

Influência da compatibilidade entre argamassas e blocos de concreto no comportamento de prismas de alvenaria

Influence of the compatibility between mortars and concrete blocks on the behavior of masonry prisms

Rafaella Salvador Paulino 
Berenice Martins Toralles 

Resumo

O uso de alvenaria de blocos de concreto para a construção de edifícios é recorrente em função da economia e racionalização que proporciona aos empreendimentos. No entanto, o bom desempenho da alvenaria depende não somente da qualidade dos materiais empregados, mas também das interações que se processam entre a unidade e a argamassa. Nesta pesquisa, procurou-se analisar as características de resistência à compressão e modo de ruptura de prismas de bloco de concreto. Foram utilizados blocos de concreto de resistências nominais de 8,0 MPa e 10,0 MPa, combinados com seis tipos de argamassas (mistas e industrializadas), de diferentes resistências. No total, 36 prismas foram construídos e ensaiados. Os resultados experimentais indicam que os prismas de argamassa de menor resistência romperam de forma dúctil, por esmagamento da argamassa; prismas de argamassa intermediária conferiram ruptura do conjunto; enquanto os prismas de argamassa mais rígida que o bloco, romperam de forma frágil, principalmente pela tração nos blocos. Conclui-se que a especificação das argamassas utilizadas na execução da alvenaria deve ser feita não somente em função da sua resistência, mas também de acordo com o do tipo de bloco empregado, visto que a compatibilidade entre esses elementos tem papel significativo no desempenho do conjunto.

Palavras-chave: Argamassa de assentamento. Resistência à compressão. Prismas de blocos de concreto. Alvenaria. Modo de ruptura.

Abstract

The use of concrete block masonry for the construction of buildings is recurrent due to the economy and rationalization it provides to projects. However, the good performance of masonry depends not only on the quality of the materials used, but also on the interactions that take place between the unit and the mortar. In this research, we sought to analyze the characteristics of compressive strength and failure mode of concrete block prisms. Concrete blocks with nominal strengths of 8.0 MPa and 10.0 MPa were used, combined with six types of mortars (mixed and industrialized), of different strengths. In total, 36 prisms were built and tested. The experimental results indicate that the mortar prisms of lesser resistance failed in a ductile way, by crushing the mortar; intermediate mortar prisms gave the set rupture; while the mortar prisms more rigid than the block, broke fraily, mainly due to traction in the blocks. It is concluded that the specification of the mortars used in the execution of the masonry must be made not only according to their resistance, but also according to the type of block used, since the compatibility between these elements has a significant role in the performance of the set.

¹Rafaella Salvador Paulino

¹Universidade Estadual de Londrina
Londrina - PR - Brasil

²Berenice Martins Toralles

²Universidade Estadual de Londrina
Londrina - PR - Brasil

Recebido em 18/09/22
Aceito em 22/12/22

Keywords: Laying mortar. Compressive strength. Concrete block prisms. Masonry. Failure modes.

Introdução

A alvenaria estrutural é um dos métodos construtivos mais antigos do mundo e pode ser encontrada na maioria dos países. A combinação de blocos e argamassa de características diferentes altera significativamente o comportamento dos elementos estruturais de alvenaria. Devido a isso, o projeto estrutural em alvenaria requer uma compreensão clara do comportamento do conjunto unidade/argamassa (DHANASEKAR *et al.*, 2017). Em estruturas com esses elementos, a resistência à compressão é o fator predominante no projeto, e depende de diferentes fatores como: resistência da argamassa; resistência das unidades; valores relativos entre a resistência da argamassa e das unidades; relação entre a altura da unidade e a menor dimensão horizontal da unidade; orientação da unidade em relação à direção de aplicação da carga; espessura da junta da argamassa, entre outros (FORTES *et al.*, 2017; RAVULA; SUBRAMANIAM, 2017; GARZÓN-ROCA *et al.*, 2013).

Para blocos constituídos de um mesmo material e de mesma geometria, quanto maior a resistência à compressão da unidade, geralmente maior será a resistência à compressão da alvenaria, isso porque um aumento da resistência à compressão da unidade faz com que sua resistência à tração transversal cresça, aumentando diretamente a resistência da parede (PRUDÊNCIO JUNIOR *et al.*, 2003). No entanto, o aumento da resistência do bloco não significa necessariamente aumento proporcional da resistência da alvenaria (HENDRY, 1981). A escolha dos blocos não deve ser baseada unicamente em sua resistência à compressão, mas especial atenção deve-se dar à sua compatibilidade com argamassa (STEIL; PRUDÊNCIO, 2002). As unidades são as principais responsáveis por resistir às cargas de compressão e a argamassa garante a transmissão de carga, proporciona aderência entre as unidades e acomoda deformações (PARSEKIAN *et al.*, 2012; RAMALHO; CORRÊA, 2003). É fundamental que a argamassa utilizada para o assentamento das unidades apresente resistência adequada, de modo a garantir a durabilidade e a impermeabilidade da parede, além de contribuir com sua estabilidade (ÁLVAREZ-PÉREZ *et al.*, 2020). A argamassa não deve ter a resistência muito menor que a do bloco, para não comprometer a resistência do conjunto (GARCIA, 2000).

Pesquisas (MENDES, 1998; MOHAMAD, 1998) apontam que o uso de uma argamassa mais rígida e resistente aumenta a parcela de carga absorvida pela alvenaria de blocos devido ao aumento do módulo de elasticidade do conjunto bloco/argamassa. Já o uso de uma argamassa fraca, menos resistente do que o bloco, promove um descolamento na parte externa das paredes com blocos de concreto, e a ruptura do conjunto ocorre de forma dúctil. Argamassa de mesma resistência do bloco, por sua vez, promove uma ruptura essencialmente frágil, no sentido da seção transversal do prisma.

Diante disso, existem três formas típicas de ruptura da alvenaria em compressão, em função da relação entre a resistência à compressão da argamassa e do bloco (FORTES *et al.*, 2017):

- (a) quando a argamassa é muito fraca em relação ao bloco, a resistência da alvenaria é limitada pela resistência da argamassa, que geralmente rompe por esmagamento;
- (b) quando a argamassa tem uma resistência moderada, a resistência da alvenaria é determinada pela combinação das resistências à compressão e tração do bloco, que usualmente rompe por tração lateral; e
- (c) quando a argamassa é mais forte que o bloco, a resistência da alvenaria é limitada pela resistência à compressão do bloco.

Usualmente pretende-se que a ruptura ocorra do modo “II”, sendo esse um meio termo entre a resistência da alvenaria à compressão adequada e o comportamento menos explosivo (III), além de redução do potencial de fissuração na junta da argamassa (I). Para alvenarias usuais, Mohamad (1998) e Gomes (1983) sugerem que a resistência da argamassa varie de 70% a 100% da resistência à compressão do bloco na área bruta, para haver a compatibilidade entre os elementos. Parsekian *et al.* (2012) recomendam que a resistência da argamassa seja especificada entre 70% e 150% da resistência do bloco na área bruta.

A resistência à compressão da alvenaria não só tem efeitos consideráveis na segurança das estruturas, mas também pode impactar significativamente o custo da construção (ZHOU *et al.*, 2016). Tradicionalmente, a alvenaria é construída com unidades mais rígidas e argamassa de resistência relativamente baixa (na faixa entre 0,4 e 0,7 da resistência do bloco) (NALON *et al.*, 2020; PARSEKIAN *et al.*, 2012; SHI *et al.*, 2021). No entanto, engenheiros de todo o mundo lidam recentemente com alguns cenários de casos distintos. Há casos em que a argamassa deve ser mais forte do que as unidades devido a diferentes razões, como as recentes melhorias nas propriedades do cimento da argamassa e à necessidade de aplicação de unidades mais deformáveis disponíveis localmente para construção de moradias de baixo custo em países em desenvolvimento (THAICKAVIL; THOMAS, 2018; THAMBOO, 2020; YANG *et al.*, 2019; THAMBOO; DHANASEKAR, 2019; SATHIPARAN; RUMESHKUMAR, 2018). Em outros casos, as unidades devem ser significativamente mais fortes do que a argamassa, especialmente com o progresso recente no

desenvolvimento de blocos de alvenaria de alta resistência (CALDEIRA *et al.*, 2020; FORTES *et al.*, 2018, 2017; FONSECA *et al.*, 2019; CASTRO *et al.*, 2016).

