

Experimental and numerical evaluation of mortar specimens shape and size influence on compression tests

Avaliação experimental e numérica da influência da forma e dimensão de corpos de prova de argamassa em ensaios de compressão



D. F. A. CAPRARO^a
diegocapraro@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5261-5689>

A. P. B. CAPRARO^a
anapcapraro@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6270-6568>

M. A. ARGENTA^a
marco.argenta@ufpr.br
<https://orcid.org/0000-0003-1183-7896>

M. H. F. MEDEIROS^a
medeiros.ufpr@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3112-9715>

Abstract

The axial compressive strength of cementitious compounds is an important parameter for classification, quality assessment and material design. The values obtained in tests are influenced due intrinsic properties of the compounds and external factors such specimen size and shape. The present work aims to evaluate experimentally and numerically using finite element method, the specimen shape and dimension influence over results of the mortar axial compressive strength test. The specimen geometry aspects are cubic, (4x4x4) cm, column with height/thickness ratio equals two prismatic, (4x4x8) cm, beam with height/thickness ratio equals one prismatic also with dimensions (4x4x8) cm however tested with horizontal 8 cm dimension and 5 cm diameter cylindrical with 5 cm and 10 cm of height. Specimen material are strong and weak mortar. We tested five specimen of every mortar strength one for each geometry therefore ten specimen total at 28 days of age. The cylindrical specimen resulted in lower mechanical strength among all geometry. Between cylindrical ones the results exhibited equivalent strength however, among prismatic and cubic ones the strength results diverged. Ones with height/thickness ratio equals one, i.e., cubic and beam, resulted in higher strength then one with height/thickness ratio equals two, named column. Numerical simulations verify these results indicating equally height/thickness ratio equals one geometry with higher strength. This could be happening because in height/thickness ratio equals one geometry the maximum principal stress values (tractions) are lower.

Keywords: axial compression, strength test, specimen shape, specimen size, numerical analysis.

Resumo

A resistência à compressão axial de compostos cimentícios é um parâmetro importante para classificação, aferição de qualidade e dimensionamento desses materiais. Os valores obtidos nos ensaios são diretamente influenciados pelas propriedades intrínsecas dos compostos e por fatores externos, como dimensão e forma dos corpos de prova. O presente trabalho tem por objetivo avaliar experimentalmente e numericamente, por meio do método dos elementos finitos, como a forma e a dimensão dos corpos de prova influenciam no resultado do ensaio de resistência à compressão axial de argamassas. Foram ensaiados dois traços de argamassa, um considerado forte e outro fraco, em cinco diferentes configurações, três delas prismáticas, (4x4x4) cm, (4x4x8) cm (de pé; relação altura/espessura de 2) e (4x4x8) cm (deitado; relação altura/espessura de 1), e outras duas cilíndricas, com diâmetro de 5 cm e alturas de 5cm e 10cm. O ensaio foi realizado aos 28 dias de idade e foi notada menor resistência mecânica para os corpos de prova cilíndricos. Quanto às dimensões dos corpos de prova, foi notada resistência equivalente no caso dos cilíndricos para as duas relações altura/diâmetro adotadas (2,0 e 1,0). Contudo, o mesmo não ocorreu com os corpos de prova prismáticos, que apresentaram resistências superiores para a relação altura/espessura igual a 1,0. A análise numérica corrobora os resultados obtidos em laboratório, indicando maior resistência dos corpos de prova prismáticos com menor relação altura/espessura, devido aos menores valores de tensões principais de tração.

Palavras-chave: compressão axial, ensaio de resistências, formato do corpo de prova, tamanho do corpo de prova, análise numérica.

^a Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

1. Introdução

A resistência mecânica à compressão de compostos cimentícios é um parâmetro básico utilizado para classificação, aferição de qualidade e dimensionamento desses materiais. Essa característica é determinada por meio de ensaios de compressão uniaxial de corpos de prova moldados especialmente para essa finalidade [1]. Os corpos de prova moldados para esse ensaio podem variar em dimensão e forma, dependendo da norma vigente no local e dos materiais utilizados.

Segundo Muciaccia, Rosati e Di Luzio [2], apesar da grande influência, ainda não existem muitos estudos quanto ao efeito do tamanho e da forma de corpos de prova de concreto para o ensaio de compressão axial, quando comparado a outros ensaios mecânicos. Para argamassa a disponibilidade de dados é ainda menor, visto que poucas informações são encontradas sobre o assunto. O foco do presente trabalho foi o estudo da influência das variáveis forma e dimensão de corpos de prova de argamassa quando submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial, considerando as duas dimensões de corpos de prova sugeridos pelas normas brasileiras, (4x4x4) cm e (4x4x8) cm, e também o formato cilíndrico de diâmetro de 5 cm e alturas de 5 cm e 10 cm.

Para o estudo foi desenvolvida uma campanha experimental em laboratório sendo considerados para moldagem dos materiais dois traços, um rico (maior quantidade de aglomerantes) e outro pobre (menor quantidade de aglomerantes). Em paralelo também foram realizadas simulações numéricas em um software comercial (SIMULIA ABAQUS R / CAE 6.14) baseado em elementos finitos (MEF), procurando associar os resultados experimentais aos numéricos.

2. Revisão da literatura

No Brasil existem normatizações específicas para a moldagem e ensaios de corpos de prova de argamassa e concreto são elas a NBR 13279 [3] e NBR 5739 [4], respectivamente.

