

Análise Numérica da Influência da Geometria dos Blocos Cerâmicos em Parede Estruturais

Numerical Analysis Of The Influence Of The Geometry Of Ceramic Blocks On Structural Walls

*Eduardo Rizzatti**
*Humberto R. Roman***
*Gihad Mohamad****
*Elizabete Y. Nakanishi*****

Resumo

Neste trabalho são apresentados os resultados numéricos sob compressão centrada de alvenarias estruturais de blocos cerâmicos. Para tanto, foram estudadas quatro diferentes geometrias de blocos designadas por A, B, C e D, sendo o formato A e B com septos arredondados e diferentes áreas líquidas; o bloco C possuía dois furos retangulares e o bloco designado por D possuía um duplo septo central. O programa numérico abrangeu o estudo dos blocos, prismas e paredes estruturais unidos por argamassa de assentamento, no intuito de verificar as distribuições das tensões nos blocos para as diferentes geometrias. Foi adotado o modelo mecânico elástico linear e isotrópico. Com base na análise dos resultados, pode-se concluir que as distribuições das tensões de compressão ao longo do comprimento e da largura do bloco foram uniformes, no entanto as tensões de tração ao longo do comprimento foram distintas para as diferentes geometrias de blocos, onde, preliminarmente, verificou-se que a geometria do bloco tipo D, com duplo septo central, é o que apresentou a distribuição de tensão mais uniforme, ou seja, sem picos de concentração de tensão, podendo concluir ser este o mais eficiente para o uso em alvenaria estrutural entre os blocos analisados.

Palavras-chave: Bloco Cerâmico; Alvenaria Estrutural; Geometria.

1 Introdução

A alvenaria estrutural vem assumindo, nos últimos anos, uma importante posição no mercado brasileiro da construção habitacional. Quando bem utilizada, minimiza índices de desperdício e, por este motivo, vem crescendo o interesse e a aplicação da mesma por parte das construtoras. Mesmo sem o total domínio da tecnologia, essas construtoras estão visualizando, neste sistema, uma alternativa muito competitiva para a construção de habitações, como mencionado por Roman (1999), cabendo ao setor de produção de cerâmica vermelha um papel fundamental, pois fornece as unidades (blocos) necessárias para o desempenho estrutural da edificação.

O desempenho mecânico da alvenaria estrutural depende dos materiais a serem empregados e das

suas interações, ou seja, para melhorar a qualidade do conjunto é importante compreender os fenômenos internos geradores de tensões, onde o bloco tem um papel fundamental na distribuição destas. Assim, o desenvolvimento de pesquisas que estudem a geometria dos produtos cerâmicos para a alvenaria estrutural poderá auxiliar no desenvolvimento deste importante setor industrial.

2 Fatores que Influenciam na Resistência das Alvenarias

Existem vários fatores que influenciam a resistência à compressão da alvenaria, no entanto serão abordados apenas os fatores principais.

* Dr. Engenharia Civil, Prof. Associado do Departamento de Estruturas e Construção Civil, UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. rizzatti@ct.ufsm.br

** PhD Engenharia Civil, Prof. Associado, UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

*** Dr. Engenharia Civil, Prof. Adjunto do Departamento de Estruturas e Construção Civil, UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

**** Dra. Engenharia Civil, Profª. Adjunta, UNIPAMPA, Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil.

2.1 Resistência do bloco

Os blocos cerâmicos estruturais são componentes da alvenaria estrutural que possuem furos prismáticos perpendiculares a face que os contém, sendo os mesmos produzidos para serem assentados com furo na vertical. Os blocos cerâmicos classificam-se em: bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas (a); bloco cerâmico estrutural com paredes maciças (b); bloco cerâmico estrutural com paredes maciças (paredes internas vazadas) (c) e bloco cerâmico estrutural perfurado (d), como mostra a Figura 1.

A resistência dos blocos é a principal determinante da resistência da alvenaria. A resistência da alvenaria à compressão cresce, consideravelmente, com a resistência dos blocos. Entretanto, o aumento de resistência das alvenarias não é linearmente proporcional ao aumento de resistência dos blocos.

2.2 Geometria da Unidade

A presença dos furos em termos de quantidade, forma e posição pode acarretar, durante a aplicação de carga, em concentração de tensões no bloco que levam a alvenaria a reduzir o seu potencial resistente. Ganesan e Ramamurthy (1992) realizaram estudos analíticos, por meio do método de elementos finitos, sobre o comportamento da alvenaria de blocos de concreto, considerando a influência de diferentes geometrias, diferentes arranjos e propriedades das argamassas. O estudo realizado foi uma análise tridimensional, com um modelo elástico-linear, heterogêneo, utilizando elementos sólidos de oito (8) nós. Foram ensaiados prismas de três (3) fiadas com junta a prumo e amarrada. Três tipos de blocos de concreto foram analisados, blocos com três furos, dois furos com dimensões padrões e dois furos em que a espessura do septo intermediário é igual a duas vezes a espessura da parede mais 10 mm (estruturalmente mais eficiente pela sobreposição dos septos nas fiadas). Na alvenaria foram empregados quatro tipos de argamassas de forma a atender a proporção entre o módulo de elasticidade do bloco E_b em relação à argamassa E_a de 1; 1,5; 2,0 e 2,8, sendo constante E_b . Com a constância na proporção de