Prismas de alvenaria têm sido amplamente utilizados em pesquisas e controle de qualidade de estruturas de alvenaria, pois são modelos simplificados, fáceis de construir e testar, considerando aspectos operacionais e econômicos, que podem representar a interação entre diferentes componentes de alvenaria (NALON *et al.*, 2022; ABASI *et al.*, 2020). O desempenho mecânico dos prismas sob compressão é diretamente afetado pelos modos de ruptura associados às propriedades mecânicas de seus materiais constituintes. No entanto, fatores como a resistência relativa entre os seus componentes, suas condições de preparo/teste, disposição da argamassa de assentamento, procedimentos de cura, taxa de carregamento, propriedades geométricas, também influenciam no seu desempenho (PARSEKIAN *et al.*, 2012; MOHAMAD *et al.*, 2017; GANESAN; RAMAMURTHY, 1992).

Além disso, o comportamento estrutural dos blocos e argamassa de assentamento na alvenaria é significativamente diferente do observado em corpos de prova isolados submetidos a ensaios de compressão uniaxial, uma vez que a resposta mecânica de cada componente individual é função de um comportamento triaxial resultante da complexa interação entre eles. Portanto, os mecanismos de ruptura de um prisma de alvenaria são uma sequência de efeitos diretamente relacionados com a resistência relativa da argamassa, blocos e argamassa (DROUGKAS *et al.*, 2019; MOHAMAD *et al.*, 2018, 2017; LLORENS *et al.*, 2020).

Embora muito progresso relacionado ao estudo do comportamento de prismas de alvenaria submetidos à compressão tenha sido realizado nos últimos anos, é fundamental a expansão de pesquisas que auxiliem no entendimento da influência da resistência relativa entre argamassas e unidades no comportamento mecânico do conjunto. Diante disso, o objetivo do estudo aqui apresentado é avaliar o comportamento de prismas de blocos de concreto submetidos à compressão, mais precisamente no que se refere à compatibilidade do bloco com a argamassa de assentamento, tendo em vista os intervalos recomendados para uso de acordo com a revisão bibliográfica, a fim de identificar parâmetros que permitam estimativas de propriedades de paredes estruturais baseadas nas relações existentes entre estes elementos.

Materiais e métodos

Neste estudo foram empregados dois tipos de blocos, combinados com seis tipos de argamassa (três argamassas industrializadas e três argamassas mistas), para construção de prismas de duas fiadas. A escolha das argamassas e dos blocos foi feita com base na resistência à compressão deles, tendo em vista a produção de prismas que atendessem a faixa recomendada para uso, conforme pesquisas realizadas (PARSEKIAN *et al.*, 2012; MOHAMAD, 1998; GOMES, 1983). Para aprimorar as análises, foram utilizadas também argamassas mais fracas e mais rígidas que o bloco, fornecendo combinações de resistência bloco/argamassa com valores abaixo e acima dos recomendados para uso. Os prismas foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, para análise do fator de eficiência, forma de ruptura e compatibilidade dos materiais.

Blocos

Utilizaram-se blocos vazados de concreto de resistências nominais de 8,0 MPa (BL1) e 10,0 MPa (BL2), por serem representativos da utilização prática no Brasil, com dimensões de (14 x 19 x 39) cm (largura x altura x comprimento) (Figura 1).

Argamassas industrializadas

As argamassas industrializadas utilizadas eram do tipo estrutural, para assentamento de blocos de concreto, compostas por areia calcária, cimento Portland CP II-Z-32 e cal hidratada CH-II, de densidade seca entre 1,60 a 1,65 g/cm³, segundo o fabricante. As características dessas argamassas podem ser visualizadas na Tabela 1.

Argamassas mistas

Foram produzidos três tipos de argamassas mistas, de cimento, cal e areia. Para a produção destas argamassas foi utilizado o cimento Portland CP II-F-32, de massa unitária de 1.067,10 kg/m³ (ABNT, 2006) e massa específica de 3,11 g/cm³ (ABNT, 2001). A cal hidratada utilizada foi a CH III, cal dolomítica, constituída de hidróxido de cálcio, magnésio, silicatos e aluminatos de cálcio, de massa unitária de 599,38 kg/m³ (ABNT, 2006) e massa específica de 2,66 g/cm³ (ABNT, 2001). As especificações do CP II-F-32, fornecidas pelo fabricante, estão apresentadas na Tabela 2.

Figura 1 - Bloco de concreto utilizados na pesquisa



Tabela 1 - Características das argamassas e recomendações do fabricante

Nome comercial	Indicação de uso	Resistência nominal (MPa)	Teor de água*
Argamassa de assentamento estrutural	Argamassa para execução de assentamento de alvenaria estrutural, composta de blocos cerâmicos ou concreto	4,0	17,6 – 20,4
Argamassa de assentamento estrutural		6,0	17,6 – 20,4
Argamassa de assentamento estrutural		8,0	17,6 – 20,4

Nota: *teor de água recomendado pelo fabricante em relação aos materiais secos (%).

Tabela 2 - Especificações do CP II-F-32

CP II-F-32		Limite NBR 16697 (ABNT, 2018)
Características físicas		
Início do tempo de pega (min.)	195	≥ 60
Fim do tempo de pega (min.)	255	≤ 600
Superfície específica (cm ² /g)	3290	≥ 2600
Resíduo insolúvel (%)	1,08	≤ 7,5
Resistência à compressão – 1 dia (MPa)	15,0	N/A
Resistência à compressão – 3 dias (MPa)	28,4	≥ 10
Resistência à compressão – 7 dias (MPa)	34,9	≥ 20
Resistência à compressão – 28 dias (MPa)	41,4	≥ 32
Características químicas		
Al ₂ O ₃ (%)	4,18	-
SiO ₂ (%)	18,56	-
Fe ₂ O ₃ (%)	2,65	-
CaO (%)	60,11	-
MgO (%)	3,69	N/A
SO ₃ (%)	2,57	≤ 4,5
Perda de fogo (%)	6,41	≤ 12,5
CaO livre (%)	1,15	-

Fonte: dados da ficha técnica fornecida pelo fabricante (ITAMBÉ, 2022).

O agregado miúdo utilizado foi a areia quartzosa, proveniente do rio Paraná, cujas composição granulométrica e caracterização física estão apresentadas na Tabela 3.

Caracterização dos blocos

Os blocos vazados de concreto foram caracterizados por meio da determinação das características geométricas (dimensões efetivas, espessuras das paredes, dimensões dos furos), das características físicas (absorção de água e área líquida) e características mecânicas, em termos de resistência característica (f_{bk}) e resistência média (f_b), conforme as prescrições da NBR 12118 (ABNT, 2014). A Figura 2 ilustra o preparo dos blocos previamente à execução do ensaio de resistência à compressão (Figuras 2a e 2b) e durante a execução (Figura 2c).

