4.4 Porosimetria por intrusão de mercúrio

Na Figura 2 é mostrada a curva volume de mercúrio *versus* diâmetro dos poros, no qual indica a quantidade de poros de um determinado diâmetro, por meio do volume de mercúrio intrudido, referente a cada argamassa. Na Figura 3 é mostrada a curva volume de mercúrio acumulado *versus* diâmetro dos poros, apontando a quantidade total de mercúrio intrudido, ou seja, a porosidade total da amostra por unidade de massa da mesma, também referente a cada traço de argamassa.

Figura 2 – Distribuição dos tamanhos dos poros das argamassas

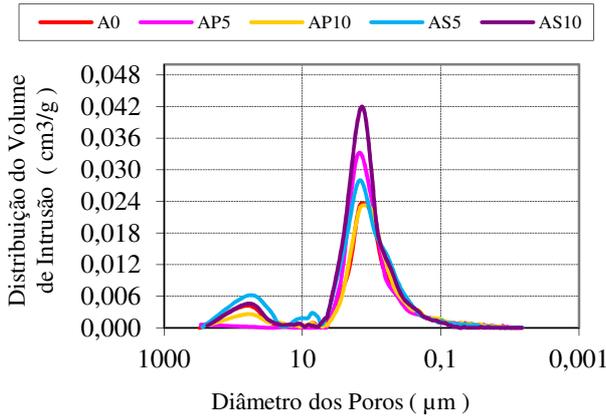
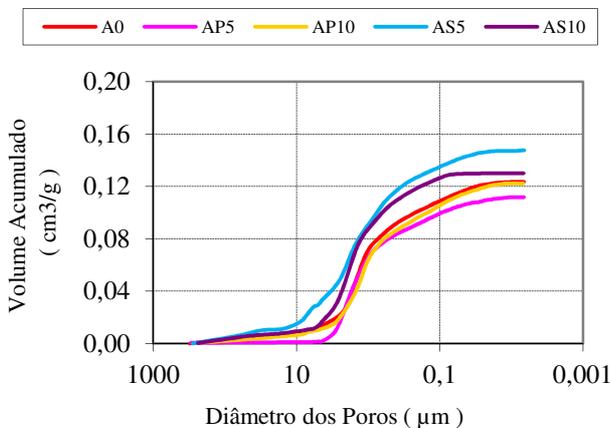


Figura 3 – Volume de poros acumulados



Na Figura 2 é possível notar que, em todos os diferentes tipos de argamassa estudados, a maior quantidade de poros é de diâmetro próximo a 2,0 μm . A Figura 3 mostra que a argamassa AS5 (5% de SBR) possui uma maior porosidade total, seguido da argamassa AS10 (10% de SBR), A0 (0% de polímero) e AP10 (10% de PVA), com valores totais visualmente próximos. Por fim, a argamassa AP5 (5% de PVA) apresentou uma porosidade total inferior às demais.

Assim, nota-se que, em relação à argamassa padrão A0, o copolímero SBR conferiu as maiores porosidades total às argamassas, ao contrário da adição do polímero PVA. Isto se deve, inicialmente, ao maior teor de ar incorporado proporcionado pela adição do SBR às argamassas, aliado ao maior diâmetro dos poros de ar. As argamassas com PVA possuíram, também, maior teor de ar incorporado em relação a padrão A0, porém com menor diâmetro dos poros no estado endurecido, conforme evidenciado na Figura 2, para diâmetros maiores que 10 μm .

No estado fresco, as argamassas apresentam vazios devido ao ar aprisionado durante a fase da mistura. Na medida em que as reações de hidratação do cimento e a evaporação da água ocorrem, as partículas de látex coalescem em filmes ou membranas, envolvendo o cimento hidratado, formando uma comatriz que reveste os agregados e preenche os vazios intersticiais (OHAMA,

1987). Neste caso, os resultados evidenciam a capacidade de preenchimento dos poros pela presença do polímero PVA quando comparado ao copolímero SBR. Assim, quando comparado à argamassa padrão A0, apesar de apresentar maior teor de ar incorporado no estado fresco, o polímero PVA, presente nas argamassas AP5 e AP10, precipita nos poros, diminuindo sua quantidade no estado endurecido.

