



XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

Influência da aderência graute/ bloco cerâmico estrutural na resistência mecânica do conjunto

Influence of grout adhesion/ structural ceramic block on the mechanical strength of the set

Leonel GUARNIERI¹, Carlos PÉREZ BERGMANN², Luiz CARLOS PINTO DA SILVA FILHO³

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGE3M, Porto Alegre, Brasil, leonelguarnieri@hotmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGE3M, Porto Alegre, Brasil, bergmann@ufgrs.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGCI, Porto Alegre, Brasil, icarlos66@gmail.com

Resumo: A alvenaria estrutural desenvolveu-se desde a década de 1960 e, atualmente, é um sistema construtivo eficiente para a construção contemporânea de edifícios, atingindo alturas de até 20 pavimentos. Para aumentar a capacidade de absorção de esforços de compressão e tração, barras de aço são inseridas nos vazados dos blocos e consolidadas com graute, formando um único elemento. Pesquisas identificaram que a aderência graute/ bloco cerâmico é muito baixa, quando as amostras são submetidas a esforços de compressão (*push-out*) e tração (*pull-out*), acarretando no escorregamento do graute e consequente limitação estrutural do conjunto. A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) não especifica um valor de resistência característica de aderência entre graute e bloco cerâmico, somente entre barras de aço e graute. Frente a esta constatação, a presente pesquisa tem o objetivo de complementar o estudo sobre o comportamento de ruptura do conjunto formado pelos elementos bloco cerâmico estrutural e graute, quando submetidos à compressão axial. Também objetiva avaliar a influência da aderência graute/ bloco cerâmico na resistência mecânica, a fim de contribuir com informações para a NBR 15812-1 (ABNT, 2010). Para desenvolvimento da pesquisa, inicialmente foi realizada a caracterização dos materiais e, posteriormente, realizados ensaios de *push-out*, compressão de blocos preenchidos com graute e microscopia óptica. As amostras foram constituídas de blocos cerâmicos com resistência mecânica à compressão de 7, 10, 15 e 18 MPa, preenchidos com graute de resistência à compressão estimada em 30 MPa. Os resultados indicam que a aderência graute/ bloco cerâmico é maior que a resistência mecânica à tração e que a ruptura do conjunto ocorrerá por tração do bloco, não por falta de aderência.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Bloco cerâmico. Graute. *Push-out*. Aderência.

Abstract: The structural masonry has developed since the 1960s and is currently an efficient building system for the contemporary buildings construction, reaching heights of up to 20 floors. In order to increase the absorption capacity of compression and tensile forces, steel bars are inserted inside of the blocks on the vertical holes and filled with grout forming, becoming a single element. Researches had identified that the adhesion grout/ ceramic block is very low, when the samples were submitted to push-out and pull-out test, leading to sliding of the grout and consequent structural limitation of the set. The NBR 15812-1 (ABNT, 2010) doesn't specify a characteristic strength of adhesion between grout and ceramic block, only between steel bars and grout. Against this background, the present research has the mind of complementing the study on the rupture behavior of the set formed by the structural ceramic block elements and grout when submitted to axial compression. Also to evaluate the influence of adhesion grout/ ceramic block on mechanical resistance, in order to contribute with information to



NBR 15812-1 (ABNT, 2010). For the research development, first was carried out the material characterization, after that the push-out test, compression of the blocks filled with grout and the optical microscopy. The samples were composed of ceramic blocks with compressive strength of 7, 10, 15 and 18 MPa, filled with grout with estimated compressive strength of 30 MPa. The results indicate that the grout/ ceramic block adhesion is greater than the mechanical tensile strength and that the rupture of the joint will happen by tensile of the block and not by lack of adhesion.

Keywords: Structural masonry. Ceramic block. Grout. Push-out test. Adherence.

1. Introdução

No Brasil, construções em alvenaria estrutural tiveram início na década de 1960. Porém somente no final da década de 1980 e início de 1990, o sistema ganhou força através de parcerias com universidades e empresas, que proporcionaram pesquisas e criações de materiais e equipamentos. A partir desse momento, pode-se dizer que o conceito de alvenaria estrutural, dimensionada a partir de conceitos técnicos e detalhada de forma racional, substituiu a estrutura de alvenaria, que era construída com blocos maciços e de forma empírica. Desde então, as significantes melhorias nos materiais e os avanços na produção de blocos, métodos de cálculo e técnicas construtivas, contribuíram para que a alvenaria estrutural fosse reconhecida como uma solução economicamente eficiente para a construção contemporânea de edifícios, visto que blocos de alta resistência, argamassas e grautes industrializados são, hoje, disponíveis e contribuem para o aumento do desempenho e produtividade (PARSEKIAN *et al.*, 2013).

De acordo com a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), o sistema de alvenaria estrutural é basicamente composto pelos elementos bloco, argamassa, graute e armadura. Sendo a armadura inserida nos vazados dos blocos e consolidada com graute, a fim de proporcionar maior rigidez e absorver os esforços de tração e compressão das paredes (PARSEKIAN *et al.*, 2013). Portanto, o conhecimento das interações entre esses elementos é necessário para entender o funcionamento do sistema e, conseqüentemente, reconhecer algumas limitações, pois seu comportamento depende não somente da qualidade de cada elemento empregado, mas também das interações físico-químicas que se processam entre eles (MOHAMAD *et al.*, 2011).

Pesquisas foram realizadas para compreender a influência do graute na alvenaria estrutural, mas poucos pesquisadores estudaram a influência da aderência graute/ bloco cerâmico na resistência mecânica do conjunto. Dentre os trabalhos, no Brasil, que estudaram a influência do graute na alvenaria estrutural pode-se destacar MENDES (1998), GARCIA (2000), CARVALHO (2003), GROHMANN (2006), MOHAMAD (2011), RIZZATI (2012), CAMACHO (2015), IZQUIERDO (2015) e FISHER (2016). No exterior, são importantes os trabalhos de HILSDORF (1969), HAMID & DRYSDALE (1979), SORIC & TULIN (1987), NAWAWY & HADDAD (1990) e HAMID & CHANDRAKEERTHY (1992). Na pesquisa realizada por TULIN & SORIC (1987), estudou-se a aderência entre graute e blocos de concreto estrutural. Já nas pesquisas realizadas por IZQUIERDO (2015) e FISHER (2016), foi estudada a aderência entre graute e bloco cerâmico estrutural.