Produção e caracterização das argamassas

As argamassas foram produzidas seguindo o estabelecido pela NBR 16541 (ABNT, 2016a). A consistência das formulações de argamassas foi fixada em (260 ± 10) mm, pelo ensaio da mesa de consistência *flow table* (ABNT, 2016b). A relação a/ms (água/materiais secos) das argamassas mistas foi ajustada para atender a faixa de consistência estabelecida e a quantidade de água utilizada no preparo das argamassas industrializadas respeitou a recomendação indicada pelo fabricante (Tabela 4).

Na data de moldagem dos prismas, as argamassas foram produzidas e caracterizadas no estado fresco quanto à densidade de massa e teor de ar incorporado (ABNT, 2005a) e à retenção de água (ABNT, 2005b). Foram moldados corpos de prova para caracterização das argamassas no estado endurecido, aos 28 dias, quanto à absorção de água e índice de vazios (ABNT, 2005c), à resistência à tração na flexão e compressão (ABNT, 2005d) e ao módulo de elasticidade dinâmico (ABNT, 2008). O preparo da argamassa e alguns ensaios realizados estão ilustrados na Figura 3.

Tabela 3 - Composição granulométrica e caracterização física da areia

Peneira	Massa retida (g)	% retida	% retida acumulada
4,8	0,0	0,0	0,0
2,4	5,0	1,0	1,0
1,2	12,5	2,5	3,5
0,6	50,0	10,0	13,5
0,3	252,5	50,5	64,0
0,15	180,0	36,0	100,0
Fundo	0,0	0,0	100,0
Módulo de finura (-)		1,82	NBR NM 248 (ABNT, 2003a)
Dimensão máxima característica (mm)		1,18	
Classificação (-)		Fina	
Massa unitária – estado solto (kg/m ³)		1492	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Massa unitária – estado compactado (kg/m ³)		1640	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Massa específica (g/cm ³)		2,62	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Teor de material pulverulento (%)		2,0	NBR NM 46 (ABNT, 2003b)
Finura (Peneira n° 30) (%)		0,3	NBR 9289 (ABNT, 2000)
Finura (Peneira n° 200) (%)		10,8	NBR 9289 (ABNT, 2000)

Figura 2 - Blocos de concreto



(a) Em execução do capeamento



(b) Em execução do capeamento

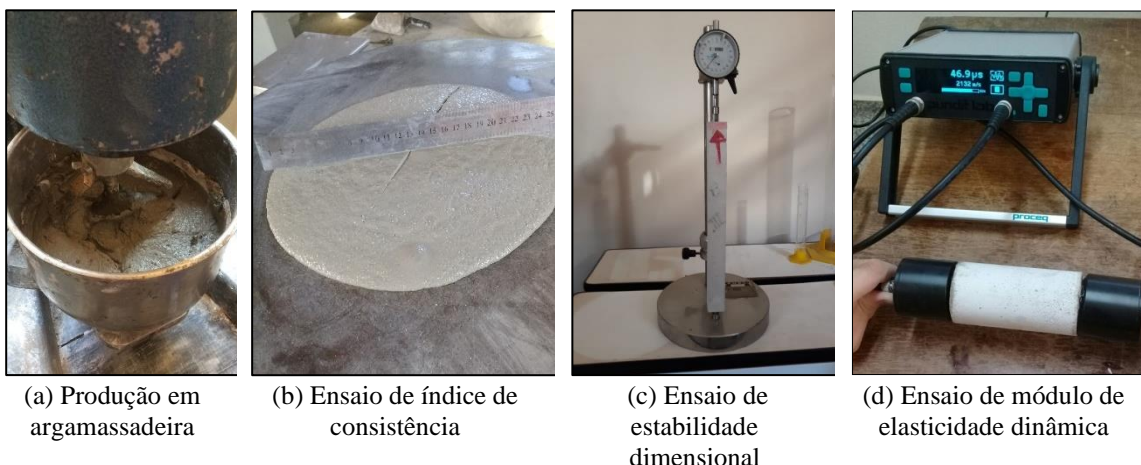


(c) Submetido ao ensaio de resistência à compressão

Tabela 4 - Proporções das misturas

Argamassa	Traço	Proporção na mistura				a/c	a/ms
		Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Água (ml)		
MA	1 : 1,25 : 6,75	0,389	0,486	2,625	0,731	1,880	0,209
MB	1 : 0,75 : 5,25	0,500	0,375	2,625	0,665	1,330	0,190
MC	1 : 0,50 : 4,50	0,583	0,292	2,625	0,624	1,070	0,178
IA	-	-	-	-	0,665	-	0,190
IB	-	-	-	-	0,665	-	0,190
IC	-	-	-	-	0,665	-	0,190

Figura 3 - Argamassas



Construção e caracterização dos prismas

Os prismas foram moldados utilizando-se dois blocos vazados de concreto assentados a prumo, com relação altura/espessura (h/e) no valor de 2,8 atendendo as especificações da C-1314-22 (AMERICAN..., 2022). A argamassa de assentamento foi disposta sobre toda a face do bloco, incluindo os septos laterais e transversais e obedeceu ao valor especificado de (10 ± 3) mm para a espessura da junta de assentamento (ABNT, 2020). A moldagem dos prismas foi feita por profissional qualificado, a fim de se manter a padronização da execução. Após a moldagem, os prismas foram mantidos em ambiente de laboratório até a idade de 28 dias, quando foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão. A Tabela 5 apresenta a nomenclatura dos prismas moldados com os diferentes tipos de bloco e argamassa.

Resultados e discussões

Propriedades dos blocos

A caracterização dos blocos de concreto está apresentada na Tabela 6.

Propriedades no estado fresco das argamassas

As propriedades das argamassas no estado fresco estão apresentadas na Tabela 7.

Os resultados demonstram que o aumento da quantidade de cal nas argamassas mistas conferiu maior teor de ar incorporado a elas e conseqüentemente redução na massa específica, o que está possivelmente relacionado ao fato de a cal hidratada conferir incorporação de ar à mistura, que é ocasionado, principalmente, pelo processo de mistura mecânica (MANSUR; MANSUR, 2006). Para as argamassas mistas, os valores de teor de ar incorporado variaram de 3% a 4%, corroborando com Nakakura (2004) e Casali (2003). Para as argamassas industrializadas, os teores de ar incorporado encontrados foram em torno de 10%. Em algumas argamassas industrializadas (que contêm aditivos), o teor de ar incorporado pode chegar a 47% em 5 minutos durante o processo de mistura (CASALI, 2003). Com relação à retenção de água, as normas brasileiras em

vigor atualmente não prescrevem limites para essa propriedade. A C-270 (AMERICAN..., 2019) especifica, para argamassas de assentamento, que a retenção de água deve ser superior a 75%. A NBR 8798 (ABNT, 1987), que foi cancelada em 2011, especificava o mesmo que a norma americana. No entanto, apesar de ser um parâmetro fundamental, nenhuma norma cita um valor máximo de retenção de água. As argamassas estudadas apresentaram alto valor de retenção de água, variando entre 95,63% e 98,09%. Para as argamassas mistas, isso se justifica possivelmente pelo fato de a cal apresentar boas características de retenção de água não só em razão de sua elevada superfície específica, mas também devido à grande capacidade adsorviva de seus cristais (SABBATINI, 1986). A composição das argamassas industrializadas também justifica essa característica. Um aumento no teor de cal é um indicativo de melhoria da trabalhabilidade do material, e aumento do tempo em aberto para manipulação da argamassa destinada ao assentamento dos blocos (CASALI; PRUDÊNCIO JUNIOR, 2008). A análise estatística das propriedades no estado fresco da argamassa, obtida na ANOVA, com um nível de 5% de significância, indica que não há diferença significativa para o teor de ar incorporado das argamassas mistas entre si, assim como entre as industrializadas. Referente à retenção de água, a análise estatística mostrou que as argamassas mistas apresentam diferença significativa entre si, assim como as argamassas industrializadas, sendo mais preponderante para as primeiras.