4.5 Resistência à compressão dos prismas

As resistências à compressão dos prismas foram determinadas aos 28 dias, conforme a ABNT NBR 15812-2:2010. É importante frisar que, a característica mecânica do bloco utilizado não foi uma variável determinante na resistência dos prismas, uma vez que são garantidas uniformidades na resistência do bloco (i.e., 10 MPa, conforme Tabela 2). Neste caso, o fator determinante está diretamente relacionado às resistências das argamassas. No entanto, o principal objetivo deste ensaio é verificar o modo de ruptura dos prismas e, sobretudo, das argamassas de assentamento confinadas, uma vez que maiores porosidades podem resultar no esmagamento da junta, anteriormente ao rompimento por tração ou esmagamento do bloco.

Nesse contexto, as rupturas, em geral, apresentaram fissuração vertical, além de fendilhamento do bloco e esmagamento da argamassa, que ocorreram devido à aderência entre os elementos, impedindo a argamassa de se deformar lateralmente, ocasionando o surgimento de tensões laterais de tração no bloco e de compressão na argamassa. Houve, em alguns casos, esmagamentos localizados devido à concentração de tensão provocada pela falta de nivelamento no momento da moldagem.

Na Figura 4 é mostrada uma das rupturas ocorridas nos prismas confeccionados com argamassa padrão A0, no qual se nota o rompimento na argamassa ao serem geradas tensões de tração no bloco. Na Figura 5 é evidenciada uma das rupturas ocorridas nos prismas moldados com argamassa AP10 (10% de PVA). Na Figura 5 é ilustrado, ainda, o fendilhamento e rompimento do bloco ao serem geradas as tensões de tração no mesmo.

Figura 4 – Ruptura da argamassa em prisma com argamassa A0



Figura 5 – Fendilhamento e rompimento do bloco em prisma com argamassa AP10



Na Tabela 8 são mostrados os resultados referentes às resistências à compressão dos prismas de alvenaria estrutural (f_{pm}) para os diferentes tipos de argamassas modificadas, bem como o desvio padrão (Sd) e coeficiente de variação (CV).

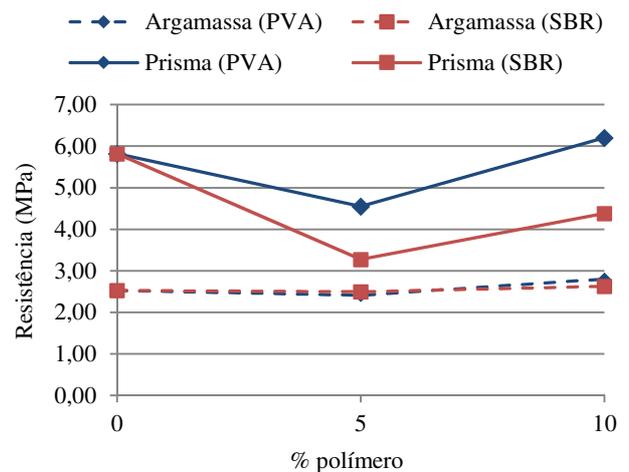
Tabela 8 – Valores médios de resistência à compressão dos prismas de alvenaria.

Exemplar	f_{pm} (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
P-A0	5,82	0,33	5,71
P-AP5	4,54	0,07	1,65
P-AP10	6,20	0,27	4,49
P-AS5	3,27	0,17	5,31
P-AS10	4,38	0,52	11,91

Os prismas moldados com a argamassa AP10 (10% de PVA) apresentaram melhor resistência média à compressão. Os demais prismas obtiveram, sem exceção, resistências à compressão inferiores quando comparadas ao primeiro. Cabe ressaltar que, durante a análise de ruptura, os prismas com argamassas modificadas polimERICAMENTE resultaram em uma ruptura mais lenta, uma vez que as argamassas dúcteis apresentam maior capacidade de absorver as deformações. Já nos prismas moldados com a argamassa A0, por esta ser uma argamassa mais rígida, a ruptura ocorreu de forma frágil, com fissuração e rompimento súbito.