Em virtude da grande variabilidade de blocos e grautes, esclarecimentos a respeito do tema são fundamentais para conhecer as interações entre os elementos constituintes da alvenaria estrutural



com blocos cerâmicos e, conseqüentemente, complementar informações técnicas. A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) recomenda que a influência do graute na resistência da alvenaria seja verificada em laboratório, mediante o emprego de ensaios de compressão de prismas, grauteados e argamassados nas condições empregadas na obra. No entanto, não especifica um valor de resistência característica de aderência entre bloco e graute, somente entre aço, argamassa e graute.

O principal objetivo estabelecido para a pesquisa é complementar o estudo sobre o comportamento de ruptura do conjunto formado pelos elementos bloco cerâmico estrutural e graute quando submetidos à compressão axial, bem como avaliar a influência da aderência graute/ bloco no desempenho e resistência mecânica do conjunto, a fim de determinar um valor característico que possa contribuir com a NBR 15812-1 (ABNT, 2010).

Para desenvolvimento da pesquisa foram realizados ensaios de *push-out* em amostras constituídas de blocos cerâmicos do tipo meio bloco, com dimensões de 140 x 140 x 190 mm, com resistência à compressão (f_b) de 7, 10, 15 e 18 MPa e vazados preenchidos com graute de resistência à compressão (f_c) de 30 MPa. Optou-se pela utilização do meio bloco por proporcionar maior facilidade de uso e segurança durante o rompimento das amostras na prensa. Também decidiu-se por amostras formadas pelo conjunto dos elementos bloco e graute, e não por prismas, a fim de isolar a variável argamassa.

2. Materiais

2.1 Caracterização dos blocos

Os blocos cerâmicos estruturais utilizados na pesquisa foram fornecidos pela empresa Pauluzzi Produtos Cerâmicos. Os blocos são produzidos com uma composição de três tipos de argila, e a densidade desta mistura de argilas é de, aproximadamente, 1,8 g/cm³. O processo de fabricação ocorre através de extrusão, secagem e queima, a uma temperatura de, aproximadamente, 900°C. Na Figura 1, são apresentados os quatro tipos de blocos utilizados na pesquisa, onde se verificam as diferentes configurações entre eles.



Figura 1 – Tipos de blocos utilizados na pesquisa

As caracterizações geométricas, físicas e mecânicas foram realizadas conforme preconizado pelas normas NBR 15270-3 (ABNT, 2005) e ASTM C 1006 (2013). A resistência à compressão foi determinada levando em consideração a área bruta das treze amostras de blocos. No Quadro 1, são apresentadas as médias de resistências à compressão (f_b médio) em megapascals, onde,



posteriormente, calculou-se o desvio padrão, o coeficiente de variação e a resistência característica estimada ($f_{bk, est}$), em megapascals.

Quadro 1 – Resistência à compressão característica dos blocos

Tipos de blocos	fb médio (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação	fbk, est (MPa)
7 MPa	13,29	1,71	12,87%	9,80
10 MPa	13,90	2,80	20,13%	10,1
15 MPa	24,66	4,30	17,45%	17,8
18 MPa	23,29	3,21	13,76%	18,9

No Quadro 2, são apresentados os resultados da resistência à tração por fendilhamento (f_t), preconizada pela norma ASTM C 1006 (2013). Foram rompidas seis amostras para cada tipo de bloco e, posteriormente, calculou-se a tensão média de tração (f_t médio) em megapascals, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o percentual de relação entre f_t e $f_{bk, est}$.

Quadro 2 – Resistência à tração por fendilhamento dos blocos

Tipos de blocos	f_t médio (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Tração em relação ao $f_{bk, est}$
7 MPa	0,25	0,04	19,13%	2,55%
10 MPa	0,44	0,11	26,95%	4,36%
15 MPa	0,60	0,12	20,64%	3,37%
18 MPa	0,62	0,12	19,57%	3,28%

Conforme a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), o índice de absorção inicial d'água determina a quantidade de água que o bloco cerâmico absorve da argamassa de assentamento ou revestimento em um minuto. Quando o índice de absorção d'água inicial (AAI) resulta superior a 30 (g/193,55 cm²) / min, os blocos devem ser umedecidos antes do assentamento ou da aplicação do revestimento, a fim de evitar a retirada de água da argamassa e, conseqüentemente, diminuir sua resistência mecânica. Esse ensaio também pode ser extrapolado para o graute, visto que a retirada de água em excesso irá prejudicar a aderência ao bloco, bem como afetar a resistência mecânica. Portanto, para realização desse ensaio, foi levada em conta a área da face externa dos blocos, na qual aplica-se o revestimento, e considerou-se que a absorção da face interna (vazado do bloco) é a mesma da face externa. No Quadro 3, são apresentados os resultados do AAI, bem como da área líquida (Aliq), e o índice de absorção total (AA).



Quadro 3 – Caracterização física e geométrica dos blocos

AMOSTRAS DE BLOCOS	Índice de absorção d' água (AA)	Índice de absorção inicial - AAI (g)	Ab média (cm ²)	Aliq média (cm ²)
7 MPa	13,00%	18	194,3	91,0
10 MPa	10,90%	18	193,5	97,8
15 MPa	11,40%	23	196,0	103,6
18 MPa	10,70%	21	195,3	121,1

2.2 Caracterização do cimento

Foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI-RS). Esse cimento foi escolhido por apresentar o menor teor de adições em sua composição, obtendo as características físicas desejáveis (hidratação e resistência à compressão), além de ser o cimento disponível para pesquisas no laboratório. Os ensaios químicos para o cimento utilizado, de acordo com informações do fabricante em relação ao lote utilizado, podem ser visualizados na Quadro 4. A caracterização física está apresentada na Quadro 5, e a caracterização mecânica está apresentada no Quadro 6.

