



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



## Avaliação das Implicações Técnicas Promovidas pela Introdução de Estados Limites no Cálculo de Alvenaria Estrutural

Paulo Vitor Souza Santos<sup>1</sup>, Helio Guimarães Aragão<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana / Departamento de Tecnologia /  
engpaulovitor@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Professor na Universidade Estadual de Feira de Santana / Departamento de Tecnologia /  
enghelioaragao@yahoo.com.br

### Resumo

A introdução de estados limites nas normas brasileiras voltadas para o projeto de Alvenaria Estrutural representa um grande avanço técnico para a análise estrutural desses sistemas construtivos por possibilitar a avaliação semiprobabilística das ações, tal como ocorre na análise das estruturas em aço, madeira e concreto armado. O estudo mostrou que a utilização da ABNT NBR 15961-1:2011 em detrimento da ABNT NBR 10837:1989 para a análise de um edifício residencial em Alvenaria Estrutural (11 pavimentos) não apresenta diferenças técnicas significativas nas especificações de projeto em termos de compressão simples, visto que as resistências à compressão simples demandadas pela nova norma brasileira são ligeiramente inferiores às demandadas pela norma antiga. Apesar da revisão das hipóteses admitidas para o comprimento dos flanges, que impacta diretamente no cálculo das rigidezes relativas dos sistemas de contraventamento, o estudo demonstrou que, em termos de tração na flexo-compressão, para argamassas com resistência média de 5MPa, a atualização da norma não oferece alterações significativas na demanda de armadura de flexão, ao passo que na compressão máxima devido à flexo-compressão, a ABNT NBR 15961-1:2011, que majora as ações e minora as resistências, mostrou-se mais conservadora que a ABNT NBR 10837:1989 por demandar maior volume de graute para reforço das regiões mais comprimidas.

### Palavras-chave

Alvenaria Estrutural; Tensões Admissíveis, Estados Limites, Ações e Segurança nas Estruturas.

### Introdução

Apesar de não ser uma novidade na história da humanidade, o sistema construtivo em Alvenaria Estrutural chegou tardiamente no Brasil sendo este, segundo Ataíde (2005), o motivo que levou ao atraso no desenvolvimento da normalização em relação a outros países. Para Camacho (1986), o desenvolvimento lento justifica-se pelo atraso na realização de pesquisas no tema.

Em 2011, a Associação Brasileira de Normas Técnicas atualizou as prescrições nas normas voltadas para o projeto de Alvenaria Estrutural com bloco vazado de concreto introduzindo preceitos semiprobabilísticos no dimensionamento dos elementos. Hendry (1998) ressalta que as normas britânica e europeia baseiam-se em Estados Limites desde a década de 90 do século XX.



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Com a finalidade de avaliar as implicações técnicas da utilização da ABNT NBR 15961-1:2011, baseada em Estados Limites, em detrimento da ABNT NBR 10837:1989, baseada em Tensões Admissíveis, no projeto de um edifício residencial em Alvenaria Estrutural de 11 pavimentos, construção na qual a ação do vento não é desprezível, este estudo comparativo colaborou para suprir a literatura técnica com conclusões de interesse aos projetistas que trabalham com o projeto desse tipo de sistema construtivo, considerada a pré-existência de investigações realizadas por Santos & Alvarenga (2012) e por Neto (2012), em edificações de pequeno porte.

## **Materiais e Métodos**

Os profissionais que trabalham com o projeto de sistemas construtivos em Alvenaria Estrutural, no Brasil, têm poucas ferramentas computacionais à disposição. Essa carência, proveniente do lento desenvolvimento de pesquisas que garantam a transferência tecnológica de modelos sofisticados aos softwares comerciais justifica a larga utilização de modelos simplificados na análise desses sistemas. Neste estudo comparativo os autores utilizaram os modelos simplificados descritos no item Modelos, implementados em rotinas Excel® e valendo-se dos recursos gráficos e de cálculo automático de propriedades geométricas inerentes à versão educacional do software AutoCad, da AutoDesk®.