Propriedades no estado endurecido das argamassas

A Tabela 8 apresenta os resultados do estado endurecido das argamassas.

Tabela 5 - Identificação e condição de ensaio

Prisma	Bloco	Argamassa	Condição*	Amostras
PBL1MA	BL1	MA	$f_a \leq 0,7 f_b$	3
PBL1MB		MB	$0,7 f_b \leq f_a \leq 1,5 f_b$	3
PBL1MC		MC	$f_a \geq 1,5 f_b$	3
PBL1IA	BL1	IA	$f_a \leq 0,7 f_b$	3
PBL1IB		IB	$0,7 f_b \leq f_a \leq 1,5 f_b$	3
PBL1IC		IC	$f_a \geq 1,5 f_b$	3
PBL2MA	BL2	MA	$f_a \leq 0,7 f_b$	3
PBL2MB		MB	$0,7 f_b \leq f_a \leq 1,5 f_b$	3
PBL2MC		MC	$f_a \geq f_b$	3
PBL2IA	BL2	IA	$f_a \leq 0,7 f_b$	3
PBL2IB		IB	$0,7 f_b \leq f_a \leq 1,5 f_b$	3
PBL2IC		IC	$f_a \geq f_b$	3

Nota: f_a = resistência à compressão da argamassa, em MPa.

f_b = resistência à compressão do bloco, na área bruta, em MPa.

*condição estabelecida conforme Parsekian *et al.* (2012).

Tabela 6 - Valores médios das diferentes propriedades dos blocos de concreto, com coeficientes de variação (%) entre parêntese

Propriedade	BL1	BL2
Comprimento (cm)	39,13 (0,18)	39,22 (0,14)
Largura (cm)	13,98 (0,29)	14,00 (0,00)
Altura (cm)	19,02 (0,40)	19,27 (0,42)
Espessura dos septos (mm)	35,01 (0,32)	35,12 (0,17)
Espessura das paredes (mm)	32,03 (0,31)	32,04 (0,21)
Dimensão dos furos (cm ²)	110,2 (0,25)	110,04 (0,14)
Absorção de água (%)	7,86 (20,49)	8,60 (16,42)
Área bruta (cm ²)	547,04	549,08
Área líquida (cm ²)	326,64	328,98
Relação área bruta/área líquida	1,675	1,669
Resistência à compressão da área bruta (MPa)	8,33 (6,39)	11,98 (6,20)
Resistência à compressão da área líquida (MPa)	13,95 (3,82)	19,99 (3,72)
Resistência característica da área bruta (MPa)	7,18 (7,41)	10,77 (6,90)

Tabela 7 - Valores médios das diferentes propriedades das argamassas em fresco, com coeficientes de variação (%) entre parêntese

Argamassa	Estado fresco		
	Densidade de massa	Ar incorporado	Retenção de água
	(g/cm ³)	(%)	(%)
MA	2,06 (0,25)	3,97 (6,01)	97,20 (0,16)
MB	2,09 (1,26)	3,45 (8,13)	95,90 (0,70)
MC	2,13 (0,86)	3,10 (9,68)	95,63 (0,16)
IA	2,31 (1,55)	9,88 (9,98)	97,92 (0,28)
IB	2,30 (0,27)	10,85 (2,71)	98,09 (0,19)
IC	2,31 (0,22)	10,40 (2,35)	96,67 (0,16)

Tabela 8 - Valores médios das diferentes propriedades das argamassas em endurecido, com coeficientes de variação (%) entre parêntese

Argamassa	Absorção de água (%)		Índice de vazios (%)		Resist. à tração na flexão (MPa)		Resist. à compressão (MPa)		Módulo de elast. dinâmico (GPa)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
	MA	14,06 (2,03)	12,90 (0,69)	25,16 (1,55)	23,53 (1,92)	1,85 (2,48)	1,65 (3,22)	4,60 (8,91)	5,17 (6,38)	6,52 (6,39)
MB	13,30 (4,00)	12,82 (1,90)	23,52 (2,78)	23,05 (1,53)	3,35 (4,75)	2,96 (3,71)	7,95 (13,46)	8,98 (5,01)	10,17 (4,63)	12,18 (4,79)
MC	12,58 (2,05)	12,40 (1,62)	22,51 (1,43)	22,27 (1,49)	4,76 (3,21)	4,22 (5,81)	11,15 (7,71)	13,61 (5,81)	12,59 (4,39)	14,66 (5,72)
IA	17,68 (6,93)	14,64 (9,41)	31,84 (5,98)	27,25 (6,71)	2,01 (2,22)	1,82 (7,40)	2,00 (13,00)	5,68 (10,74)	7,17 (3,82)	7,48 (7,44)
IB	14,96 (4,80)	14,25 (0,40)	26,64 (4,00)	25,85 (0,46)	4,03 (3,54)	3,56 (4,21)	6,26 (10,86)	10,75 (7,91)	12,62 (11,65)	13,85 (5,75)
IC	13,94 (4,66)	13,25 (1,79)	25,39 (3,89)	24,66 (1,06)	5,33 (2,58)	4,74 (2,59)	10,90 (11,93)	14,48 (3,25)	13,83 (5,17)	15,89 (5,53)

As argamassas mistas apresentaram maior absorção de água e índice de vazios, com o aumento da quantidade de cal. As argamassas industrializadas apresentaram valores superiores às argamassas mistas para ambas as propriedades, o que possivelmente está relacionado à sua composição. Com o processo de cura das argamassas e consequente fechamento dos vazios, esses valores reduziram, dos 7 para os 28 dias. A análise estatística dos resultados referentes à absorção de água e índice de vazios, obtidos na ANOVA, com um nível de 5% de significância, indica que há diferença significativa para essas propriedades, das argamassas entre si; contudo, não há diferença significativa entre as argamassas industrializadas. Com relação às propriedades mecânicas, o aumento da quantidade de cal das argamassas mistas comprometeu tanto a sua resistência à compressão quanto à tração na flexão. As argamassas industrializadas apresentaram resistências superiores às nominais, possivelmente devido à abrangência do intervalo da quantidade de água que poderia ser utilizado. Por meio da análise estatística dos resultados de resistência mecânica, obtidos na ANOVA, verificou-se que, com um nível de 5% de significância, não há diferença significativa para essas propriedades entre as argamassas MA e IA; contudo, há entre MB e IB e também entre MC e IC. No entanto, essa análise não comprometeu o objetivo da pesquisa, tendo em vista que todas as argamassas permaneceram dentro dos intervalos estabelecidos para o estudo, em função da resistência à compressão dos blocos de concreto. Verificou-se ainda que o aumento da resistência à compressão das argamassas ocasionou um aumento da sua rigidez, para ambos os tipos de argamassas. O módulo de elasticidade dinâmico das argamassas variou entre 7,12 GPa até 15,89 GPa, aos 28 dias. As argamassas IC e MC apresentaram os módulos mais alto, podendo ser um indicativo de menor capacidade de absorção de deformação entre as argamassas estudadas. O elevado módulo de elasticidade não é aconselhável para a alvenaria estrutural, pois a argamassa deve absorver deformações, para permitir pequenas movimentações na parede sem fissurar (KHALAF *et al.*, 1992; SABBATINI, 1984; MOHAMAD, 1998). A análise estatística dos resultados referentes ao módulo de elasticidade dinâmico obtidos na ANOVA indica que, com um nível de 5% de significância, não há diferença significativa para essa

propriedade, entre as argamassas MA e IA e entre MC e IC. No entanto, as argamassas MB e IB apresentaram diferença significativa entre si.

Análise dos prismas

Os resultados de resistência à compressão dos prismas bem como os fatores de eficiência (f_p/f_b) estão apresentados na Tabela 9.