rigidez entre E_b/E_a , se consegue verificar a influência da argamassa e o tipo de ruptura na alvenaria. Além disso, não houve mudanças nas proporções entre as áreas líquidas e brutas dos blocos estudados. Os resultados obtidos pelos pesquisadores indicaram que os blocos de três furos na vertical produziram níveis e distribuições de tensões superiores aos de dois furos, sendo que na região próxima ao centro do prisma as tensões permaneceram constantes. Com relação ao septo, a diferença de comportamento entre os três tipos de blocos analisados foram mais evidentes, quando estes são assentados com a junta amarrada. As tensões de compressão foram maiores em blocos convencionais de dois furos do que nos estruturalmente eficientes (com septo intermediário com o dobro da espessura da parede lateral mais a espessura da junta de argamassa). Como conclusões sobre o comportamento mecânico das alvenarias, pode se destacar que a geometria do bloco influenciou nas tensões que se desenvolveram, tanto na sua distribuição, quanto na sua magnitude; a argamassa não influenciou o comportamento da alvenaria de blocos e o uso de prismas com juntas a prumo superestima a resistência da alvenaria.

Ganesan e Ramamurthy (1992) citam que o fator de eficiência varia com o formato geométrico do bloco de concreto e o tipo de assentamento. Os autores verificaram que, para algumas geometrias de blocos e tipos de assentamento de argamassa, apareceram concentrações de tensões que reduziram a resistência à compressão da alvenaria. Os autores fazem comentários a respeito de estudos realizados na Índia, no Building Technology Laboratory, no qual foram testadas três geometrias diferentes de blocos. Os blocos tipo A foram assentados com argamassa apenas nas faces e os demais foram argamassados nas faces e septos. A Figura 2 mostra os tipos de blocos estudados, as resistências dos blocos e das paredes, juntamente, com os fatores de eficiência.

Conforme Ganesan e Ramamurthy (1992) são necessários estudos sobre o efeito da geometria do bloco a fim de aumentar a eficiência das paredes estruturais. Os autores propõem que sejam utilizados blocos, cujo septo central seja igual ao dobro da lateral mais a espessura da junta, conseguindo-se desta forma o alinhamento dos furos e tornando o conjunto mais

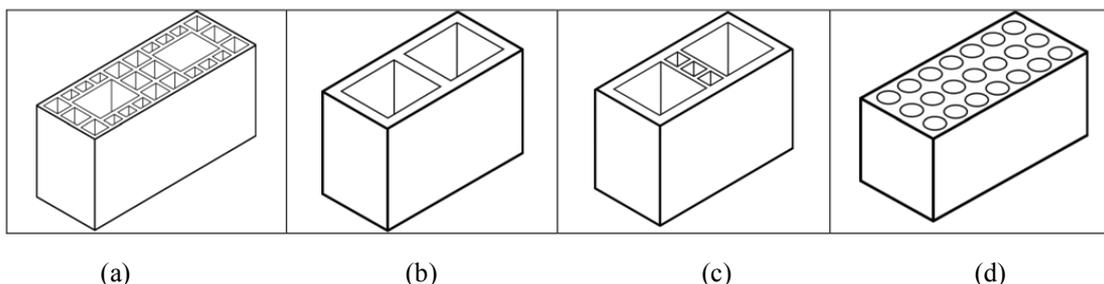


Figura 1 – Blocos cerâmicos: Definições NBR 15270-2 (2005).

eficiente. Como conclusão do trabalho pode-se verificar que o bloco de concreto tipo B apresentou melhor desempenho à compressão. Além disso, constatou-se uma variação brusca na concentração das tensões dos blocos do tipo A e C.

3 Materiais e Componentes da Alvenaria

Os materiais constituintes das unidades cerâmicas é a argila. A argila é composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos. A argila pode ser calcária, neste caso, quando cozida, produz um bloco de cor amarelada. A argila apropriada para a fabricação de blocos deve ter plasticidade quando misturada com água, de maneira que possa ser moldada, deve ter resistência à tração suficiente para manter o formato depois de moldada e, ainda, deve ser capaz de fundir as partículas quando queimada a altas temperaturas. A plasticidade, a água de moldagem e o comportamento na secagem e queima depende da granulometria e dos diversos minerais presentes. As argilas são compostas de partículas coloidais de diâmetro inferior a 0,005 mm, com alta plasticidade quando úmidas e que, quando secas, formam torrões, dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos. Todas as propriedades físicas dos blocos são afetadas pela composição da matéria prima usada e pelo processo de fabricação.