## **Descrição do Projeto**

De acordo com regra empírica utilizada por projetistas, para edifícios com mais de 4 pavimentos, a resistência característica dos blocos ( $f_{bk}$ ), na primeira fiada, não deve ser inferior ao número de pavimentos multiplicado por 1 MPa (para emprego de blocos com 14 cm de espessura) ou por 0,75 MPa (para blocos com 19 cm de espessura). Para 11 pavimentos, os blocos de primeira fiada demandariam 11 MPa de resistência característica à compressão (para paredes com 14 cm de espessura), ao passo que 8,25 MPa (para emprego de blocos com 19 cm de espessura). Considerando disponibilidade de resistência característica no mercado, sem necessidade de encomenda (ACCETTI, 1998), justifica-se a decisão de projeto em optar por paredes com 19 cm de espessura.

O projeto estrutural desta pesquisa é voltado para a construção segura e econômica de um edifício residencial de 11 pavimentos (Figura 1), apresentando, cada um deles, pé direito de 2,80m, o que lhe confere uma altura total em Alvenaria de 30,80m. Seu formato, em planta, lembra o desenho de um “H” e está circunscrito em um retângulo com lados de dimensões 18,20m (comprimento frontal) x 16,60m (profundidade), conforme pode ser visto na Figura 2. Cada pavimento, incluindo o térreo, contém 4 apartamentos tipo com 50,32 m<sup>2</sup>, cada um.

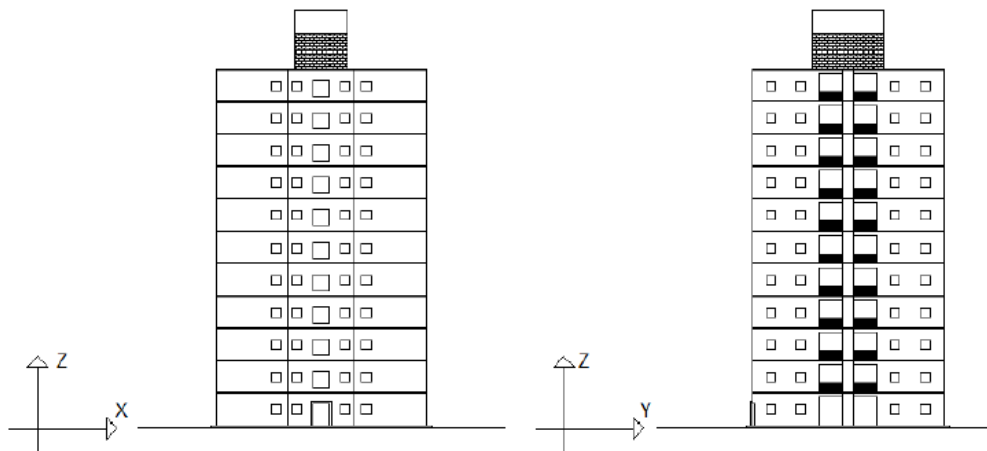


# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

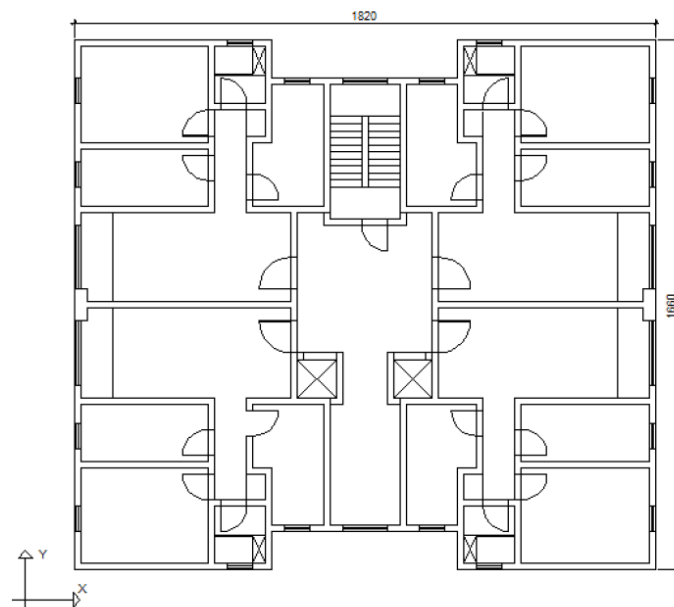
21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