Quadro 4 – Caracterização química do cimento

Ensaio	Metodologia	Unidade	Resultado	Exigência
Resíduo Insolúvel - RI	NBR NM 15 (ABNT, 2012)	%	1,00	não aplicável
Perda ao Fogo – PF	NBR NM 18 (ABNT, 2012)	%	3,99	≤ 4,5
Óxido de Magnésio – MgO	NBR NM 14 (ABNT, 2012)	%	1,77	≤ 6,5
Trióxido de Enxofre - SO ₃	NBR NM 16 (ABNT, 2012)	%	2,64	≤ 4,5
Anidrido Carbônico - CO ₂	NBR NM 20 (ABNT, 2012)	%	2,65	≤ 3,0

Quadro 5 – Caracterização física do cimento

Ensaio	Metodologia	Unidade	Resultado	Exigência
Área Específica (Blaine)	NBR NM 76 (ABNT, 1998)	cm ² /g	4.612	≥ 3.000
Massa Específica	NBR NM 23 (ABNT, 2001)	g/cm ³	3,01	não aplicável
Índice de finura - # 75 µm (nº 200)	NBR 11579(ABNT, 2013)	%	0,01	≤ 6,0
Resíduo na peneira #325	NBR 9202 (ABNT, 1985)	%	0,46	não aplicável
Água de consistência normal	NBR NM 43 (ABNT, 2003)	%	30,1	não aplicável
Início de Pega	NBR NM 65 (ABNT, 2003)	minutos	164	≥ 60
Fim de Pega		minutos	223	≤ 600
Expansibilidade à quente	NBR 11582(ABNT, 2012)	mm	0,00	≤ 5,0



Quadro 6 – Caracterização mecânica do cimento

Ensaio	Metodologia	Unidade	Desvio padrão	Resultado	Exigência
Resistência à compressão – 1 dia	NBR 7215 (ABNT, 1996)	MPa	0,59	22,8	11,0
Resistência à compressão – 3 dias			1,93	36,3	24,0
Resistência à compressão – 7 dias			2,71	45,7	34,0
Resistência à compressão – 28 dias			2,26	55,0	não aplicável

2.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia média proveniente do Rio Jacuí, com origem quartzosa, que se encontra disponível no mercado local. As características físicas e granulométricas dos agregados miúdos estão expostas no Quadro 7, com o respectivo método de ensaio normatizado.

Quadro 7 – Caracterização do agregado miúdo

Característica		Método de ensaio	Areia natural média	
Massa específica (g/cm ³)		NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,63	
Dimensão máxima característica (mm)		NBR NM 248, (ABNT, 2009)	2,36	
Módulo de finura		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,40	
Abertura da peneira (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
Distribuição granulométrica	4,75		0,2	0
	2,36		3,8	4
	1,18		10,0	14
	0,60		29,9	44
	0,30		45,3	89
	0,15		0,1	89

2.4 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi rocha basáltica britada (pedrisco). As características físicas e granulométricas dos agregados graúdos estão expostas no Quadro 8, com o respectivo método de ensaio normatizado.



Quadro 8 – Caracterização do agregado graúdo

Característica		Método de ensaio	Pedrisco	
Massa específica (g/cm ³)		NBR NM 53 (ABNT, 2009)	2,80	
Dimensão máxima característica (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	12,50	
Módulo de finura		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	5,56	
Abertura da peneira (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
Distribuição granulométrica	19		0,0	0
	12,5		0,4	0
	9,5		10,4	11
	6,3		38,9	50
	4,75		19,5	69
	2,36		19,3	88
	1,18		5,3	94
	0,6		2,5	96
	0,3		2,0	98
	0,15		1,7	100
	0,075		0,1	100

2.5 Graute

O traço do graute, apresentado no Quadro 9, foi o mesmo utilizado por Izquierdo (2015) em sua tese de doutorado, com resistência à compressão estimada de 30 MPa. A escolha desse traço teve como objetivo dar continuidade à linha de pesquisa e obter novos resultados.

Quadro 9 – Traço do graute

fc graute	Cimento	Areia	Pedrisco	Relação a/c
30 MPa	1	1,9	2,21	0,65

A determinação da consistência foi realizada através do abatimento de tronco cone, conforme a NM 67 (ABNT, 1998), e o resultado obtido foi de 230 mm. Para determinar as propriedades mecânicas de resistência à compressão e módulo de elasticidade, foram moldados corpos de prova de 100 x 200 mm, e armazenados em água saturada com cal, conforme preconizado pela NBR 5738 (ABNT, 2015). A resistência à compressão foi determinada através de ensaios realizados aos 28 dias, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007). Já o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson do graute foram determinados conforme a NBR 8522 (ABNT, 2008). No Quadro 10, são apresentados os resultados obtidos na caracterização do graute.



Quadro 10 – Caracterização do graute.

CP	Média H (mm)	Média \varnothing (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	f _c (MPa)	E (GPa)	Poisson
1	187,3	99,7	7806,93	280,2	35,89	31,58	0,22
2	192,2	100,2	7885,43	264,4	33,53	32,01	0,16
3	188,5	99,9	7838,28	245,6	31,33	29,94	0,18
4	187,2	99,7	7806,93	268,2	34,35	29,19	0,22
Média					33,78	30,68	0,19
Desvio padrão					1,90	1,34	0,03
Coefficiente de variação					5,63%	4,35%	16,80%

2.6 Digitalização a laser

Foi realizada a digitalização a laser da superfície dos vazados dos blocos, a fim de determinar com precisão o perímetro do vazado e, conseqüentemente, definir a área de contato, entre graute e bloco, para cada tipo de amostra. As digitalizações foram realizadas no Laboratório de Design e Seleção de Materiais – LdSM da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, através do scanner a laser, modelo Digimill 3D, marca Tecnodrill, com lente de 250 mm e precisão de 0,1 mm em z. A resolução adotada (espaçamento entre os pontos x e y) foi de 0,1 mm, e os dados foram processados no *software* Geomagic Studio. Na Figura 2, são apresentados os resultados da digitalização, bem como o perímetro do vazado de cada tipo de bloco.