O processo de preparação da matéria prima consiste da dosagem (formulação) e mistura das argilas. A dosagem das composições das argilas deve ser feita de forma a promover uma pasta que atenda a determinadas características para uma adequada moldagem, secagem e queima. Também, a formulação da massa pode influenciar nas características finais do produto acabado, como a sua resistência à compressão. Pode-se obter unidades de baixa resistência (3 MPa) até de alta resistência (maior que 100 MPa).

O produto final, ou seja, os blocos e os tijolos cerâmicos para o emprego em alvenaria estrutural devem apresentar propriedades físicas (aspectos, dimensões, esquadro, planeza e absorção de água) de acordo com as recomendações mínimas normativas, conforme NBR 15270-2 (2005). Além dessas propriedades, é importante que tenham as tolerâncias de fabricação apresentadas na Tabela 1. De acordo com a mesma norma, o índice de absorção de água dos componentes cerâmicos não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%.

Os blocos cerâmicos estruturais de paredes vazadas devem possuir septos internos de espessura mínima de 7 mm e das paredes externas de no mínimo 8 mm. A espessura mínima das paredes dos blocos cerâmicos de paredes maciças deve ser de 20 mm, podendo as paredes internas apresentar vazados, desde que a espessura total seja maior ou igual a 30 mm, sendo 8 mm a espessura mínima de qualquer septo. A Figura 3 apresenta as dimensões mínimas dos septos das unidades cerâmicas.

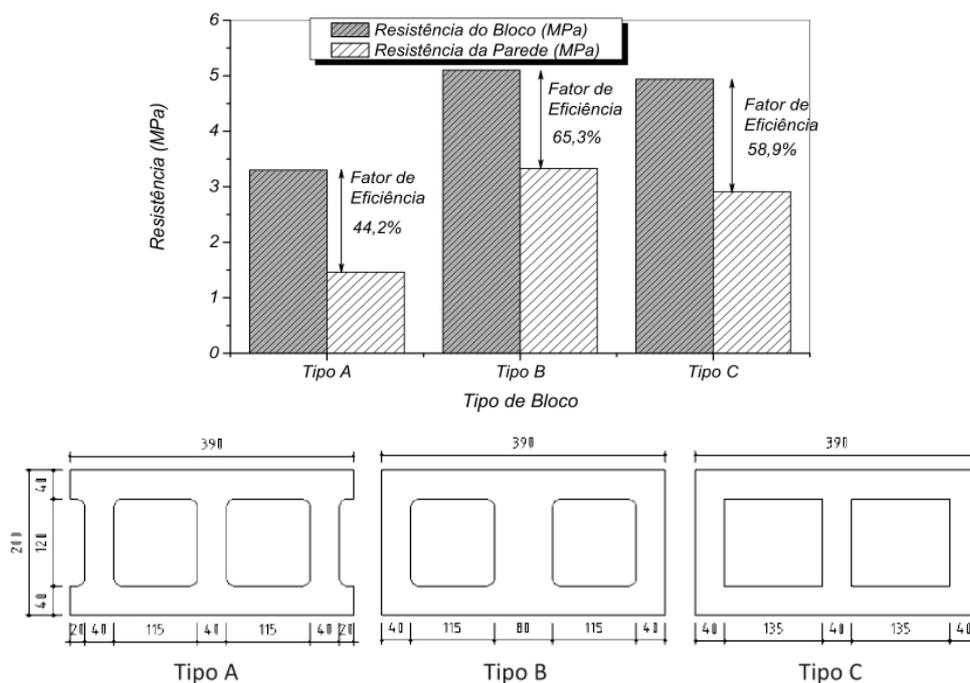


Figura 2 – Formato geométrico dos blocos de concreto estudados com as dimensões em milímetros testados no Building Technology Laboratory; Ganesan e Ramamurthy (1992).

uma malha com elementos tetraédricos de seis nós nas zonas de transição, como mostra a Figura 6.

Para a simulação numérica, tanto para o bloco como para a argamassa, foi adotado o modelo mecânico elástico linear e isotrópico. Preliminarmente, foi realizada uma análise da sensibilidade do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson dos materiais (bloco e argamassa) na obtenção das tensões e deformações do modelo numérico. Para tal, foram simulados prismas em que os elementos foram submetidos a uma mesma situação de carregamento correspondente aos valores médios obtidos experimentalmente, variando apenas o módulo de elasticidade do bloco, para uma dada argamassa de módulo de elasticidade constante de 6000 MPa. As características finais dos módulos de elasticidades longitudinais e dos coeficientes de Poisson dos blocos e das argamassas utilizadas na simulação numérica estão apresentadas na Tabela 2. Foram restringidos os deslocamentos nas direções dos eixos X, Y e Z na

superfície inferior e superior do prisma, para simular as condições de confinamento do ensaio provocado pelo atrito entre os pratos da prensa e o prisma.