Dados os resultados de resistência à compressão das argamassas e resistência à compressão dos prismas, é possível obter uma correlação entre eles, conforme mostrado na Figura 6. Nota-se que o aumento ou diminuição da resistência média das argamassas ocasionam o mesmo efeito na resistência média dos prismas, no qual existe a tendência do aumento de resistência para ambos os casos, com o aumento do teor de polímeros de 5% para 10%.

Figura 6 – Relação entre o teor de polímeros e as resistências médias à compressão das argamassas e prismas



4.6 Aderência na interface bloco/argamassa

Na Tabela 9 são mostrados os resultados referentes às resistências médias de aderência à tração (f_{am}), obtidas para cada tipo de argamassa, juntamente com desvio padrão (Sd) e o coeficiente de variação (CV).

Tabela 9 – Valores médios de resistência de aderência à tração

Exemplar	f_{am} (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
B-A0	0,46	0,03	5,49
B-AP5	0,63	0,06	9,88
B-AP10	0,67	0,07	10,92
B-AS5	0,47	0,06	11,60
B-AS10	0,48	0,04	8,16

Observa-se que todos os blocos assentados com argamassa modificada polimERICAMENTE obtiveram uma melhor resistência de aderência à tração. Nas Figuras 7 e 8 são ilustradas as rupturas realizadas nos corpos de prova com as argamassas A0 e AP10 respectivamente, as quais obtiveram os maiores e menores valores de resistência média de arrancamento. Ao analisar as figuras, nota-se que o corpo de prova constituído de argamassa A0 apresentou quatro rupturas na interface bloco argamassa e duas na argamassa, enquanto que o corpo de prova constituído de argamassa AP10 apresentou, das suas seis rupturas, três no bloco e outras três na interface bloco-argamassa, sendo nenhuma delas presente na argamassa em si. Na Tabela 10 é possível observar um resumo dos tipos de ruptura ocorrido nas demais argamassas.

Figura 7 – Rupturas por arrancamento em bloco com argamassa A0



Figura 8 – Rupturas por arrancamento em blocos com argamassa AP10



Tabela 10 – Tipos de ruptura obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração por arrancamento

Exemplar	Tipo de ruptura		
	Bloco	Interface	Argamassa
B-A0	–	4	2
B-AP5	–	2	4
B-AP10	3	3	–
B-AS5	–	2	4
B-AS10	–	3	3

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho verificou a utilização de argamassas de assentamento modificadas poliméricamente em comparação a argamassas de referência empregadas em obras de alvenaria estrutural. Dos resultados, conclui-se que adição de polímeros contribuiu no melhoramento da elasticidade das argamassas, comprovado pelo aumento da resistência à tração na flexão. Além disso, forneceu um aumento substancial na adesividade da argamassa por meio da aderência com o substrato cerâmico. Juntamente com tais ganhos mecânicos, os polímeros atribuíram, ainda, melhor trabalhabilidade às mesmas argamassas, pois foi necessária uma menor quantidade de água para obtenção da consistência de (230 ± 10) mm.

De maneira geral, a argamassa que apresentou melhor desempenho foi a AP10 (argamassa com 10% de PVA). O maior módulo de elasticidade obtido em comparação as demais, pôde ser explicado pela eficiência da resistência do filme de polímero que, além de contribuir para aumento da resistência à compressão, desenvolveu a capacidade de absorver deformações, também comprovado pelo alto valor de resistência à tração na flexão. Os prismas moldados com a argamassa AP10 apresentaram valor médio de resistência à compressão superior ao valor médio obtido com argamassa padrão (argamassa com 0% de polímero). Além disso, a mesma conferiu melhor resistência de aderência com o substrato cerâmico.

Por meio das características visuais de ruptura obtidas durante os ensaios, observou-se, genericamente, que as argamassas induziram elevadas tensões laterais nos blocos. O esfacelamento ocorrido nos primas aconteceu na face inferior do bloco superior. Verificou-se, depois, uma perda de aderência entre a argamassa e o bloco, gerando o esmagamento da junta de assentamento. Notou-se, também, a ocorrência de fendilhamento na superfície dos blocos em contato com as argamassas apresentando o esmagamento localizado da junta de assentamento. As fissuras verticais nos prismas podem ser traduzidas pelo fenômeno.