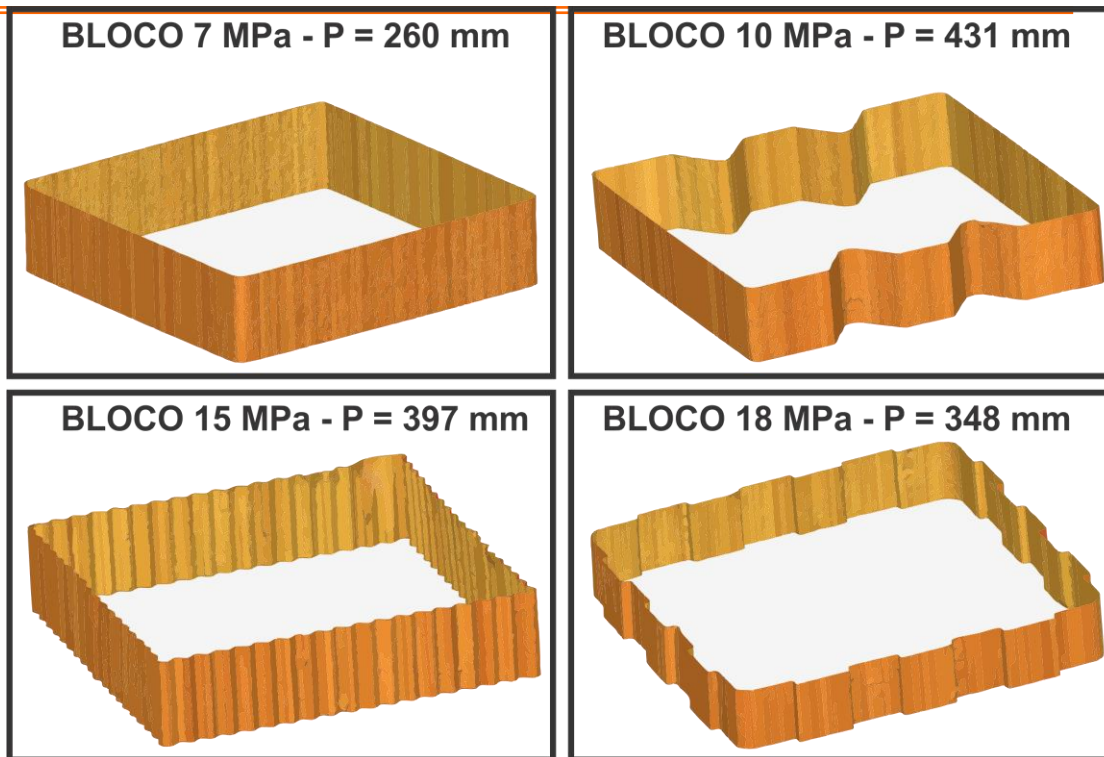


Figura 2 – Digitalização da superfície dos vazados dos blocos

3. Método

O programa experimental desenvolveu-se no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais – LEME da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e consistiu na realização de ensaios de *push-out*, *push-out* com área de contato reduzida, resistência à compressão dos blocos preenchidos com graute e microscopia óptica. No Quadro 11, são descritos os ensaios realizados no programa experimental e a quantidade de amostras para cada ensaio.

Quadro 11 – Programa experimental

Tipo Ensaio	Bloco 7 MPa	Bloco 10 MPa	Bloco 15 MPa	Bloco 18 MPa
<i>Push-out</i>	6	6	6	6
<i>Push-out</i> área de contato reduzida	3	3	3	3
Compressão com bloco cheio	6	6	6	6
Microscopia óptica	1	1	1	1



3.1 Push-out

O ensaio de *push-out* objetivou avaliar a tensão de aderência na interface graute/ bloco, através de amostras constituídas de blocos cerâmicos, preenchidos com graute e com enchimento de 8 mm no fundo da amostra para possibilitar o possível escorregamento do graute. O rompimento ocorreu em um equipamento para ensaios universal, marca Shimadzu, modelo UH – F, com capacidade de 2.000 kN. A carga foi aplicada somente nas paredes do bloco, com carregamento contínuo e velocidade de 0,02 mm/s, até ocorrer o escorregamento do graute ou ruptura do conjunto. Na parte superior da amostra, foi utilizada uma chapa de aço para concentrar a força somente na região do graute, gerando um esforço cisalhante entre graute e bloco cerâmico. Na Figura 3, é possível observar um esquema que demonstra a configuração das amostras para realização do ensaio.

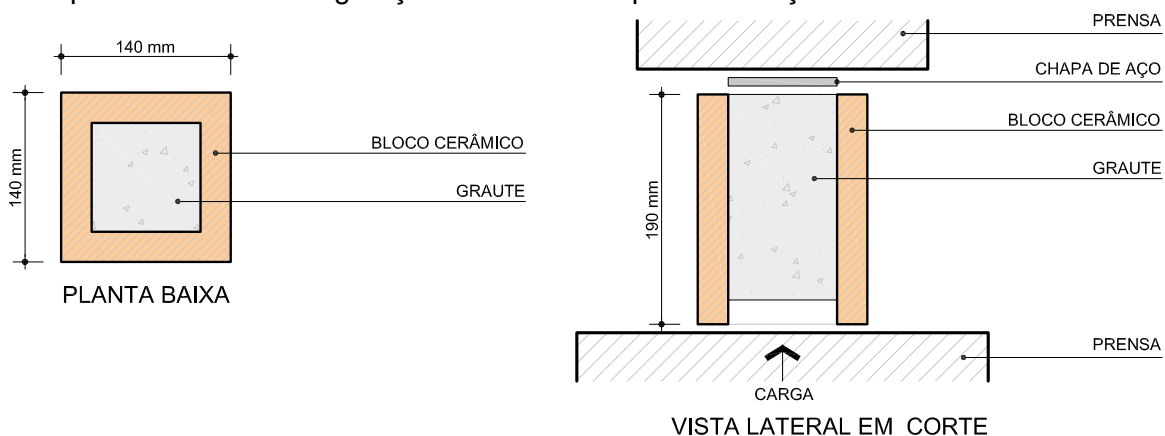


Figura 3 – Esquema com a configuração de moldagem e ensaio das amostras de *push-out*

3.2 Push-out com área de contato reduzida

O objetivo do ensaio de *push-out* com área de contato reduzida foi obter um valor característico da tensão de aderência entre graute e bloco cerâmico, partindo do princípio de reduzir ao máximo a área de contato entre os elementos e, conseqüentemente, diminuir a transferência de tensões do graute para o bloco. Para isso, a espessura do graute foi, em média, 20 mm. Através da inserção de chapas de acrílico, foi possível limitar o contato para somente duas laterais do vazado do bloco. O rompimento das amostras deu-se pelo mesmo procedimento adotado no *push-out*. Na Figura 4, observa-se um esquema que demonstra a configuração de moldagem das amostras.