Tabela 2 – Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson do bloco e argamassa.

	Bloco	Argamassa
Módulo de Young (MPa)	28000	6000
Coefficiente de Poisson	0,07	0,20

A distribuição das tensões principais ao longo do comprimento e largura do bloco obtidos no modelo numérico elástico linear é apresentada na Figura 7. Na Figura 8 e 9 são apresentadas as tensões de tração e compressão, respectivamente, ao longo das linhas 1 e 2 que representam o comprimento e largura do bloco, destacando algumas regiões nas paredes longitudinais e transversais.

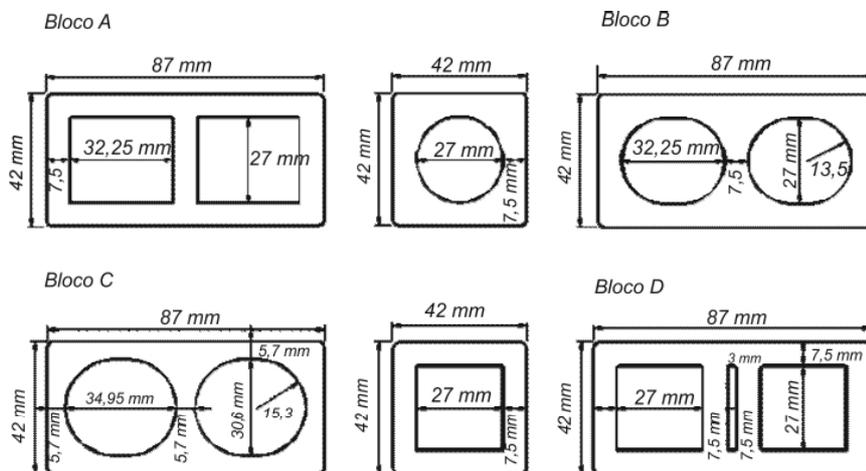


Figura 5 – Tipos de geometria de blocos ensaiados com as respectivas dimensões em milímetros.

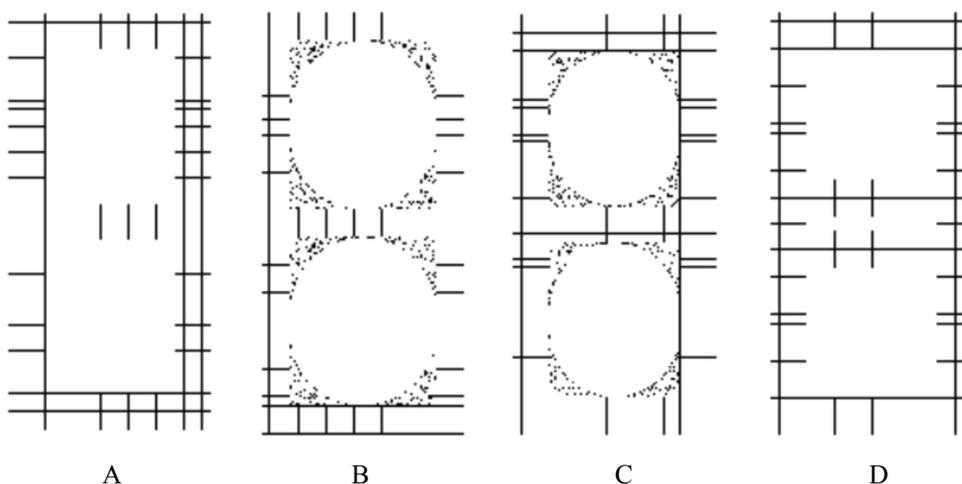


Figura 6 – Malha utilizada na simulação numérica dos diferentes blocos e paredes com a junta de argamassa.

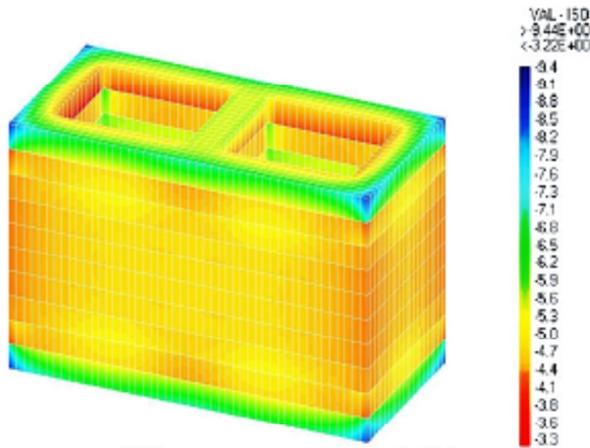


Figura 7 – Distribuição das tensões de tração no bloco.