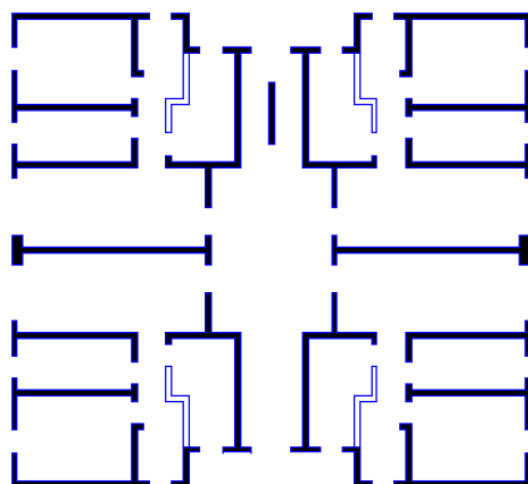
**Figura 1 – Vista frontal (plano xz) e lateral (plano yz) do edifício projetado. Fonte: OS AUTORES (2014)**



**Figura 2– Planta baixa do pavimento tipo (proposta final). Fonte: OS AUTORES (2014)**

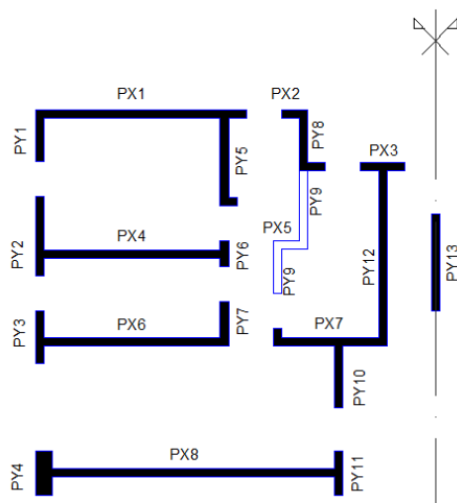
## Concepção Estrutural

Admitindo a necessidade de paredes hidráulicas, uma para cada apartamento tipo, admitiu-se o lançamento estrutural representado na Figura 3, onde as hachuras representam as paredes com função estrutural para as cargas verticais (compressão simples):



**Figura 3 – Lançamento estrutural. Fonte: OS AUTORES (2014)**

Para as paredes do apartamento tipo, foram atribuídas as referências de projeto ilustradas na Figura 4, na qual se verifica que a PX5 e a PY9 constituem os segmentos da parede hidráulica.



**Figura 4 – Referências de projeto para as paredes do apartamento tipo. Fonte: OS AUTORES (2014)**

### Modelos

De acordo com Peleteiro (2002, p.3), “a pesquisa sobre modelagem matemática de painéis de alvenaria é muito incipiente, na verdade quase inexistente.” o que motiva a larga utilização de modelos simplificadores capazes de viabilizar a elaboração de projetos de edifícios em Alvenaria Estrutural de forma segura e produtiva.

As ações do sistema estrutural de alvenaria estão ilustradas na Figura 5, onde os esforços verticais distribuem-se segundo os apoios das lajes (grupo de paredes com função estrutural),



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

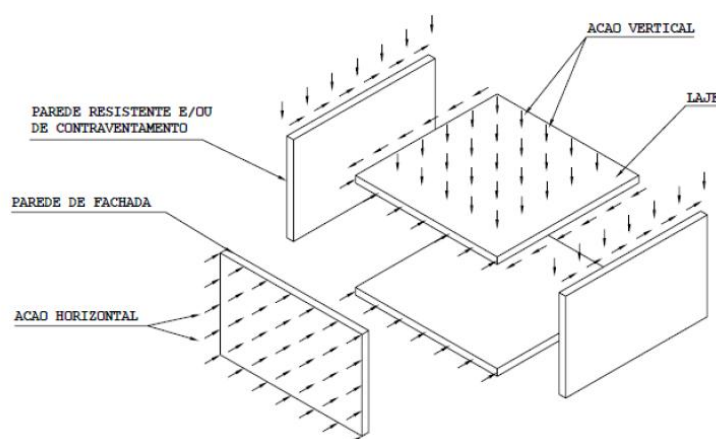
COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



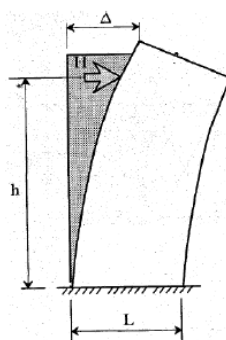
admitida a hipótese das charneiras plásticas, e as ações horizontais são absorvidas pelas lajes do pavimento, admitida a hipótese de diafragma rígido, transmitindo-as para as paredes de contraventamento por meio de tensões de cisalhamento (NETO & CORRÊA, 2002).