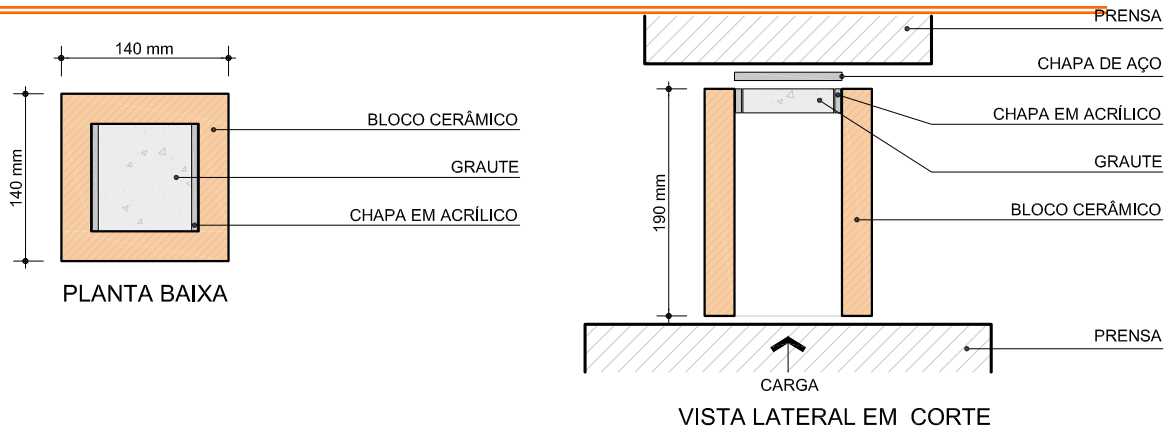


Figura 4 – Esquema com a configuração de moldagem e ensaio das amostras de *push-out*

3.3 Compressão com bloco cheio

O presente ensaio objetivou comparar os resultados de resistência à compressão entre bloco vazio e bloco cheio, a fim de avaliar o possível ganho de resistência dos blocos preenchidos com graute em relação aos blocos vazios. Foram moldadas seis amostras para cada tipo de bloco, sendo os vazados completamente preenchidos com graute e rompidos aos 28 dias. Para rompimento, as amostras foram previamente capeadas com pasta de cimento e areia, e saturadas. O equipamento utilizado foi o mesmo dos ensaios de *push-out*, mas com velocidade de carregamento de 0,05 MPa/s, conforme preconizado pela NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

3.4 Microscopia óptica

A fim de analisar a interface graute/ bloco cerâmico, foi utilizado um microscópio estereoscópio, modelo SteREO Discovery V12, da marca ZEISS, para análise das amostras após rompimento. A utilização desse equipamento permitiu visualizar, com mais detalhes, o contato do graute com as diferentes superfícies do bloco cerâmico.

4. Resultados

4.1 *Push-out*

Os resultados do ensaio de *push-out* mostraram que a aderência graute/ bloco é superior à resistência de tração do bloco, pois em todas as amostras ocorreu a ruptura do bloco antes do escorregamento do graute e, em algumas delas, os elementos permaneceram aderidos após a ruptura do conjunto. Na Figura 5, é possível observar a forma de ruptura das amostras de 7 e 10 MPa, onde a carga máxima de ruptura registrada para a amostra de 7 MPa foi de 102,6 kN e, para a amostra de 10 MPa, foi de 151,6 kN.

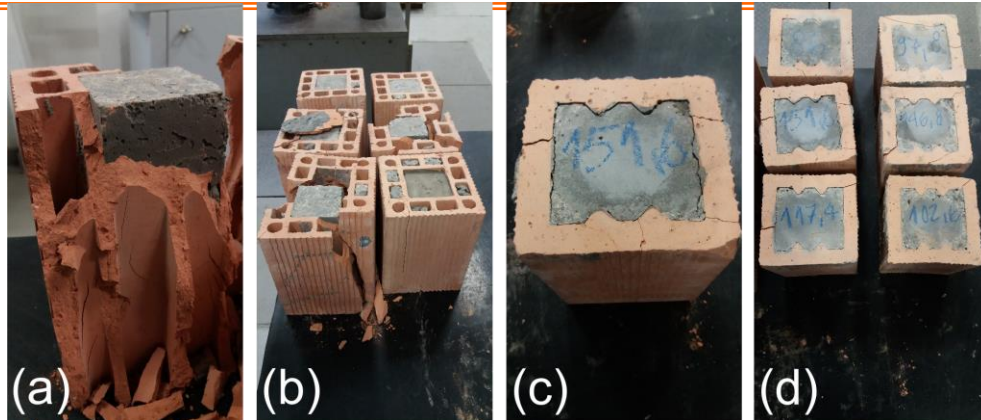


Figura 5 – Ruptura das amostras no ensaio de *push-out*, (a) e (b) bloco de 7 MPa; (c) e (d) bloco de 10 MPa

O rompimento das amostras de 15 e 18 MPa também ocorreu no bloco, mostrando que a aderência graute/ bloco foi superior à capacidade do mesmo de absorver esforços de tração. As amostras com blocos de 15 MPa romperam com cargas mais elevadas, sendo a carga máxima atingida de 222 kN. Para as amostras com blocos de 18 MPa, a carga máxima atingida foi de 178 kN.

Após a ruptura do conjunto, identificou-se que, em algumas regiões, o contato não foi satisfatório, visto que a superfície do bloco apresenta-se limpa e sem nenhum resquício de graute. Todavia, em outras regiões, o contato foi satisfatório, pois, após o rompimento, graute e bloco apresentavam-se aderidos entre eles, conforme é mostrado na Figura 6.

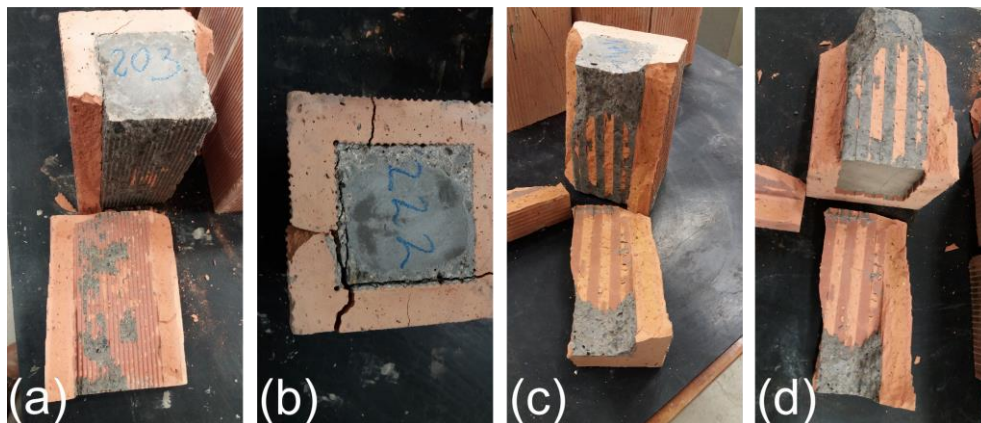


Figura 6 – Ruptura das amostras no ensaio de *push-out*, (a) e (b) bloco de 15 MPa; (c) e (d) bloco de 18 MPa

No Quadro 12, são apresentados os resultados da carga média de ruptura das amostras em kN, sendo essa carga dividida pela área de contato média em mm² e resultando na tensão média de aderência em megapascals. Também obteve-se o desvio padrão e o coeficiente de variação dos resultados individuais da tensão de aderência para cada tipo de bloco.