Observou-se pela Figura 8 que a distribuição das tensões de compressão ao longo do comprimento (linha 1) e da largura do bloco (linha 2) são uniformes, com pouca variação nas faces laterais (região “a”) ao centro do bloco (região “c”). Na Figura 9 se verificou que a distribuição das tensões de tração ao longo do comprimento (linha 1) foram distintas, conforme o formato geométrico do bloco. Houve o desenvolvimento

de pequenos níveis de tensões de compressão para o formato geométrico “D” próximo ao septo central do bloco. Os formatos geométricos B e C desenvolveram pequenos níveis de tensões de compressão na região denominada de “c” da Figura 9. O formato geométrico “A” apresentou concentração de tensão de tração na parte central do bloco denominada de região “a”. Quando a distribuição das tensões é analisada no sentido da largura (linha 2), os blocos com o formato geométrico B e C apresentaram um comportamento de tensões diferentes ao formato geométrico A e D, como mostra a região “a” da Figura 9. No formato geométrico B e C as tensões foram de compressão e no formato geométrico A e D foram de tração. As tensões de tração na região “a”, na direção da linha 2, nos blocos com o formato geométrico A e D foram uniformes. Simulações com mudanças no valor do módulo de elasticidade da argamassa foram realizadas a fim de avaliar a sua influência no nível de tensões principais de compressão medida na junta de argamassa dos prismas. Procurou-se simular dois valores para o módulo de elasticidade da argamassa de 4500 MPa e 6000 MPa. Pelos resultados, as distribuições das tensões foram próximas, tendo maior valor no meio das paredes dos septos destacada na Figura 10 como região “a”.

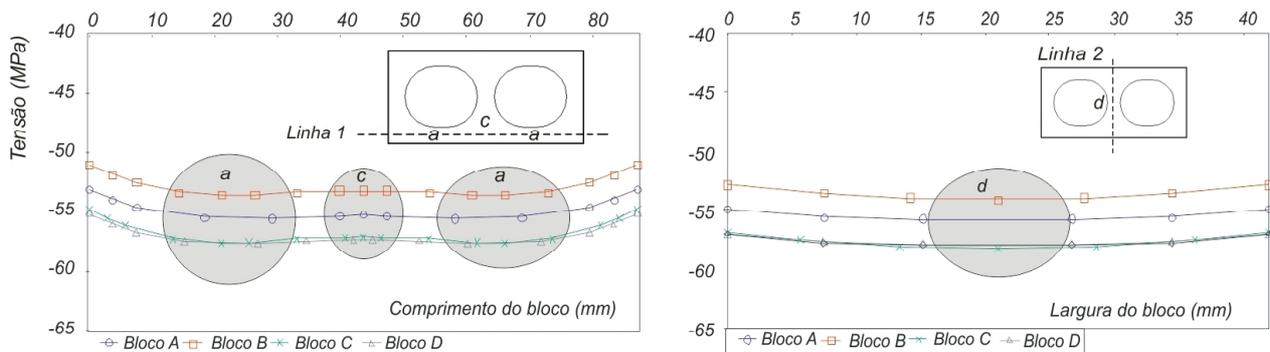


Figura 8 – Distribuição das tensões de compressão no bloco ao longo do comprimento e largura.

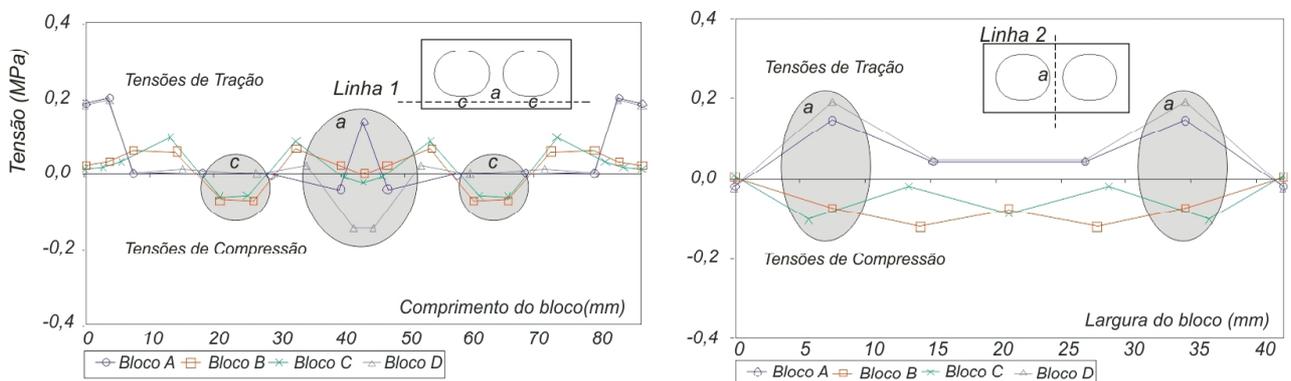


Figura 9 – Distribuição das tensões de tração ao longo do comprimento e largura.