A NBR 13279 [3] estabelece um método para determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão de argamassas de assentamento e revestimento no estado endurecido. Quanto as dimensões e forma dos corpos de prova para o ensaio, o documento determina a utilização de moldes prismáticos com dimensões iguais a (4x4x16) cm. O primeiro ensaio a ser realizado, segundo a NBR 13279 [3], é o de tração na flexão, no qual o carregamento é aplicado no centro do corpo de prova prismático, rompendo-o e transformando-o em duas unidades de aproximadamente (4x4x8) cm. Na sequência as duas metades são submetidas ao ensaio de compressão axial, no entanto a carga é aplicada somente em uma área (4x4) cm, sendo a relação altura/espessura igual a 1.

Contudo, existe outra normatização brasileira, NBR 15961-2 [5] destinada a alvenaria estrutural, que também especifica um formato de corpo de prova de argamassa para o ensaio de resistência à compressão axial. O formato recomendado por essa norma é o cúbico, semelhante ao que é especificado pela norma americana ASTM C 109 [6], com dimensões diferentes das apresentadas pela norma NBR 13279 [3] (4x4x4) cm. A Figura 1 apresenta a configuração dos corpos de prova segundo as duas normatizações brasileiras.

De acordo com o país, são utilizados modelos de diferentes formatos geométricos para a determinação da resistência à compressão de concretos. Na Europa é utilizado o formato cúbico, enquanto os cilíndricos são utilizados no Brasil [4], EUA [7] e outras nações [8]. A norma brasileira para o ensaio de resistência à compressão axial no concreto, NBR 5739 [4], preconiza a utilização de corpos de prova cilíndricos que atendam a relação altura/diâmetro $2,0 > (h/d) > 1,94$. Nos casos em que a relação for menor que 1,94 a norma estabelece fatores de correção variando de 1 ($h/d=2,0$) à 0,87 ($h/d=1,0$). Chin, Mansur e Wee [9] avaliaram a influência da relação altura/diâmetro para o ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova cilíndricos de concreto. Segundo os autores, a relação h/d igual a dois é a mais adequada, pois para valores menores que 1,5 a resistência aumenta rapidamente devido à restrição dos pratos

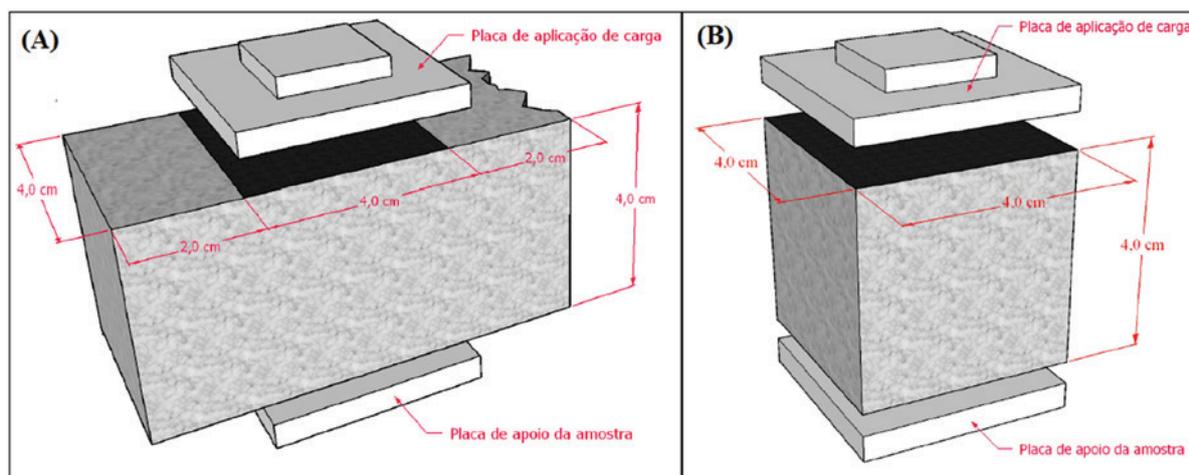


Figura 1

Configuração dos corpos de prova de argamassa para o ensaio de resistência à compressão axial. (A) Configuração de acordo com a NBR 13279 [3]. (B) Configuração de acordo com o anexo D da } NBR 15961-2 [5]

Tabela 1

Traços empregados no estudo

Tipo da argamassa	Traço (Cimento:Cal:Areia:Água) em volume	Traço (Cimento:Cal:Areia:Água) em massa	Relação (água/aglomerante)	Consumo de cimento (kg/m ³)
Traço pobre	1,0:1,0:6,0:4,5	1,0:0,8:4,8:1,5	0,833	240
Traço rico	1,0:0,5:4,5:3,0	1,0:0,4:3,6:1,0	0,714	333

de prensa. Para relações altura/diâmetro variando de 2,0 a 3,0 o estudo de Medeiros *et al.* [10] não indicou diferenças significativas para concretos de 20 e 30 MPa. A literatura indica que, de modo geral, menores copos de prova levam a maiores resistências, como o indicado nos estudos de Cupertino *et al.* [11] e Kaish *et al.* [12]. Existem estudos que indicam que as tensões e deformações de pico, diminuem quando há redução da relação altura/espessura, acarretando em maiores resistências [13].