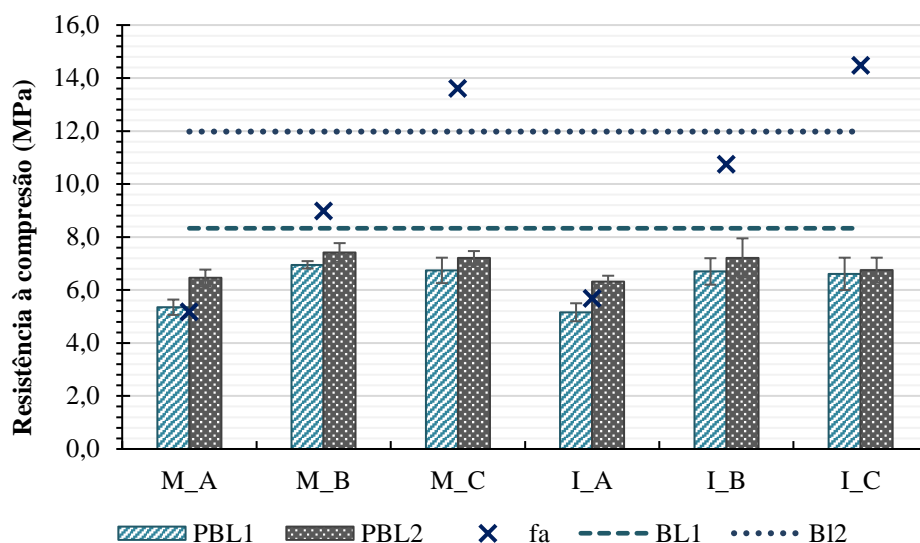
As maiores resistências à compressão foram apresentadas pelos prismas PBL2MB, PBL2MC e PBL2IB, respectivamente. Nesses casos, as resistências à compressão das argamassas variaram em 0,75, 1,14 e 0,90 da resistência bloco, corroborando com o intervalo recomendado para uso segundo Parsekian *et al.* (2012). Para ambos os blocos (BL1 e BL2), os menores valores de resistência à compressão foram apresentados pelos prismas moldados com as argamassas mais fracas (MA e IA). Nos prismas PBL1MA e PBL1IA, as resistências à compressão das argamassas são de 62% e 68% da resistência do bloco e, nos prismas PBL2MA e PBL2IA, 43% e 47%, respectivamente. Os prismas assentados com argamassas industrializadas apresentaram desempenho similar aos assentados com argamassa mistas, quando comparadas argamassas do mesmo intervalo de resistência (MA e IA; MB e IB; MC e IC). A resistência à compressão da argamassa MC é cerca de 51% superior à da argamassa MB; no entanto, esse aumento de resistência da argamassa refletiu em uma redução em torno de 3% e 2% na resistência dos prismas moldados com BL1 e BL2, respectivamente. Em comparação à argamassa MA, MC é cerca de 163% superior a essa, e esse aumento de resistência da argamassa refletiu em incrementos de 26% e 12% na resistência dos prismas moldados com BL1 e BL2, respectivamente. Observa-se que, para as argamassas industrializadas, a resistência à compressão da argamassa IC é cerca de 35% superior à da argamassa IB. No entanto, esse aumento de resistência da argamassa refletiu em uma redução em torno de 1,3 e 6,4% na resistência dos prismas moldados com BL1 e BL2, respectivamente. Em comparação à argamassa IA, IC é cerca de 154% superior a essa, e esse aumento de resistência da argamassa refletiu em um incremento de 28% e 6% na resistência dos prismas moldados com BL1 e BL2, respectivamente. Esses resultados indicam que o aumento da resistência da argamassa não significa necessariamente melhor desempenho do prisma, corroborando com outros estudos (SABBATINI, 1986; ROMAN *et al.*, 1999; PRUDÊNCIO JUNIOR *et al.*, 2003) e pode estar relacionado ao fato de que o módulo de elasticidade da argamassa não aumenta na mesma proporção que a sua resistência à compressão, fazendo com que o estado de tensões da unidade, que geralmente causa o colapso da alvenaria sob compressão, mantenha-se quase inalterado (PRUDÊNCIO JUNIOR *et al.*, 2003). Estudos experimentais realizados recentemente por Martins *et al.* (2018) e Nalon *et al.* (2020) analisaram o comportamento mecânico de prismas de alvenaria constituídos por blocos de concreto com três níveis de resistência diferentes, argamassa de cimento-cal com três níveis de resistência (em relação à resistência da unidade) e graute de três níveis de resistência e não verificaram uma proporcionalidade linear entre o aumento da resistência da argamassa e o aumento da resistência do prisma.

A Figura 4 relaciona as resistências das argamassas, blocos e prismas.

Tabela 9 - Resistência média à compressão dos prismas aos 28 dias

Prisma	Bloco	Argamassa	f_b (MPa)	f_a (MPa)	Resistência à compressão do prisma (f_p)			f_p/f_b (%)
					Média (MPa)	Desv. Pad. (MPa)	C.V. (%)	
PBL1MA	BL1	MA	8,33	5,17	5,35	0,29	5,42	0,64
PBL1MB		MB	8,33	8,98	6,95	0,14	2,07	0,83
PBL1MC		MC	8,33	13,61	6,74	0,48	7,09	0,81
PBL1IA		IA	8,33	5,68	5,16	0,34	6,65	0,62
PBL1IB		IB	8,33	10,75	6,70	0,50	7,44	0,80
PBL1IC		IC	8,33	14,48	6,61	0,61	9,24	0,79
PBL2MA	BL2	MA	11,98	5,17	6,46	0,31	4,81	0,54
PBL2MB		MB	11,98	8,98	7,42	0,35	4,73	0,62
PBL2MC		MC	11,98	13,61	7,21	0,26	3,55	0,60
PBL2IA		IA	11,98	5,68	6,32	0,22	3,47	0,53
PBL2IB		IB	11,98	10,75	7,21	0,74	10,19	0,60
PBL2IC		IC	11,98	14,48	6,75	0,47	6,96	0,56

Figura 4 - Resistência à compressão das argamassas, blocos e prismas



Pode-se analisar que o bloco de maior resistência (BL2) proporciona maior resistência à compressão para os prismas em comparação ao bloco de menor resistência (BL1), quando utilizado com as mesmas argamassas. Estudos (PRADO, 1995; OLIVEIRA, 2002) demonstraram que o principal fator de influência na resistência à compressão dos prismas é a resistência da unidade; no entanto, essa relação não é linear. Para argamassas mais fracas (MA e IA), a variação na resistência à compressão dos prismas é mais sensível em comparação com as demais. Para blocos de maior resistência, a variação de ganho da resistência no prisma se torna menor com o aumento da resistência à compressão da argamassa (OLIVEIRA, 2002). A explicação para essa proporcionalidade está ligada diretamente ao ganho de resistência à tração do bloco decorrente do aumento de sua resistência à compressão. A resistência do prisma é geralmente inferior à do bloco, não só pela presença da junta de argamassa, mas também pela esbelteza dos elementos ensaiados que alteram a forma de ruptura. O bloco, quando ensaiado isoladamente, não está sob estado de compressão-tração como no prisma e sim sob estado triaxial de compressão, ou seja, confinado pelo efeito dos pratos da prensa (CALÇADA, 1998). O fator de eficiência dos prismas, que é dado pela razão entre a resistência à compressão do prisma/parede pela resistência à compressão da unidade, normalmente expresso em porcentagem, é a medida de quanto a resistência da unidade é “aproveitada” na resistência da parede (GOMES, 1983). Os resultados permitem verificar que os maiores fatores de eficiência, para ambos os blocos, ocorreram quando houve o menor distanciamento entre a resistência à compressão da unidade e da argamassa. O fator de eficiência apresentou-se maior quando se utilizou o bloco menos resistente (BL1) ao se moldar os prismas.