Quadro 12 – Resultados do ensaio de *push-out*

Bloco	Carga média de ruptura (kN)	Área de contato média (mm ²)	Tensão média de aderência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação
7 MPa	102,60	47067	2,18	0,23	13,44%
10 MPa	86,00	77409	1,11	0,34	23,84%
15 MPa	222,00	70825	3,13	0,38	12,89%
18 MPa	178,00	62536	2,85	0,37	14,09%

Na Figura 7, é mostrado graficamente a relação entre a carga de ruptura no *push-out* e a área de contato das amostras. Com exceção do bloco de 10 MPa, que possui elevada área de contato, mas tensão de aderência baixa, os demais tipos de blocos apresentaram um crescimento linear quando aumentou-se a área de contato e resistência mecânica do bloco. O bloco de 15 MPa obteve resultado superior ao bloco de 18 MPa, visto que a elevada área de contato superou a resistência mecânica.

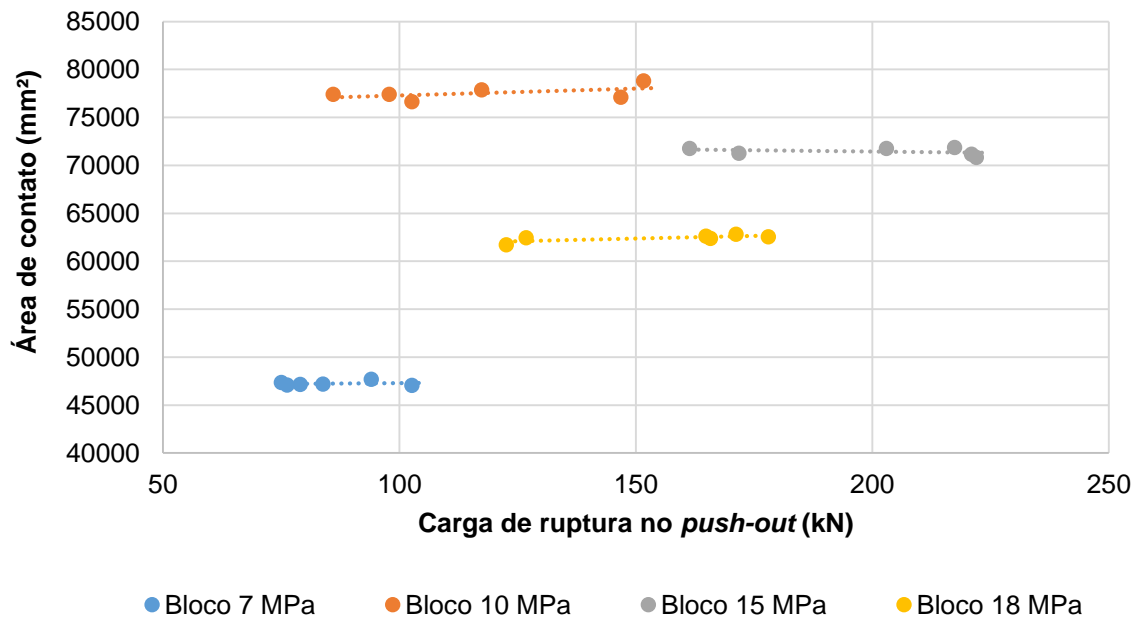


Figura 7 – Relação entre carga de ruptura no *push-out* e área de contato

4.2 *Push-out* com área de contato reduzida

Os resultados das amostras de *push-out* com área de contato reduzida apresentaram boa aderência, pois, conforme é mostrado na Figura 8, a ruptura ocorreu, predominantemente, no bloco, indicando que a aderência é superior à resistência mecânica do bloco.



Com exceção do bloco de 7 MPa, que possui as paredes dos vazados integralmente lisas, os demais blocos possuem saliências com dimensões e configurações variadas, que proporcionam rupturas distintas como, por exemplo, no bloco de 10 MPa, em que os “dentes” apresentaram boa aderência, ao contrário das regiões lisas em que a aderência não foi significativa. Já as ranhuras do bloco de 15 MPa proporcionam elevada área de contato, mas, em contrapartida, favorecem o aprisionamento de ar e, conseqüente, falha de contato.