Segundo Kaish *et al.* [12], o confinamento de corpos de prova de concreto também acarreta em maiores resistências, sendo esse efeito mais acentuado em corpos de prova com baixa relação altura/espessura.

A NBR 5738 [14] estabelece que o diâmetro do corpo de prova deve ser três vezes superior a dimensão máxima característica do agregado graúdo, para que sejam simuladas condições mais próximas de isotropia e homogeneidade do material.

Segundo a BS EN 12504-1 [15], à medida em que há redução do diâmetro de corpos de prova de concreto ocorre a também a redução da resistência à compressão axial. Esse fato foi observado no trabalho de Medeiros *et al.* [10], em que corpos de prova do mesmo material apresentaram maiores resistências para o diâmetro de 10 cm quando comparado ao de 5 cm.

Quando feita a análise comparativa entre a resistência mecânica de corpos de prova cilíndricos e cúbicos, os autores Hamassaki e Santos [8] afirmam que, para o mesmo concreto, as resistências em cubos são maiores do que as obtidas em cilindros. Lima e Barbosa [16] apresentam resultados de correlações entre corpos de prova cilíndricos, (15x30) cm e (10x20) cm, e cúbicos, (15x15) cm e (10x10) cm. Para as comparações feitas pelos autores, aos 28 dias de idade dos concretos, a resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos foi de 30 à 40% menor do que os cúbicos. Analisando o impacto da diferença de forma em corpos de prova cilíndricos e prismáticos de argamassa Nalon *et al.* [17] novamente indicam menores valores para os corpos de cilíndricos, sobretudo para traços mais fracos.

Levando em consideração o modo de ruptura dos corpos de prova, Kotsovos [18] afirma que, a um nível de carga próximo da capacidade de carga máxima das amostras, as fissuras começam a ser alinhadas na direção do carregamento na zona central (Figura

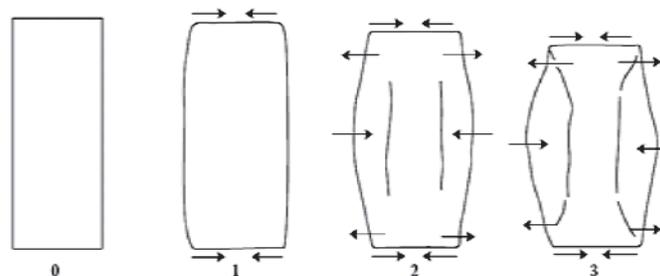
2) e a capacidade máxima de carga é atingida quando a resistência última a tração dessa zona é atingida. O pesquisador ainda afirma que a restrição da prensa, devido ao atrito, é fundamental para o modo de ruptura dos espécimes, porém a carga última do ensaio não é alterada significativamente por essa restrição.

Bezerra *et al.* [19] realizaram um programa experimental cujo objetivo foi a análise de corpos de prova com o formato de ampulheta, correspondente ao núcleo central do espécime cilíndrico e prismático. Os resultados indicaram a menor influência da restrição da prensa nos corpos de prova em formato de ampulheta, quando esses foram comparados aos cilíndricos.

3. Materiais e programa experimental

A campanha experimental consistiu na moldagem de corpos de prova de argamassa com o intuito de ensaiá-los à resistência à compressão axial aos 28 dias de idade.

Optou-se pela adoção de dois traços de argamassa, sendo um considerado rico (maior quantidade de aglomerantes) e outro pobre (menor quantidade de aglomerantes). A Tabela 1 mostra os dados das duas argamassas. Os traços foram elaborados com base na BS EN 998-2 [20] e a quantidade de água adicionada a mistura foi dosado de forma a atender o requisito da NBR 13276

**Figura 2**

Estágios do ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova cilíndricos

Fonte: Kotsovos (2015)

Tabela 2

Configuração dos corpos de prova das séries estudadas

Nomenclatura	Formato	Dimensões (cm)	Relação altura/espessura
Pris.8 (em pé)	Prismático	(4 x 4 x 8)	2
Pris.8 (deitado)	Prismático	(4 x 4 x 8)	1
Pris.4	Cúbico	(4 x 4 x 4)	1
Cil.5	Cilíndrico	$\Phi = 5$ e $h = 5$	1
Cil.10	Cilíndrico	$\Phi = 5$ e $h = 10$	2

[21] que recomenda um índice de consistência de 260 +/- 5mm, ensaiado através da mesa de índice de consistência.

O cimento empregado no estudo foi do tipo Portland composto, com massa específica igual a 3,00 g/cm³ e com adição de Pozzolana, classificado como CP-II-Z 32 de acordo com a NBR 5736 [22]. A cal utilizada é do tipo dolomítica, classificado como CH-III de acordo com a NBR 7175 [23] e com massa específica de 2,35 g/cm³, tipicamente empregada para assentamento de alvenaria.

Como agregado miúdo foi empregado uma areia natural, proveniente da região de São Luiz do Purunã. Nos ensaios de caracterização do material ele apresentou massa específica igual a 2,38 g/cm³ [24] e teor de pulverulentos igual a 10,13% [25].

O procedimento de mistura das argamassas e o ensaio de compressão axial foram realizados conforme as normas brasileiras NBR 13276 [21] e NBR 13279 [3], respectivamente. A argamassa, por ter cal em sua composição, teve que ser pré-misturada em velocidade lenta, com a cal, a areia e 80% da água de amassamento. Depois de misturada e pesada foi deixada em descanso por 24h para evitar hidratação tardia da cal e possível fissuração do material. Posteriormente a esse intervalo, foi pesada novamente e foi acrescida a mistura: o cimento, o restante da água e a água perdida por evaporação no período.