Modo de ruptura dos prismas

De acordo com os intervalos recomendados para uso, estabelecidos por Parsekian *et al.* (2012), apresentam-se na Tabela 10 as relações entre a resistência à compressão da argamassa e do bloco (f_a/f_b) e os modos de ruptura dos prismas moldados com diferentes tipos de blocos e argamassas, quando submetidos à compressão.

Os prismas moldados com as argamassas mais fracas ($f_a \leq 0,7 f_b$) apresentaram ruptura por esmagamento da junta de argamassa, quando utilizados ambos os blocos (BL1 e BL2). As indicações nos prismas (Figura 5) mostram o esfacelamento das argamassas, que apresentaram fissuração e deterioração generalizada, seguido da ocorrência de fissuras nos blocos superiores (Figura 5c e 5d). Esse comportamento ocorre porque quando a carga de compressão vertical sobre o prisma aumenta, a argamassa na interface superior da junta sofre maior dilatação lateral do que a argamassa na interface inferior, devido à sua maior porosidade e, conseqüentemente, ocasiona maiores tensões de tração no bloco superior, de modo que trincas verticais causem a ruptura total do prisma (MOHAMAD *et al.*, 2017). O esmagamento localizado da argamassa é muitas vezes acompanhado de concentração de tensões de tração e propagação de fissuras verticais através das unidades, o que evidencia a necessidade de um acompanhamento cuidadoso da sequência de eventos que ocorrem durante o aumento da carga de compressão. Pode-se inferir que o esmagamento da argamassa afeta muito o comportamento compressivo dos prismas de alvenaria (NALON *et al.*, 2022). Outras pesquisas (ZAHRA *et al.*, 2021;

CALDEIRA *et al.*, 2020) verificaram comportamentos análogos de esmagamento da argamassa e eventual propagação de fissuras paralelas nas faces frontais das unidades de concreto, com a ruptura do bloco, em prismas construídos com blocos de concreto vazado de resistência normal, quando utilizada argamassa de baixa resistência, e em prismas feitos com blocos de concreto de alta resistência, devido à sua alta resistência à tração.

Os prismas moldados com as argamassas intermediárias ($0,7 f_b \leq f_a \leq 1,5 f_b$) apresentaram ruptura do conjunto, quando utilizados ambos os blocos (BL1 e BL2). As relações entre a resistência da argamassa e do bloco de concreto apresentaram-se dentro dos parâmetros recomendados para uso nessas condições (PARSEKIAN *et al.*, 2012). Esse tipo de ruptura, que é a mais desejável, é caracterizado pelo surgimento de fissura vertical no bloco, precedida de indícios de ruptura conjunta da argamassa, através da sua fissuração (PASSOS *et al.*, 2009; CHEEMA; KLINGNER, 1986). Durante a compressão de paredes de alvenaria construídas com argamassas de resistência à compressão entre aproximadamente 70% e 150% da resistência do bloco, a junta de argamassa tem uma maior tendência a expandir-se lateralmente em relação aos blocos, pois esses têm maior rigidez. A argamassa é confinada lateralmente na interface bloco/argamassa pelos blocos; portanto, tensões de cisalhamento na interface bloco/argamassa resultam em um estado interno de tensão, que consiste na compressão triaxial na argamassa e tração bilateral e compressão axial nos blocos. Esse estado de tensão inicia fissuras verticais nos blocos que levam a ruptura das paredes (FORTES *et al.*, 2017). As Figuras 6 ilustram este comportamento. Nalon *et al.* (2022) concluíram, ao realizar uma revisão dos progressos recentes sobre o comportamento compressivo de prismas de alvenaria, que a maioria dos estudos aponta que o melhor desempenho mecânico do prisma é geralmente observado quando a resistência à compressão da argamassa está razoavelmente próxima da resistência à compressão da área líquida dos blocos (relação entre 80,7% e 113,3%). No entanto, altos valores de resistência à compressão podem ser observados em algumas regiões fora dos limites dessa faixa. Por exemplo, há prismas construídos com relações inferiores a 80,7% e blocos de alta resistência, que mostra claramente a eficiência das unidades modernas de alta resistência para evitar fissuras verticais prematuras na alvenaria devido à expansão lateral excessiva da argamassa.

Tabela 10 - Modo de ruptura dos prismas

Prisma	Bloco	Argamassa	f_b (MPa)	f_a (MPa)	f_a/f_b (%)	Condição atendida	Modo de ruptura
PBL1MA	BL1	MA	8,33	5,17	0,62	$f_a \leq 0,7 f_b$	Esmagamento da argamassa
PBL1MB		IA	8,33	8,98	1,08	$0,7 f_b \leq f_a \leq 1,5 f_b$	Tração lateral
PBL1MC		MB	8,33	13,61	1,63	$f_a \geq 1,5 f_b$	Compressão do bloco
PBL1IA		IB	8,33	5,68	0,68	$f_a \leq 0,7 f_b$	Esmagamento da argamassa
PBL1IB		MC	8,33	10,75	1,29	$0,7 f_b \leq f_a \leq 1,5 f_b$	Tração lateral
PBL1IC		IC	8,33	14,48	1,74	$f_a \geq 1,5 f_b$	Compressão do bloco
PBL2MA	BL2	MA	11,98	5,17	0,43	$f_a \leq 0,7 f_b$	Esmagamento da argamassa
PBL2MB		IA	11,98	8,98	0,75	$0,7 f_b \leq f_a \leq 1,5 f_b$	Tração lateral
PBL2MC		MB	11,98	13,61	1,14	$f_a \geq f_b$ *	Compressão do bloco
PBL2IA		IB	11,98	5,68	0,47	$f_a \leq 0,7 f_b$	Esmagamento da argamassa
PBL2IB		MC	11,98	10,75	0,90	$0,7 f_b \leq f_a \leq 1,5 f_b$	Tração lateral
PBL2IC		IC	11,98	14,48	1,21	$f_a \geq f_b$ *	Compressão do bloco

Nota: *condição atendida conforme Mohamad (1998) e Gomes (1983).