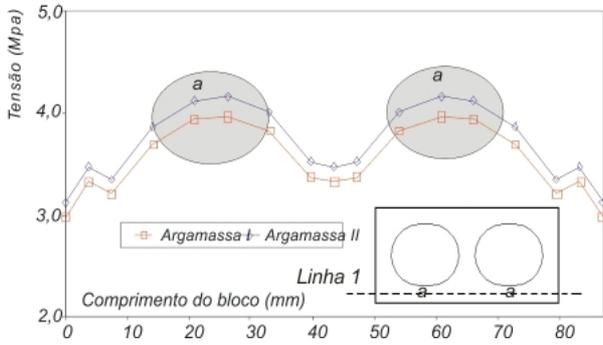
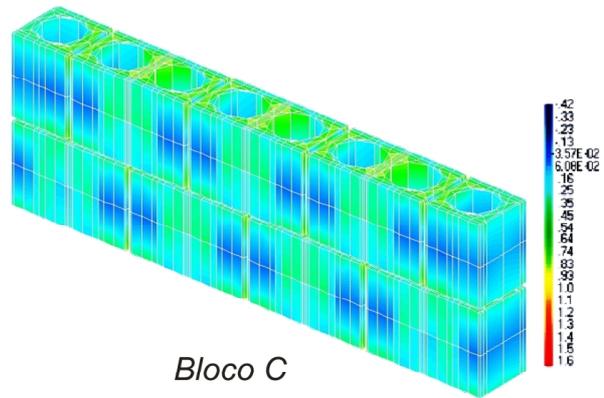


Figura 10 – Distribuição das tensões de compressão no prisma para diferentes argamassas.

Na avaliação da distribuição das tensões entre o bloco e a argamassa verificou-se que no conjunto foram induzidas tensões de compressão na argamassa e tração no bloco. Para os prismas foram traçadas as tensões principais máximas ao longo de uma linha vertical, compreendida entre a metade do bloco inferior e a metade do bloco superior, para as diferentes geometrias de bloco, como mostra a Figura 11. Verificou-se, pelos resultados numéricos, que o nível de tensão lateral de confinamento da argamassa foi de, aproximadamente, 4,5 MPa, indicando que a argamassa estaria sob uma compressão triaxial e o bloco cerâmico num estado biaxial de tensões de compressão e tração, conforme mostra a Figura 11.

Foram analisadas as tensões para cada tipo de bloco nas paredes submetidas ao carregamento para as duas fiadas centrais. A Figura 12 apresenta um exemplo das distribuições das tensões porventura do

carregamento aplicado a parede, para o bloco com o formato geométrico C. As Figuras 13 e 14 apresentam os resultados dos diferentes níveis de tensões desenvolvidos ao longo do comprimento (linha 1) e largura (linha 2) para os formatos geométricos dos blocos A, B, C e D.



Bloco C

Figura 12 – Distribuição das tensões de tração e compressão nas fiadas intermediárias da alvenaria.

Análise numérica permitiu determinar a intensidade das tensões atuantes em diferentes pontos do elemento estrutural. Para a análise da parede avaliou-se a distribuição das tensões na oitava fiada, próximo a interface bloco-argamassa. As distribuições das tensões de tração e compressão ao longo da largura e do comprimento das diferentes geometrias de bloco são apresentadas nas Figuras 13 e 14. As linhas tracejadas, sob o bloco representam as tensões para um dado formato geométrico de bloco, mostrando o comportamento das

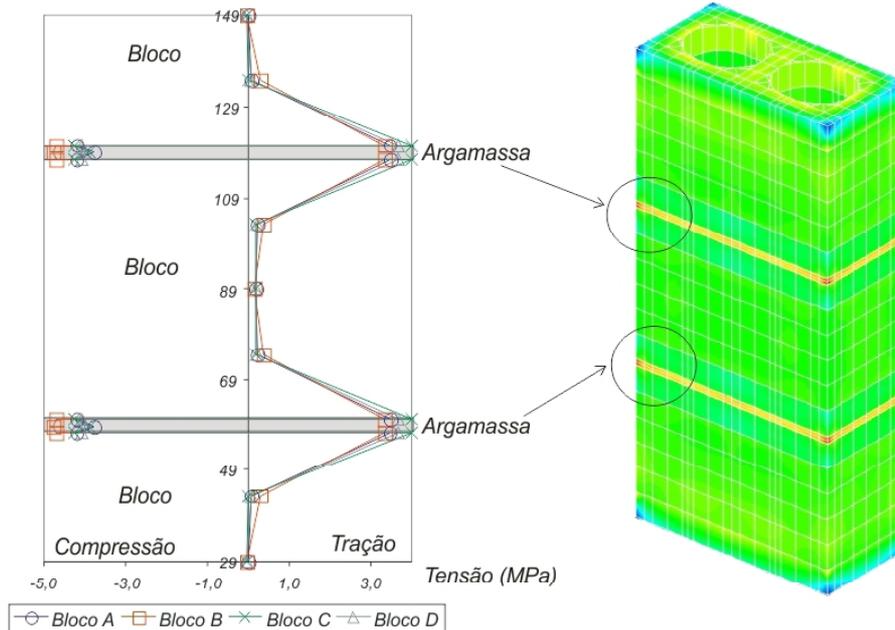


Figura 11 – Distribuição das tensões de tração e compressão ao longo da altura do bloco.

tensões de tração e compressão ao longo do comprimento do bloco, conforme as linhas 1 e 2 linhas indicadas na Figura 13 e 14.