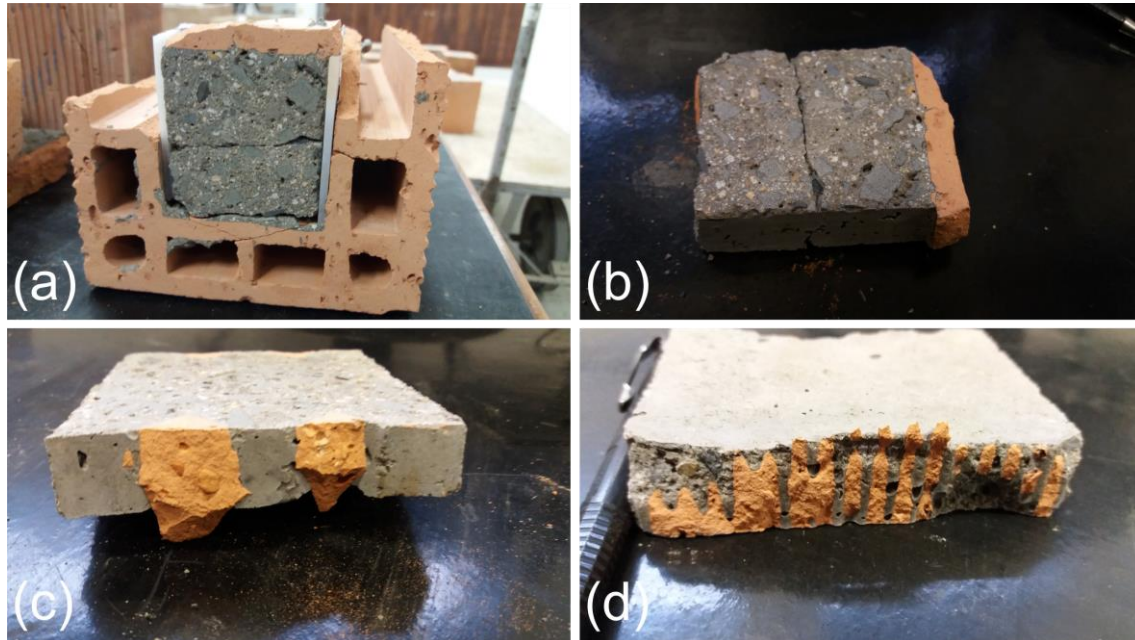


Figura 8 – Ruptura das amostras de *push-out* com área de contato reduzida; (a) e (b) bloco de 7 MPa; (c) bloco de 10 MPa e (d) bloco de 15 MPa

A partir da divisão da carga média de ruptura pela área de contato reduzida, obteve-se a tensão média de aderência, que pode ser comparada com a tensão obtida anteriormente no ensaio de *push-out*. No quadro 13, são apresentados os resultados de carga média de ruptura, área de contato, tensão média de aderência, desvio padrão e coeficiente de variação.

Quadro 13 – Resultados do ensaio de *push-out* com área de contato reduzida

Bloco	Carga média de ruptura (kN)	Área de contato (mm ²)	Tensão média de aderência (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação
7 MPa	6,42	2227	2,55	0,57	22,28%
10 MPa	8,98	3885	2,31	0,68	29,54%
15 MPa	4,38	3181	1,42	0,27	18,81%
18 MPa	9,10	2905	3,13	0,79	25,12%



Na Figura 9, é apresentada uma relação para todas as amostras entre a carga de ruptura no *push-out* e a área de contato reduzida, onde verifica-se que, apesar da elevada área de contato, o bloco de 15 MPa não apresentou boa aderência comparado aos demais, pois, como mostrado anteriormente, a ruptura deu-se nas saliências do substrato.

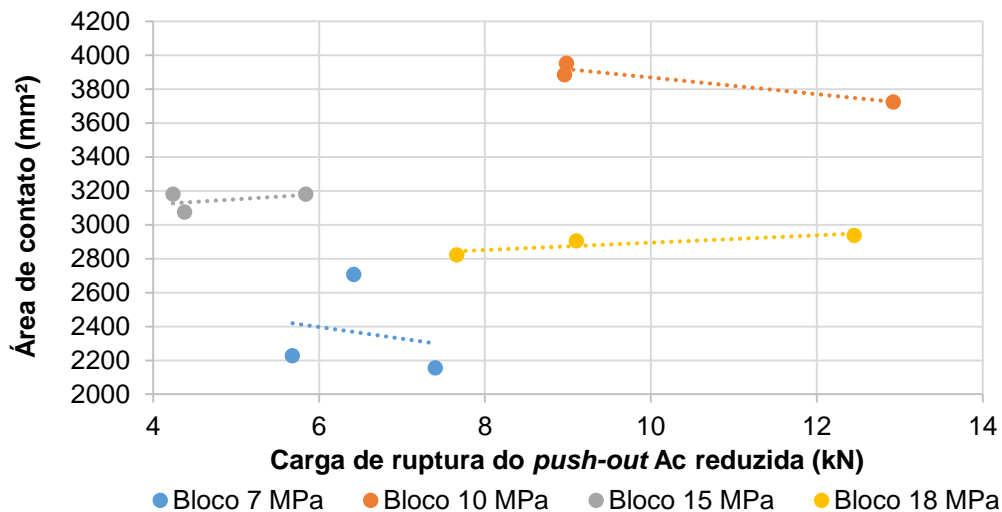


Figura 9 – Relação entre carga de ruptura no *push-out* e área de contato reduzida

4.3 Resistência à compressão com bloco cheio

Os blocos preenchidos com graute apresentaram ganho significativo de resistência à compressão, principalmente os de 7 e 10 MPa, que tiveram ganho de 70 e 167 %, respectivamente. No Quadro 14, são mostradas as cargas e tensões médias de ruptura das amostras, bem como o desvio padrão e o coeficiente de variação. Seguindo o mesmo procedimento dos blocos, foi calculada a resistência característica estimada em megapascals dos blocos cheios.

Quadro 14 – Resultados de resistência à compressão dos blocos cheios

Bloco	Carga média de ruptura (kN)	Tensão média de ruptura (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação	fbk, est cheio (MPa)
7 MPa	385	19,87	1,87	9,43%	16,66
10 MPa	629	32,22	3,61	11,19%	27,02
15 MPa	487	24,80	6,45	25,99%	19,29
18 MPa	629	32,16	2,57	8,00%	26,62



4.4 Microscopia

As imagens de microscopia foram realizadas após o rompimento das amostras de *push-out* com área de contato reduzida, a fim de analisar a interface graute/ bloco. De acordo com a Figura 10 (a), o bloco de 7 MPa apresentou boa aderência em toda a área de contato. Já no bloco de 10 MPa, observou-se aumento da aderência na interface com os “dentes”. Conforme mostrado na Figura 10 (c), o bloco de 15 MPa não apresenta boa aderência com as ranhuras, pois elas provocam o aprisionamento de pequenas bolhas de ar e, conseqüentemente, a diminuição do contato.