Entre os modelos simplificados, para a análise do sistema de contraventamento (ações horizontais), existe o que considera a parede estrutural como um pilar engastado na fundação. Vieira *et. al.* (2012) ressaltam que a distribuição das ações horizontais pode ser feita por dois métodos diferentes: o Método das Paredes Isoladas (MPI) e o Método das Paredes com Aberturas (MPA), sendo este último, segundo os autores (*op. cit.*), mais realista e mais econômico que o primeiro. Nesta pesquisa, a análise do sistema de contraventamento foi realizada com base no MPI (Figura 6), com delimitação dimensional determinada por cada abertura ou prescrição normativa.

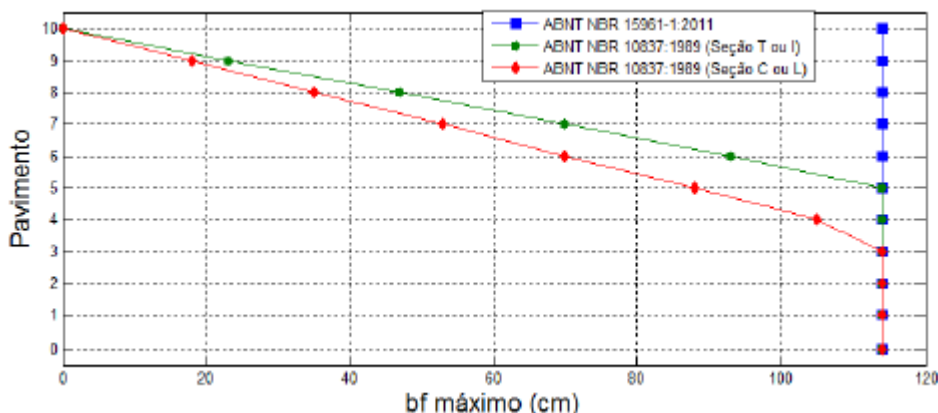


**Figura 5 – Ações do sistema estrutural de alvenaria. Fonte: CAMACHO (2006)**

Cabe ressaltar que além da introdução de preceitos semiprobabilísticos, a ABNT NBR 15961-1:2011 revisou as hipóteses de comprimento do flange nas paredes de contraventamento admitidas na ABNT NBR 10837:1989, que propunha uma redução do comprimento do flange à medida que a seção considerada se aproximasse do todo da edificação (Figura 7).



**Figura 6 – Modelo de Pilar Engastado na Base para o Método das Paredes Isoladas (MPI): SILVA et. al. (2003)**



**Figura 7 – Modificações das hipóteses admitidas para influência do flange na rigidez das paredes de contraventamento. Fonte: OS AUTORES (2014)**

### Dimensionamento e Verificação à Compressão Simples

Conforme distribuição de cargas realizadas com base nos modelos de Análise Estrutural supramencionados, o Grupo 7, constituído pelas paredes PY4, PX8 e PY11 (Figura 8) foi o mais solicitado à compressão.

De acordo com o item 5.1.2.1 da ABNT NBR 10837:1989, as cargas admissíveis nos grupos de parede em alvenaria não armada são calculadas com base na Equação 1, onde  $P_{adm}$  é a força normal admissível e  $f_p$  é a resistência média dos prismas.

$$P_{adm} = 0,20f_p \left[ 1 - \left( \frac{h}{40t} \right)^3 \right] \cdot A \quad (1)$$

Analogamente, a ABNT NBR 15961-1:2011 relaciona o esforço resistente de cálculo ( $N_{Rd}$ ) com a resistência à compressão de cálculo da alvenaria ( $f_d$ ), conforme mostrado na Equação 2.

$$N_{rd} = f_d \cdot A \cdot R \quad (2)$$



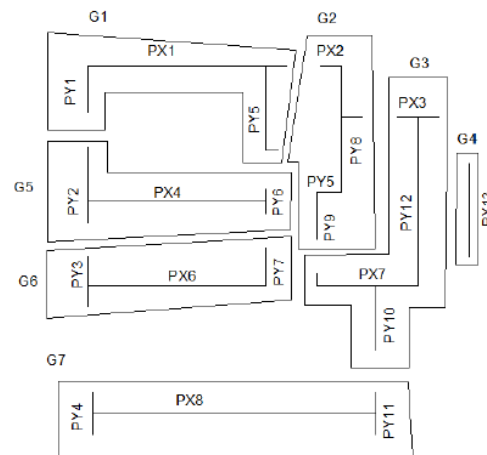
# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