Pode-se sugerir como hipótese, por meio da análise visual dos rompimentos, que o início da perda da capacidade resistente do conjunto bloco-argamassa aconteceu somente após o surgimento de esfacelamento na superfície do bloco superior. Logo, não é possível afirmar que a causa da ruptura seja apenas por tração no bloco ou esmagamento da argamassa, acreditando-se na associação destes fatores como causa provável da ruptura.

Notou-se, também, no momento da ruptura, que devido à ductilidade das argamassas modificadas, o rompimento dos prismas foi de forma mais lenta, enquanto que prismas com argamassa padrão A0 (0% de polímero) romperam-se de maneira mais súbita.

Seria aconselhada a moldagem de miniparedes para uma melhor análise à compressão, bem como a utilização de transdutores para medição dos deslocamentos, no intuito de obter os módulos de deformação das paredes, para quantificar seu comportamento quando da ruptura.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 548.3R**. State-of-the-art report on polymer-modified concrete. Detroit, ACI, 1995.
- AMERICAN STANDARD TEST METHOD. **ASTM C 270-86b**: Mortar for unit masonry. Philadelphia, 1987.
- _____. **ASTM D 4404**: Standard Test Method for determination of pore volume and pore volume distribution of soil and rock by Mercury Intrusion Porosimetry. West Conshohocken, PA, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736**: Cimento Portland Pozolânico, 1999.
- _____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica, 2001.
- _____. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – Requisitos, 2003.
- _____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica, 2003.

- _____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, 2005.
- _____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, 2005.
- _____. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos, 2005.
- _____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, 2006.
- _____. **NBR 7211**: Agregados para concretos, 2009.
- _____. **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica, 2009.
- _____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente, 2009.
- _____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração, 2010.
- _____. **NBR 15812-2**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 2: Execução e controle de obras, 2010.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 5628-3**: Code of practice for use of masonry – Part 3: Material and components, design and workmanship. 2005.
- CESTARI, D. J. **O efeito da adição do copolímero vinil veova em argamassas de revestimento**. 2001. 154 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.
- CHANDRA, S.; OHAMA, Y. **Polymers in concrete**. Boca Raton: CRC Press, 1994, 204 p.
- GODOY, E. H. P.; BARROS, M. M. S. B. Contribuição ao estudo da influência do teor de polímero nas propriedades das argamassas de cimento Portland. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3, 1999, Vitória, ES. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas** (3). Vitória: PPGE/ANTAC, v. 1, p. 249-265, 1999. PMCID:PMC2557594.
- IZQUIERDO, O. S. **A influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto**. 2011. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2011.
- JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão**. 2001. 255 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2001.
- MOHAMAD, G. **Mecanismos de ruptura da alvenaria de blocos à compressão**. 2007. 290 f. Tese (Doutorado), Universidade do Minho, Portugal, 2007.
- MULLER, M. S. K.; AGOPYAN, V. **Estudo de correlações entre resistência à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos a esforços de compressão axial**. Relatório Técnico. São Paulo: Universidade de São Paulo; Relatório nº: BT/PCC/40. 1991.
- OHAMA, Y. Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes. **ACI Material Journal**, v. 84, n. 6, p. 511-518, 1987.
- OLIVEIRA JR., V. **Recomendações para projeto de edifícios em alvenaria estrutural**. 1992. 273 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1992.
- PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica**. 2007. 140 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil e Preservação Ambiental), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.
- SABBATINI, F. H.; BAÍA, L. L. M. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa**. 4. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 80 p., 2008.
- SILVA, D. A.; ROMAN, H. R. Caracterização microestrutural de pastas de cimento aditivadas com polímeros HEC e EVA. **Ambiente Construído** (São Paulo), Porto Alegre, RS, Brasil, v. 2, n. 2, p. 31-46, 2002.
- SIQUEIRA, G. H. **Almofada de apoio de compósito de cimento para ligações em concreto pré-moldado**. 2007. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.
- SOLORZANO, M. G. P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 1994. 203 f. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1994.