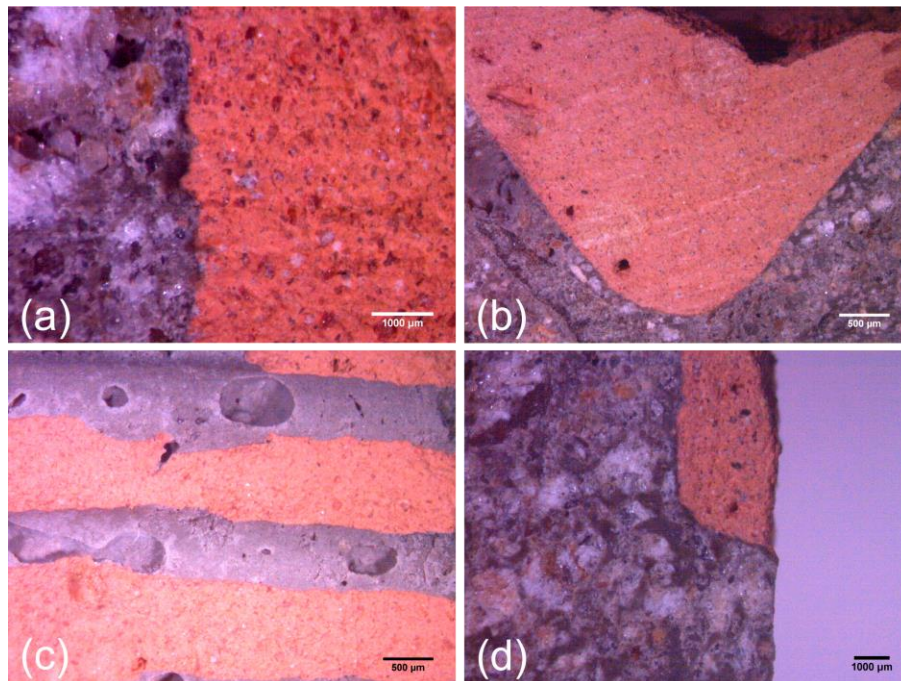


Figura 10 – Microscopia óptica; (a) bloco 7 MPa, (b) bloco 10 MPa; (c) bloco 15 MPa e (d) bloco 18 MPa.

5. Conclusões

A caracterização dos blocos cerâmicos mostrou que a resistência mecânica à tração é muito baixa, ficando em torno de 3% da resistência característica à compressão (fbk). Os ensaios de *push-out* indicaram que a aderência é maior que a resistência mecânica à tração e, portanto, dificilmente irá ocorrer a ruptura do conjunto pela falta de contato entre os elementos, mas pela transferência de tensões do graute para a parede do bloco e conseqüente rompimento. Também deve-se levar em consideração os distintos coeficientes de Poisson entre bloco cerâmico e graute, sendo este último verificado em laboratório e com valor médio de 0,19.

Constatou-se que algumas características dos blocos influenciam na ruptura do conjunto e na aderência graute/ bloco como, por exemplo, a resistência mecânica e a baixa área de contato dos blocos de 7 MPa, que resultaram em uma tensão de aderência alta. Já a elevada resistência



mecânica e as ranhuras, dos blocos de 15 MPa, resultaram em uma elevada tensão de aderência no *push-out*. No entanto, no *push-out*, com área de contato reduzida, as ranhuras romperam com facilidade e proporcionaram o aprisionamento de bolhas de ar, prejudicando o contato entre graute/bloco. O bloco de 10 MPa obteve resultado no *push-out* de 1,11 MPa, valor muito baixo se levarmos em consideração a elevada área de contato do bloco. Entretanto, sua resistência mecânica característica (f_{bk}) é de 10,1 MPa, e pode ser considerada baixa em relação aos demais. Logo, devido à elevada área de contato e conseqüente aumento da transferência de tensões nas laterais do bloco, ocorre rompimento por tração. No entanto, a resistência mecânica com o bloco cheio foi muito elevada, em virtude do alto volume de graute em seu vazado que teve o papel de absorver as tensões antes de transferi-las ao bloco.

Os resultados apontaram que, a aderência graute/ bloco cerâmico sempre irá apresentar valores variados, em decorrência da variabilidade dos elementos, como geometria do bloco e características do graute. No entanto, seu valor característico deverá levar em consideração a resistência mecânica à tração dos blocos cerâmicos.

Referências Bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test methods of splitting tensile strength of masonry units. ASTM C 1006-2013, Philadelphia, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15270: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____ NBR 15812: Alvenaria estrutural – blocos cerâmicos. Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2010.

_____ NBR 5738: Concreto – procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____ NBR 5739: Concreto – ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____ NBR 7211: Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____ NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.



XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2007.

_____ NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____ NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____ NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

CAMACHO, Jefferson Sidney et al. Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento à compressão da alvenaria de blocos de concreto. RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal, v. 8, n. 3, 2015.

CARVALHO, Jenner Miranda de et al. Desempenho estrutural de prismas de blocos cerâmicos com diferentes formas e dimensões. 2003.

FISHER, H. Marcos. Análise e avaliação da aderência na interface entre bloco cerâmico e graute. Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. Santa Cruz do Sul, 2016.

GARCIA, Patricia Domingues. Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GROHMANN, L. Z. Análise do comportamento de prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica. 2006. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós – Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

HAMID, Ahmad A.; CHANDRAKEERTHY, Sammu R.; ELNAWAWY, Omar A. Flexural tensile strength of partially grouted concrete masonry. Journal of Structural Engineering, v. 118, n. 12, p. 3377-3392, 1992.

HAMID, Ahmad A.; DRYSDALE, Robert G. Suggested failure criteria for grouted concrete masonry under axial compression. In: Journal Proceedings. 1979. p. 1047-1062.



XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

HILSDORF, Hubert K. Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression. Designing, engineering and constructing with masonry products, p. 34-41, 1969.

IZQUIERDO, O.S. Estudo da interface bloco/graute em elementos de alvenaria estrutural. 322 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas – Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

MENDES, Ricardo José Kuerten et al. Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais. 1998.

MOHAMAD, Gihad; RIZZATTI, Eduardo; ROMAN, Humberto Ramos. Modo de ruptura, deformabilidade e resistência de pequenas paredes estruturais. Ambiente Construído, 2011.

NAWAWY, O. A., and M. H. Haddad. "Prediction of strength and fracture behaviour of concrete masonry wall units." Fifth North American Masonry Conference, University of Illinois at Urbana, Champaign. 1990.

PARSEKIAN, Guilherme, et al. Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural – 2ª Edição – São Carlos, 2013. 625 p.

RIZZATI, Eduardo, et al. Análise do comportamento mecânico das alvenarias estruturais de blocos cerâmicos utilizando modelos físicos reduzidos – Efeito da geometria. RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal 5.5 (2012).

SORIC, Z.;TULIN, L. G. Bond and splices in reinforced masonry. Report N°. 6.2-2, U.S. – Japan Coordinated Program for Masonry Building Research, University of Colorado, Boulder, Colorado, 1987.