Foram adotadas cinco configurações para os corpos de prova, sendo três delas prismáticas: (4x4x4) cm, (4x4x8) cm (de pé; relação altura/espessura de 2) e (4x4x8) cm (deitado; relação altura/espessura de 1); e outras duas cilíndricas, com diâmetro de 5 cm e alturas de 5 cm e 10 cm. A Tabela 2 apresenta as séries estudadas, bem como a nomenclatura adotada para cada uma delas.

O adensamento foi realizado com mesa vibratória e, ao término do preenchimento, a seção superior dos moldes foi nivelada e protegida com filme plástico para evitar perda excessiva de água. A desforma foi realizada 48 horas depois e os corpos de prova foram armazenados em ambiente com umidade e temperatura controladas, câmara seca (U.R.<50% e 20±2 °C), até a idade de 28 dias para ruptura. Esse tipo de acondicionamento dos corpos de prova foi adotado para simular condições próximas do que ocorre com essas argamassas quando aplicadas em obras de alvenaria estrutural, em que a cura da mesma não é feita e a secagem da argamassa ocorre em condições de ambiente de obra.

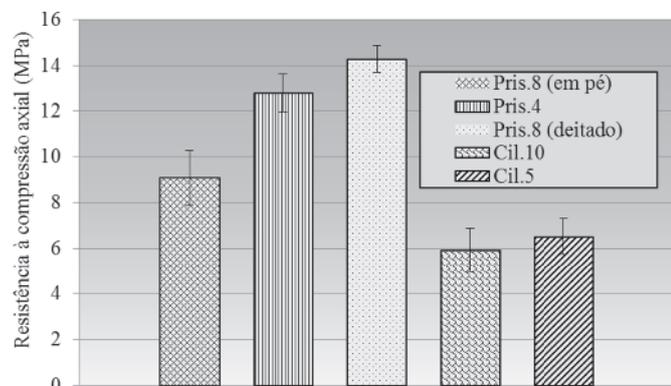


Figura 3
Resistência à compressão aos 28 dias nos corpos de prova da argamassa rica

A ruptura dos corpos de prova foi realizada em uma prensa com capacidade máxima de 100 kN da Marca EMIC com velocidade de carregamento de 500 N/s. Para garantir o paralelismo entre as faces de aplicação de cargas foram utilizados apoios elastoméricos, isto é, borrachas sintéticas reforçadas com chapas de aço, conhecidas comercialmente como neoprene.

Para cada traço e cada configuração de corpo de prova adotado foram avaliadas dez amostras. Com a finalidade de eliminar valores espúrios, os resultados que diferiram em 10% ou mais da média foram eliminados. As médias obtidas com o ensaio proposto foram avaliadas estatisticamente por meio do teste de Tukey, com 95% de confiança.

4. Simulação numérica

A simulação numérica consistiu na modelagem do ensaio de compressão axial por meio do método dos elementos finitos, com o intuito de verificar a influência da forma e da relação altura/espessura (h/t) nos corpos de provas ensaiados experimentalmente, utilizando o software estudante SIMULIA ABAQUS R / CAE 6.14. Nos modelos foram utilizados elementos sólidos tridimensionais (C3D8R), aplicados às mesmas geometrias dos corpos de prova ensaiados no programa experimental. Todos os elementos tinham 8 nós, com 6 graus de liberdade em cada nó, com polinômio interpolador de grau dois e integração reduzida.

A malha de elementos finitos usada foi considerada apropriada após um teste de convergência de malha, resultando em um tamanho final de elementos de aproximadamente um vigésimo da espessura do corpo de prova, isto é, com aproximadamente 5mm de aresta.

Para a análise foi considerado um carregamento estático aplicado incrementalmente no topo dos corpos de prova, por meio de passos de cargas, representando a prensa do ensaio. Condições de contorno foram adicionadas às restrições de deslocamentos verticais na base do conjunto e horizontais nas duas faces extremas, representando o atrito entre o aço da prensa e a argamassa.

Foram considerados como dados de entrada, pelo fato de as simulações respeitarem o limite elástico linear do material, o módulo de elasticidade obtido no trecho linear do ensaio de compressão axial e o coeficiente de Poisson da literatura de 0,2 [26].

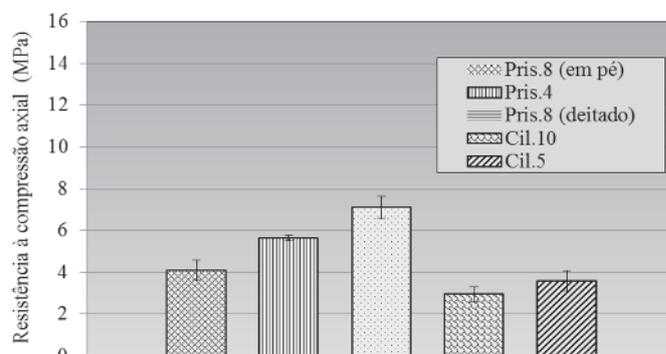


Figura 4
Resistência à compressão aos 28 dias nos corpos de prova da argamassa pobre

5. Resultados e discussões

Os resultados de resistência à compressão axial aos 28 dias possibilitaram a distinção entre as duas séries estudadas em argamassa rica e pobre, como esperado. As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados obtidos para as argamassas de traço rico e pobre, respectivamente. Além disso, o padrão comportamental, devido à influência da configuração dos corpos de prova utilizado, foi semelhante para ambos os traços de argamassa.