Verificou-se que as distribuições das tensões de compressão obtidas nas paredes não apresentaram variações bruscas, significativas, ao longo das linhas analisadas (linha 1 e 2). Já para a análise das distribuições das tensões de tração na parede, se observou uma diferença significativa no nível de tensões ao longo da largura e do comprimento do bloco, conforme o formato geométrico. Os blocos com o formato geométrico D foram os que proporcionaram uma distribuição de tensões de tração mais uniforme na região central do bloco (região “a”), devido à presença do duplo septo central que proporciona um alinhamento das faces laterais dos blocos pela amarração das fiadas da parede. Na região “c”, o formato geométrico do bloco B e C, na direção da linha 1, apresentou o menor nível de tensão de tração devido ao formato arredondado no encontro entre as paredes longitudinais e transversais dos blocos ou pelas paredes transversais do bloco não coincidirem com as mesmas paredes na fiada anterior, diminuindo a magnitude de tensão. Avaliando-se as tensões na direção da parede transversal (linha 2) verificou-se que no meio da parede transversal o comportamento do formato geométrico dos blocos foram diferenciados como mostra a região “a” e diferentemente da região “c”.

5 Conclusões

De acordo com os resultados numéricos pode-se concluir que:

- na análise numérica dos prismas verificou-se que ocorreu uma inversão na distribuição das tensões no prisma provocada pelas diferentes rigidezes entre o bloco e a argamassa. A argamassa ficou comprimida triaxialmente e o bloco sob um estado de tensão biaxial (compressão e tração);
- verificou-se nos resultados numéricos de parede que as distribuições das tensões de compressão obtidas nas paredes não apresentaram variações bruscas, significativas, ao longo das linhas analisadas;
- já para a análise das distribuições das tensões de tração na parede, verificou-se uma diferença significativa no nível de tensões ao longo da largura e do comprimento do bloco, conforme o formato geométrico;
- os blocos com a forma geométrica D foram os que proporcionaram uma distribuição de tensões de tração mais uniforme na região central do bloco (região “a”), devido à presença do duplo septo central que proporcionou um alinhamento das faces laterais dos blocos pela amarração das fiadas da parede;
- o formato geométrico do bloco B e C, na direção da linha 1 e na região denominada de “c”, apresentou o menor nível de tensão de tração devido ao formato

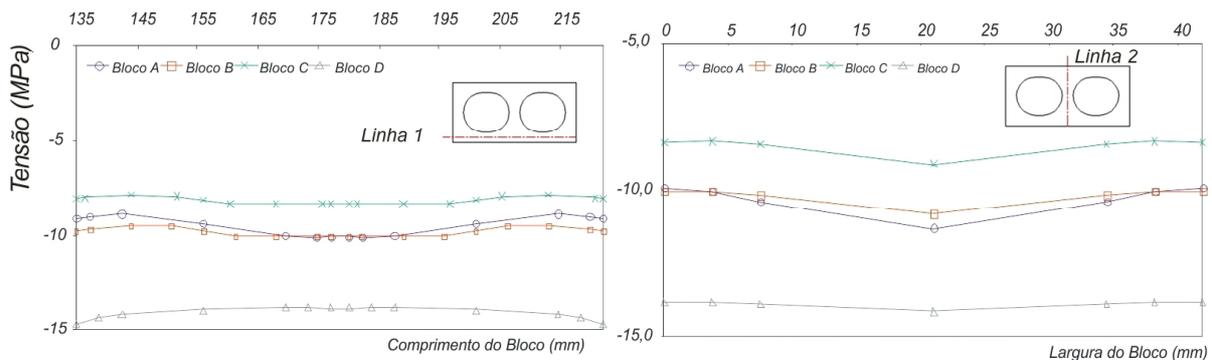


Figura 13 – Distribuição das tensões de compressão na fiada intermediária da parede.