Figura 5 - Modo de ruptura dos prismas

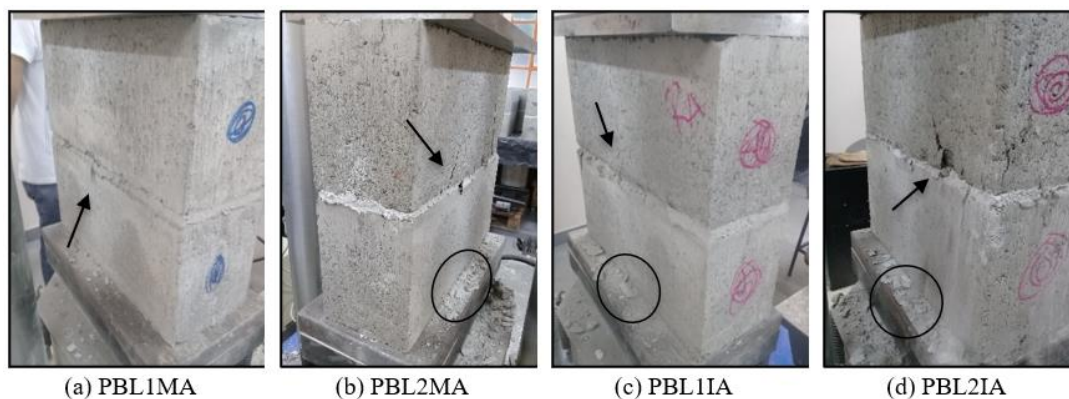


Figura 6 - Modo de ruptura dos prismas

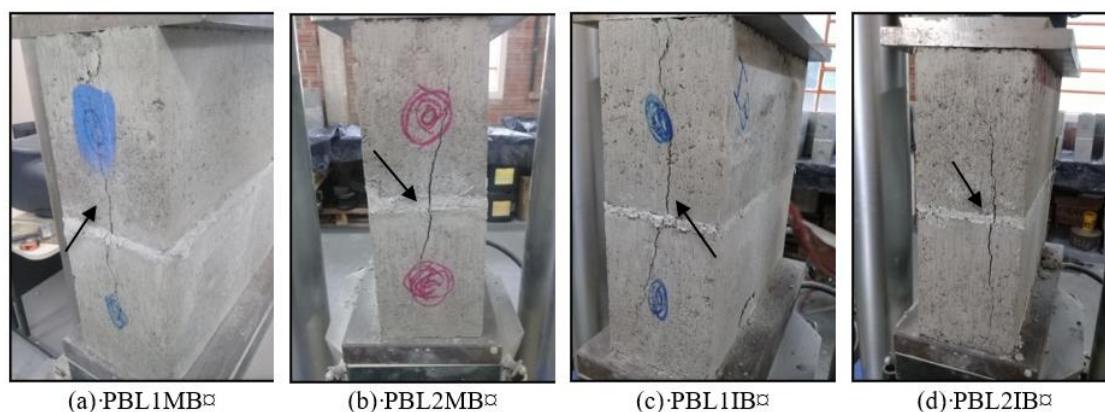
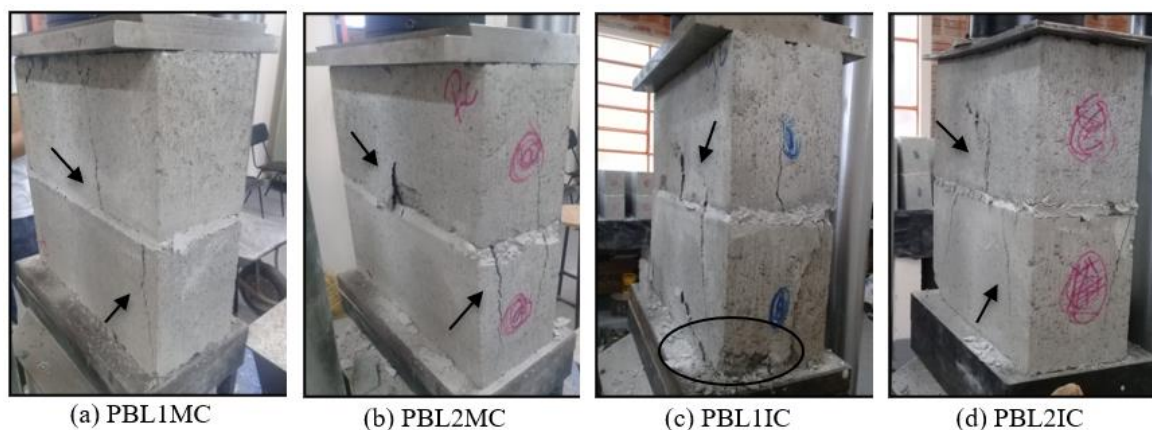


Figura 7 - Modo de ruptura dos prismas



Os prismas moldados com as argamassas mais fortes ($f_a \geq 1,5 f_b$) apresentaram ruptura dos blocos, caracterizada pelo surgimento de fissuras verticais (BL1 e BL2), conforme ilustrado na Figura 7. A utilização de uma argamassa com resistência superior à resistência do bloco de concreto contribui para uma ruptura frágil do conjunto (ATKINSON; NOLAND, 1983). Argamassas fortes fissuram repentinamente e se rompem de forma brusca. Isso está relacionado ao seu alto módulo de deformação, visto que argamassas mais rígidas tem menor capacidade de absorver deformações, e, desse modo, não há ductilidade suficiente para acomodação das deformações da estrutura diante dos esforços a que são submetidos (GOMES, 1983). O elevado módulo de elasticidade de argamassas não é aconselhável para a alvenaria estrutural, pois a argamassa deve permitir pequenas movimentações na parede sem fissurar (KHALAF *et al.*, 1992; SABBATINI, 1984; MOHAMAD, 1998). Estudos desenvolvidos por Mohamad *et al.* (2017, 2018) indicam que quando a resistência à compressão da argamassa em seu estado confinado era superior à resistência à tração das unidades, as fissuras de tração vertical nas unidades propagavam-se um pouco horizontalmente ao longo da junta de argamassa, seguida da ruptura por tração dos blocos. Zahra *et al.* (2021) verificaram comportamento análogo, em que prismas de estratificação total falharam por fissuras verticais paralelas desenvolvidas em todos os lados e aliam isso à incompatibilidade entre as propriedades de deformação das unidades e da argamassa. As argamassas muito rígidas podem não garantir uma acomodação de deformação adequada à alvenaria, enquanto as argamassas mais deformáveis apresentam resistência razoável, trabalhabilidade e retenção de água adequadas para esse uso (PARSEKIAN; SOARES, 2010; HERNOUNE *et al.*, 2020; KACZMAREK, 2019; PAVIA; BRENNAN, 2019).

Conclusões

Esta pesquisa permitiu verificar a importância da compatibilidade entre bloco/argamassa em prismas, como um indicativo do desempenho de paredes de alvenaria estrutural. Algumas conclusões foram realizadas:

- (a) aumento da resistência da argamassa não significa necessariamente melhor desempenho do prisma, uma vez que o módulo de elasticidade da argamassa não aumenta na mesma proporção que a sua resistência à compressão;
- (b) à medida que se aumenta a resistência do bloco de concreto, há um aumento da resistência à compressão dos prismas, no entanto de forma não proporcional;
- (c) o desempenho de prismas e paredes de alvenaria estrutural devem ser baseados nas características dos elementos constituintes, tanto do bloco quanto da argamassa;
- (d) o modo de rotura da alvenaria depende se a junta de argamassa é fraca ou forte em relação às unidades de alvenaria;
- (e) a utilização de argamassas fracas ou muito rígidas podem comprometer a resistência da estrutura e promover a ruptura de forma dúctil e frágil, respectivamente; e
- (f) embora as argamassas industrializadas tenham mostrado um bom desempenho, sugere-se a realização de estudos futuros relacionados à análise de sua durabilidade a longo prazo.

Referências

- ABASI, A. *et al.* Influence of prism geometry on the compressive strength of concrete masonry. **Construction and Building Materials**, v. 264, p. 1-17, 2020.
- ÁLVAREZ-PÉREZ, J. *et al.* Multifactorial behavior of the elastic modulus and compressive strength in masonry prisms of hollow concrete blocks. **Construction and Building Materials**, v. 241, p. 1-18, 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C-1314**: standard test method for compressive strength of masonry prisms. Philadelphia, 2022.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C-270**: standard specification for mortar for unit masonry. Philadelphia, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868-2**: alvenaria estrutural: parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8798**: execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9289**: cal hidratada para argamassas: determinação da finura. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: agregados: determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: agregado miúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ATKINSON, R. H.; NOLAND, J. L. A proposed failure theory for brick masonry in compression. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 3., Edmonton, 1983. **Proceedings [...]** Toronto, 1983.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto**. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

CALDEIRA, F. E. *et al.* Influence of joint thickness and strength of mortars on the compressive behavior of prisms made of normal and high-strength concrete blocks. **Construction and Building Materials**, v. 234, p. 1-12, 2020.