Analisado os resultados das Figuras 3 e 4 e aplicando o teste de Tukey foi possível notar diferença estatística, para os dois traços, entre as amostras prismáticas de relação altura/espessura igual a 1, sendo a série Pris. 8 (deitado) mais resistente que a Pris. 4. O resultado obtido é coerente, visto que na configuração indicada como mais resistente ocorre um espreadimento de tensões, gerando uma mobilização de maior área, pois, apesar da área de conta-

do ser a mesma para a configuração de ambas as normas, a área da seção transversal é maior para o corpo de prova deitado (NBR 13279 [3]). Essa diferença entre as duas séries (Pris. 8 deitado e Pris. 4) indica desacordo comportamental, em termos de tensão de ruptura, para as configurações propostas pela NBR 13279 [3], destinada a argamassa para assentamento e revestimento, e pela NBR 15961-2 [5], destinada a argamassa para alvenaria estrutural. Isso significa que existe diferença de resultados entre os métodos e que os laboratórios de controle não podem generalizar estes métodos de controle de argamassa em seu padrão de procedimento interno.

Na análise comparativa da relação altura/espessura dos corpos de prova prismáticos nota-se que a relação igual a 1 apresenta resultados mais elevados quando comparada a relação igual a 2. Para a argamassa com traço rico a diferença entre o Pris. 8 deitado e o Pris. 4 em pé chegou a 58%, enquanto para o traço pobre a diferença foi

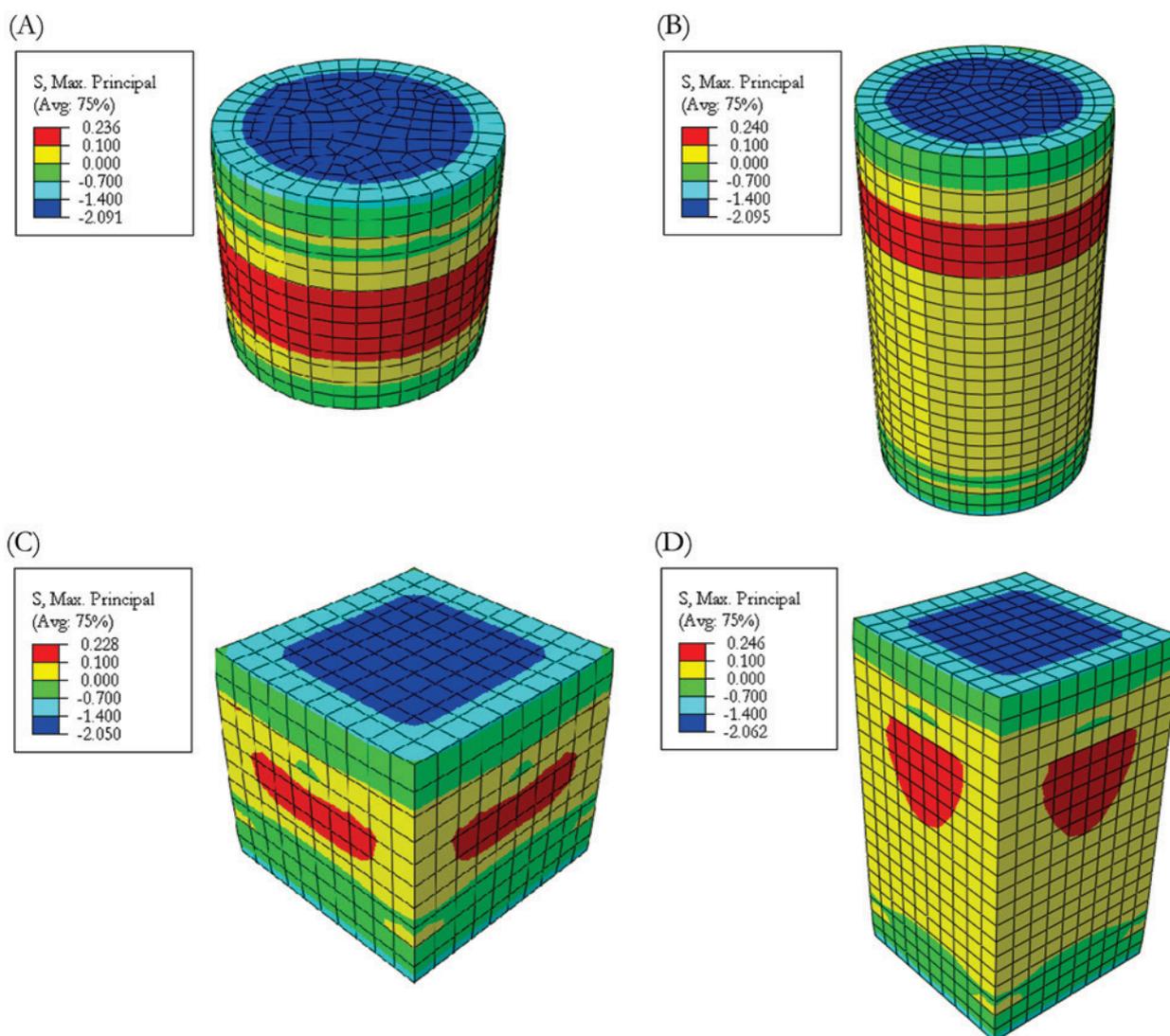


Figura 5

Resultados numéricos das tensões máximas de tração nos corpos de prova: (A) Cil. 5; (B) Cil. 10; (C) Pris. 4; (D) Pris. 8 (em pé)