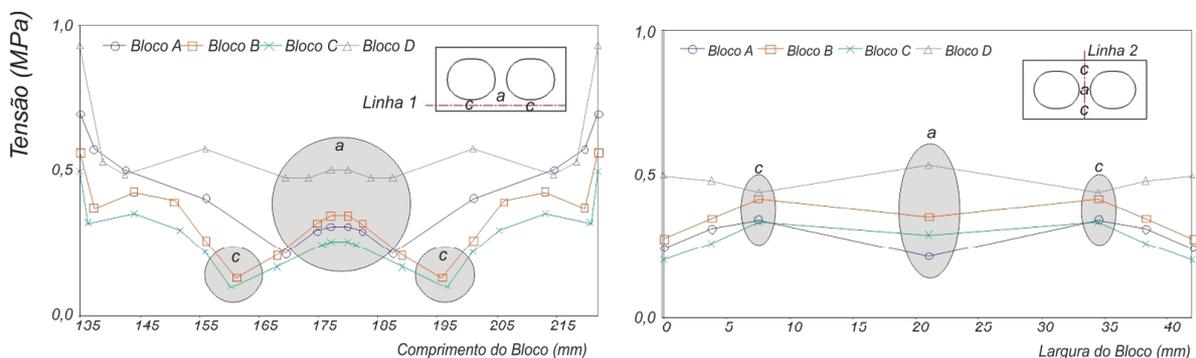


Figura 14 – Distribuição das tensões de tração na fiada intermediária da parede.

arredondado do encontro entre as paredes longitudinais e transversais dos blocos ou pelas paredes transversais do bloco não coincidirem com as mesmas paredes na fiada anterior, diminuindo a magnitude de tensão.

Abstract

This paper presents the numerical results of ceramic masonry structures under compression. Thereby, were studied four different geometries of blocks designated as A, B, C and D, which block A and B had a format with rounded hollows with different net areas, the block C had two rectangular holes and the block D had a double central septum. The numerical program included the study of blocks, prisms and walls joined by bedding mortar, in order to verify the distributions of stresses in blocks and mortar. For materials properties it was adopted a linear elastic model and isotropic. Based on the results, it can be concluded that the distribution of compressive stresses along the length and the width of the block were uniform, however, the tensile stresses along the length were different for the different geometries of blocks, and preliminary, it was found that the geometry of the block D, with a double central septum was the one that presented the distribution of stress more uniform, that is, without peaks of concentration. With this, it is possible to conclude that the block D was more efficient for use in masonry structure.

Keywords: ceramic block; Structural Masonry; Geometry.

6 Referências Bibliográficas

American Society for Testing and Materials. (1984). Standard test methods of splitting tensile strength of masonry units. ASTM C 1006-84, Philadelphia.

American Society for Testing and Materials. (2009). Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. ASTM C676-9, Philadelphia.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1982). Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. NBR 7251, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1985). Paredes de alvenaria estrutural. Método de ensaio. NBR 8949, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). Argamassa - Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio. NBR 13279, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). Concreto - determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão e deformação. NBR 8522, Rio Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos. NBR 15270-2, Rio de Janeiro.

Atkinson, R. H.; Noland, J. L. and Abrams, D. P. (1985). A deformation failure theory for stack-bond brick masonry prism in compression. Proceedings 7th International Brick Masonry Conference, Melbourne, February, v.1, pp. 577-592.

Atkinson, R. H.; Noland, J. L., Abrams, D. P. and McNairy, S. (1985). A deformation failure theory for stack-bond brick masonry prisms in compression. Proc. 3rd North America Masonry Conference, Boulder, Col., TMS, Paper 18.

BRDE. (1994) Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul. Cerâmica vermelha: informe setorial. Florianópolis, SC, Dezembro, 14 P.

British Standard Institute. (1976). Specification for buildings sand from natural sources. BSI 1200.

British Standard Institute. (1992). Structural use of unreinforced masonry. BSI 5628-1, London.

Ganesan, T. P. and Ramamurthy, K. (1992). Behavior of concrete hollow-block masonry prisms under axial compression. Journal of structural engineering, vol. 118, July.

Gomes, N. S. (1974). A resistência das paredes de alvenaria. Dissertação de mestrado, Escola politécnica da Universidade de São Paulo.

Hamid, A. A. and Drysdale, R. G. (1979). Behavior of concrete block masonry under axial compression. American Concrete Institute Journal, vol. 76, n0. 6, pp. 707-721.

Hegemeir, G. A.; Krishnamoorthy, G.; Numm, R. O. and Moorthy, T. V. (1978). Prism tests for the compressive strength of concrete masonry. Proceedings of North American Masonry Conference. University of Colorado, Boulder, August, pp. 181-1 – 18-7.

Hilsdorf, H. K. (1969). Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression. GULF PUBLISHING COMPANY.

Khoo, C. L. (1972). A failure criterion for brickwork in axial compression. Thesis presented to University of Edinburgh, University of Edinburgh, Scotland.

Mendes, R. J. K. (1998). Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 185 P.

Rizzatti, E. (2003). Influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural sob compressão. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 178 P.

Roman, H. R. and Mohamad, G. (1999) Alvenaria estrutural-classificação e materiais. Universidade Federal de Santa Catarina.