CASALI, J. M. **Estudo comparativo do comportamento de diferentes tipos de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CASALI, L.; PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. New test method for the evaluation of the workability of concrete block masonry bedding mortars. In: INTERNATIONAL BRICK AND BLOCK MASONRY CONFERENCE, 14., Sidney, 2008. **Proceedings [...]** Sidney, 2008.

CASTRO, L. O. *et al.* Experimental evaluation of the interaction between strength concrete block walls under vertical loads. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 9, p. 643–681, 2016.

CHEEMA, T. S.; KLINGNER, R. E. Compressive strength of concrete masonry prisms. **American Concrete Institute Journal**, Farmington Hills, p. 88-97, jan./feb. 1986.

DHANASEKAR, M. *et al.* On the in-plane shear response of the high bond strength concrete masonry walls. **Materials and Structures**, v. 50, 2017.

DROUGKAS, A. *et al.* The confinement of mortar in masonry under compression: experimental data and micro-mechanical analysis. **International Journal of Solids and Structures**, v. 162, p. 105–120, 2019.

FONSECA, F. S. *et al.* Compressive strength of high-strength concrete masonry grouted prisms. **Construction and Building Materials**, v. 202, p. 861–876, 2019.

FORTES, E. S. *et al.* Compressive strength of masonry constructed with high strength concrete blocks. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v.10, n. 6, p. 1273–1319, 2017.

FORTES, E. S. *et al.* High-strength concrete masonry walls under concentric and eccentric loadings. **Journal of Structural Engineering**, v. 144, n. 6, 2018.

GANESAN, T. P.; RAMAMURTHY, K. Behavior of concrete hollow-block masonry prisms under axial compression. **Journal of Structural Engineering**, v. 118, n. 7, p. 1751–1769, 1992.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicas**. São Carlos, 2000. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

GARZÓN-ROCA, J. *et al.* Compressive strength of masonry made of clay bricks and cement mortar: estimation based on neural networks and fuzzy logic. **Engineering Structures**, v. 48 p. 21–27, 2013.

GOMES, N. G. A resistência das paredes de alvenaria. São Paulo, São Paulo, 1983. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

- HENDRY, A. W. **Structural Brickwork**. London: The Macmillan Press, 1981.
- HERNOUNE, H. *et al.* Strengthening of masonry walls with CFRP composite: experiments and numerical modeling. **Journal of Silicate Based and Composite Materials**, v. 72, p. 2–11, 2020.
- ITAMBÉ. **Relatórios de ensaio**. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/>. Acesso em: 15 set. 2022.
- KACZMAREK, A. Technical evaluation of construction mortars with various lime quantity additions. In: CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE, URBAN PLANNING SYMPOSIUM. MULTIDISCIPLINARY WORLD, 4., Prague, 2019. **Proceedings [...]** Prague, 2019.
- KHALAF, F. M. *et al.* Mechanical properties of material used in concrete blockwork construction. **Magazine of Concrete Research**, Edinburgh, v. 44, n. 158, p. 1-14, 1992.
- LLORENS, J. *et al.* Experimental study on the vertical interface of thin-tile masonry. **Construction and Building Materials**, v. 261, p. 1-11, 2020.
- MANSUR, A. A. P.; MANSUR, H. S. Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., Foz do Iguaçu, 2006. **Anais [...]** Foz do Iguaçu, 2006.
- MARTINS, R. O. G. *et al.* Influence of blocks and grout on compressive strength and stiffness of concrete masonry prisms. **Construction and Building Materials**, v. 182, p. 233–241, 2018.
- MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais**. Florianópolis, 1998. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. Florianópolis, 1998. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- MOHAMAD, G. *et al.* Stiffness plasticity degradation of masonry mortar under compression: preliminary results. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, p. 279–295, 2018.
- MOHAMAD, G. *et al.* Strength, behavior, and failure mode of hollow concrete masonry constructed with mortars of different strengths. **Construction and Building Materials**, v. 134, p. 489–496, 2017.
- NAKAKURA, E. H. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2004. (Boletim Técnico).
- NALON, G. H. *et al.* Review of recent progress on the compressive behavior of masonry prisms. **Construction and Building Materials**, v. 320, 2021, 2022.
- NALON, G. H. *et al.* Strength and failure mechanisms of masonry prisms under compression, flexure and shear: components' mechanical properties as design constraints. **Journal of Building Engineering**, v. 28, p. 1-13, 2020.
- OLIVEIRA, M. J. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. Rio Claro, 2002. 191 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.
- PARSEKIAN, G. *et al.* **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. São Paulo: EdUFSCar, 2012.
- PARSEKIAN, G.; SOARES, M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle**. São Carlos: Nome da Rosa, 2010.
- PASSOS, J. S. *et al.* Requisitos e tendências para o controle da qualidade da alvenaria estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51., Curitiba, 2009. **Anais [...]** Curitiba, 2009.
- PAVIA, S.; BRENNAN, O. Portland cement-lime mortars for conservation: historic mortars. In: HUGHES, J. J. *et al.* **Historic mortars: advances in research and practical conservation**. London: Springer, 2019.
- PRADO, S. H. **Resistência à compressão de tijolos e blocos cerâmicos de diferentes formas e dimensões**. Florianópolis, 1995. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

- PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. *et al.*, 2003. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Palloti, 2003.
- RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.
- RAVULA, M. B.; SUBRAMANIAM, K. V. Experimental investigation of compressive failure in masonry brick assemblages made with soft brick. **Materials and Structures**, v. 50, n. 1, 2017.
- ROMAN, H. R. *et al.* **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: EdUFSC, 1999.
- SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1986. (Boletim Técnico).
- SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. São Paulo, 1984. 298 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.
- SATHIPARAN, N.; RUMESHKUMAR, U. Effect of moisture condition on mechanical behavior of low strength brick masonry. **Journal of Building Engineering**, v. 17, p. 23–31, 2018.
- SHI, T. *et al.* Experimental and numerical investigation on the compressive properties of interlocking blocks. **Engineering Structures**, v. 228, p. 1-15, 2021.
- STEIL, R. O.; PRUDÊNCIO, L. R. Influência da geometria dos blocos no fator de eficiência das alvenarias estruturais de blocos de concreto. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7., Belo Horizonte, 2002. **Proceedings [...]** Belo Horizonte, 2002.
- THAICKAVIL, N. N.; THOMAS, J. Behaviour and strength assessment of masonry prisms. **Case Studies in Construction Materials**, v. 8, p. 23–38, 2018.
- THAMBOO, J. A. Material characterisation of thin layer mortared clay masonry. **Construction and Building Materials**, v. 230, p. 1-10, 2020.
- THAMBOO, J. A.; DHANASEKAR, M. Correlation between the performance of solid masonry prisms and wallettes under compression. **Journal of Building Engineering**, v. 22, p. 429–438, 2019.
- YANG, K. H. *et al.* A stress-strain model for brick prism under uniaxial compression. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, p. 1–10, 2019.
- ZAHRA, T. *et al.* Compressive strength and deformation characteristics of concrete block masonry made with different mortars, blocks and mortar beddings types. **Journal of Building Engineering**, v. 38, p. 1-13, 2021.
- ZHOU, Q. *et al.* Estimation of compressive strength of hollow concrete masonry prisms using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference systems. **Construction and Building Materials**, v. 125, 417-426, 2016.

Rafaella Salvador Paulino

Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Construção Civil | Universidade Estadual de Londrina | Rod. Celso Garcia Cid, PR-445, Km 380, Campus Universitário | Londrina - PR - Brasil | CEP 86057-970 | Tel.: (43) 3371-4727 | E-mail: rafaellaspaulino@gmail.com

Berenice Martins Toralles

Conceitualização, Metodologia, Administração do projeto, Supervisão, Validação de dados e experimentos.

Departamento de Construção Civil | Universidade Estadual de Londrina | E-mail: toralles@uel.br

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.