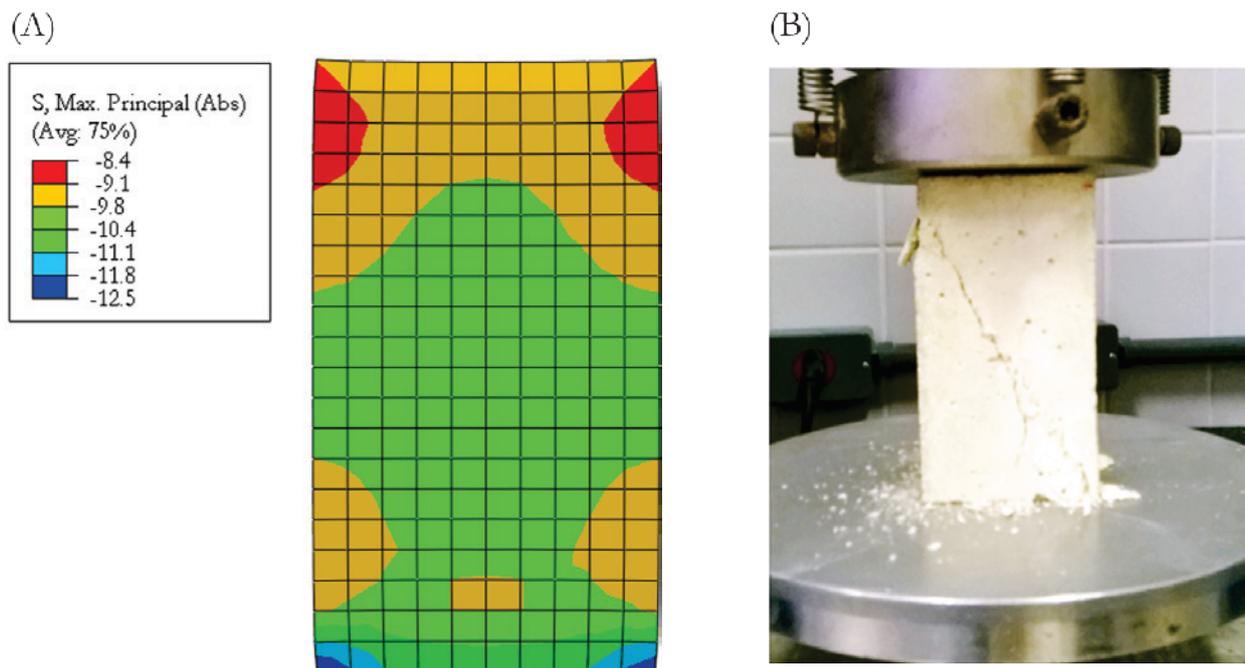


Figura 6
Concentração de tensões nos cantos devido à restrição da prensa. (A) Simulação numérica;
(B) Ensaio experimental

de aproximadamente 73%. Os menores valores para a relação altura/espessura igual a 2 corrobora os estudos realizados nos corpos de prova de concreto, que apresentam maiores resultados para menores relações altura/espessura, por conta da restrição da prensa [12].

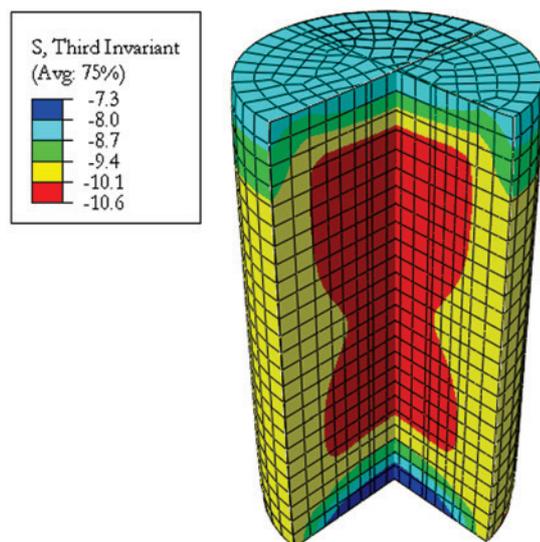


Figura 7
Distribuição das tensões principais do corpo de prova – cerne comprimido e confinado em formato ampulheta para o corpo de prova cilíndrico

Analisando comparativamente os corpos de prova cilíndricos, para ambos os traços, não foi possível afirmar que houve diferença estatística entre as relações altura/espessura estudadas (1 e 2), sendo nesse caso, o efeito da mudança de altura, menos sensível do que para a configuração prismática.

Por fim, analisando comparativamente os resultados obtidos para as configurações prismáticas e cilíndricas, foi possível notar que, para todos os casos, os resultados das configurações cilíndricas são menores quando comparados aos corpos de prova prismáticos. Esse resultado mostra que o comportamento para as argamassas é semelhante ao do concreto, relatado por Lima e Barbosa [16]. Para a análise de concretos convencionais o referido estudo indica que o fator de redução de um corpo de prova cúbico para um cilíndrico é de 30 a 40%. Os resultados desse experimento indicam valores de redução próximos à 42%, tanto para a argamassa rica como a pobre. No entanto, para o primeiro grupo essa diferença foi notada entre as séries Pris. 8 (deitado) e Cil.10 e, para o segundo, entre as séries Pris. 8 (deitado) e Cil.5.

Na análise numérica foram observadas, para os dois formatos de corpo de prova (cilíndrico e prismático), maiores tensões de tração para a relação altura/espessura igual a 2, isso quando comparada a relação igual a 1, conforme Figura 5. Na imagem é possível observar uma região maior tracionada nos corpos de prova mais altos, o que aumenta a probabilidade de falha e acarreta uma menor resistência última do mesmo, como apresentado nos resultados experimentais.

A restrição devido ao atrito do corpo de prova com o prato da prensa altera significativamente os resultados em termos de distribuição de tensões. No modelo em que se restringe a deformação transversal, nas faces extremas do corpo de prova prismático (Pris. 8 em pé),

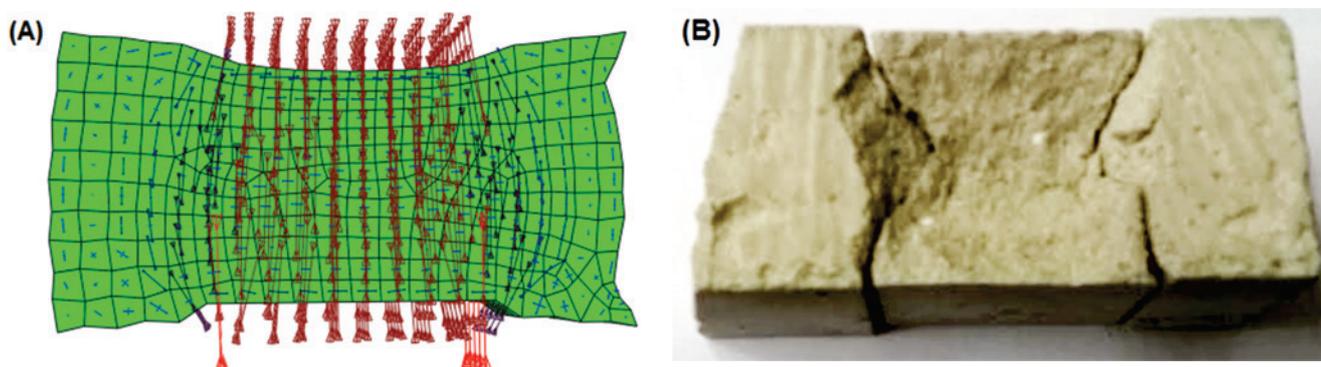


Figura 8

Modo de ruptura para a configuração do corpo de prova da NBR 13.279 [3]. (A) Plotagem dos vetores das tensões principais; (B) Ruptura observada nos ensaios experimentais

notam-se concentrações de tensões. A Figura 6 apresenta essa situação, em que, devido a restrição da expansão lateral do corpo de prova, tensões transversais ocorrem próximas a interface e os cantos acabam ficando sobre um estado de compressão triaxial. Os ensaios experimentais corroboram tal resultado visto que o início da fissuração se dá nos vértices dos extremos.

Na análise dos corpos de prova foi notada concentração de tensões verticais de compressão na parte central do corpo de prova. Essa gerou tensões de tração nas extremidades e formou um cerne comprimido e confinado em formato de ampulheta, conforme Figura 7. As tensões de tração na parte mais externa dos corpos de prova indicam a propagação de fissuras, de fora para dentro.

Tomando a configuração do corpo de prova sugerida pela NBR 13.279 [3], têm-se áreas laterais em balanço, forçando uma ruptura com divisão dos corpos de prova em três partes, com a porção central apresentando formato de ampulheta. A Figura 8 apresenta a distribuição de tensões da simulação em elementos finitos e do respectivo ensaio experimental. A imagem confirma a distribuição de tensões nas áreas laterais da aplicação de carga no corpo de prova, citada anteriormente.

6. Conclusões

Os resultados do presente estudo permitiram o entendimento dos seguintes aspectos:

- Os formatos de corpos de prova, sugeridos pelas duas normas brasileiras, para o ensaio de resistência à compressão axial de argmassas (Pris. 4 e Pris. 8 deitado), apresentaram resultados divergentes, tanto na análise experimental como na numérica, podendo então ser apontada uma diferença comportamental entre os formatos;
- O corpo de prova Pris. 8 deitado apresenta maior resistência que o Pris. 4, apesar de ambos terem a mesma área de aplicação de carga e mesma relação altura/espessura. Isso se deve a mobilização de uma maior área resistente em consequência do espraiamento de tensões;
- Para as argmassas há uma maior sensibilidade na mudança da proporção altura/espessura no caso dos corpos de prova prismáticos do que os cilíndricos;
- Há variação da resistência à compressão axial de corpos de

prova prismáticos de argmassas quando é alterada a relação altura/espessura, explicada pela restrição criada pelos pratos das prensas. A relação igual a 1 proporcionou resultados maiores que a relação igual a 2, com cerca de 30% de acréscimo;

- A análise numérica apresentou concentração de tensões de tração nas extremidades dos corpos de prova ao longo do ensaio de compressão axial. Esse resultado explica o comportamento das fissuras observado nos ensaios experimentais, isto é fissuração de fora para dentro;
- Em todos os casos estudados as amostras cilíndricas (Cil.10 e Cil.5) apresentaram menores resultados que as prismáticas (Pris. 8 em pé e Pris. 8 deitado) e que a cúbica (Pris.4). O maior percentual de redução se aproximou dos 42%, tanto para o traço rico como o pobre, no entanto, no primeiro caso comparando a série Pris. 8 deitado (maior resistência) e a série Cil.10 (menor resistência), e no segundo comparando a Pris. 8 deitado (maior resistência) com a Cil.5 (o menor neste caso);
- Levando em consideração os itens acima listados recomenda-se que a norma brasileira NBR 13279 [3], em sua próxima revisão, adote o corpo de prova Pris. 4 ((4x4x4) cm), para o ensaio de compressão axial de argmassas, conforme a NBR 15961-2 [5], visando uma maior padronização dos resultados.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem à infraestrutura e ao apoio em recursos humanos e financiamento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação Araucária, ao CNPq e a Universidade Federal do Paraná – PPGCEC/UFPR.

8. Referências bibliográficas

- [1] GRANT, M. R.; SKALNY, J. P. A comparison of vibrated mortar and concrete cube test methods and variability in cube strength development. *Cement and Concrete Research*. Vol. 16, pp. 561-568. United States, 1986.
- [2] MUCIACCIA, G.; ROSATI, G.; DI LUZIO, G. Compressive failure and size effect in plain concrete cylindrical specimens. *Construction and Building Materials*. Vol. 137, pp. 185-194. 2017.

- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. - NBR 13279, Rio de Janeiro, 2005.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. - NBR 5739, Rio de Janeiro, 2007.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle do obras. - NBR 15961-2, Rio de Janeiro, 2011.
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C109/C109M-16: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement mortars. ASTM International, 2016.
- [7] ASTM C192/C192M-02. Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory. Annual book of ASTM standards. Philadelphia, 2002.
- [8] HAMASSAKI, L. T.; SANTOS, R. F. C. Corpos de prova – Soluções Inovadoras. Revista notícias da construção SINDUSCON. Novembro, 2013.
- [9] CHIN, M. S.; MANSUR, M. A.; WEE, T. H. Effects of shape, size and casting direction of specimens on stress-strain curves of high-strength concrete. ACI Materials Journal. V 94, pp. 209-219. 1997.
- [10] MEDEIROS, M. H. F.; CAPRARO, A. P. B.; RÉUS, G. C.; ESCOBEDO, M. L. Resistência a compressão em testemunho de concreto: influência do fator de esbelteza, diâmetro da amostra e método de extração. Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Vol. 13, pp. 240-250. 2017.
- [11] CUPERTINO, A. L. L.; CASTRO, A.; INÁCIO, J. J.; ANDRADE, M. A. S. Avaliação de fatores de ensaio que interferem nos resultados de módulo de elasticidade do concreto. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves, 2007.
- [12] KAISH, A. B. M. A.; JAMIL, M.; RAMAN, S. N.; ZAIN, M. F. M. Axial behavior of ferrocement confined cylindrical concrete specimens with different sizes. Construction and Building Materials. Vol. 78, pp.50-59. 2015.
- [13] SINAIE, S.; HEIDARPOUR, A.; ZHAO, X. L.; SANJAYAN, J. G. Effect of size on the response of cylindrical concrete samples under cyclic loading. Construction and Building Materials. Vol. 84, pp.399-408.2015.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. - NBR 5738, Rio de Janeiro, 2015.
- [15] BRITISH STANDARDS INSTITUTION DRAFT FOR DEVELOPMENT. BS EN 12504: Testing concrete in structures. London, 2009.
- [16] LIMA, F. B.; BARBOSA, A. H. Influência do tamanho e do tipo do corpo de prova na resistência à compressão do concreto. 44º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON. Belo Horizonte, 2002.
- [17] NALON, G. H.; MARTINS, R. O. G. ; LIMA, G. E. S. ; ALVARENGA, R. C. S. S. Efeito da forma e do tamanho de corpos de prova na determinação da resistência à compressão e deformabilidade de argamassas mistas de cal e cimento. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais. Natal, 2016.
- [18] KOTSOVOS, M. D. Finite-Element Modeling of Structural Concrete – Short-Term Static and Dynamic Loading Conditions. CRC Press. London, 2015.
- [19] BEZERRA, U. T.; ALVES, S. M. S.; BARBOSA, N. P.; TORRES, S. M. Corpo de prova na forma de ampulheta: resistência à compressão de concretos e argamassas (análises numérica e experimental). Revista IBRACON de estruturas e materiais. Vol. 9 n.4, pp 510-524. IBRACON, 2016.
- [20] BRITISH STANDARDS INSTITUTION DRAFT FOR DEVELOPMENT. BS EN 998-2: Specification for mortar for masonry- Part 2: Masonry mortar. London, 2016.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. - NBR NM 13276, Rio de Janeiro, 2005.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. Cimento Portland Pozolânico. - NBR 5736, Rio de Janeiro, 1999.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cal hidratada para argamassas - Requisitos. - NBR 7175, Rio de Janeiro, 2003.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. - NBR NM 52, Rio de Janeiro, 2009.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem. - NBR NM 46, Rio de Janeiro, 2003.
- [26] NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 2ªed. São Paulo: PINI, 1997.