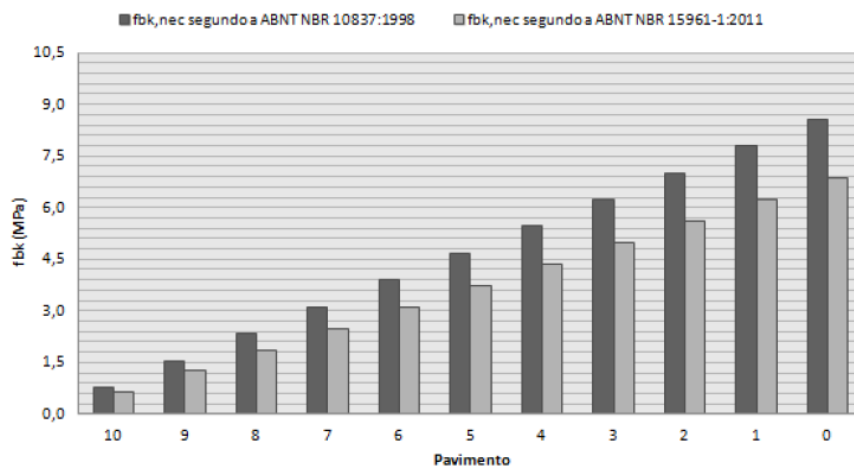
Realização:



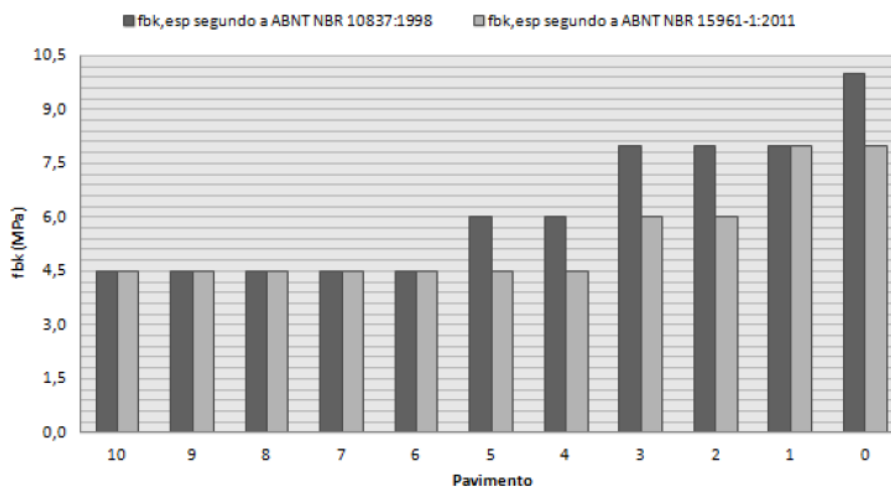
COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI



**Figura 8 – Representação unifilar dos grupos de paredes do apartamento tipo. Fonte: OS AUTORES (2014)**



**Figura 9 – Resistência à compressão simples do Grupo 7 ( $f_{bk}$  necessário). Fonte: OS AUTORES (2014)**



**Figura 10 – Resistência à compressão simples do Grupo 7 ( $f_{bk}$  especificado). Fonte: OS AUTORES (2014)**

### Dimensionamento e Verificação à Flexo-Compressão

Na flexo-compressão, a parede PX4 do apartamento tipo recebe as solicitações críticas (máxima tração e máxima compressão na flexo-compressão), dada à ação do vento a  $0^\circ$  e  $180^\circ$ . De acordo com a ABNT NBR 10837:1989, as tensões de tração admissíveis na alvenaria não armada não devem superar 0,10MPa (tração normal à fiada) e 0,20MPa (tração paralela à fiada), quando a argamassa apresenta resistência média à compressão variando entre 5MPa e 12MPa. Segundo esta mesma norma, as máximas tensões de compressão não devem ultrapassar a resistência à compressão da alvenaria majorada em 33%.

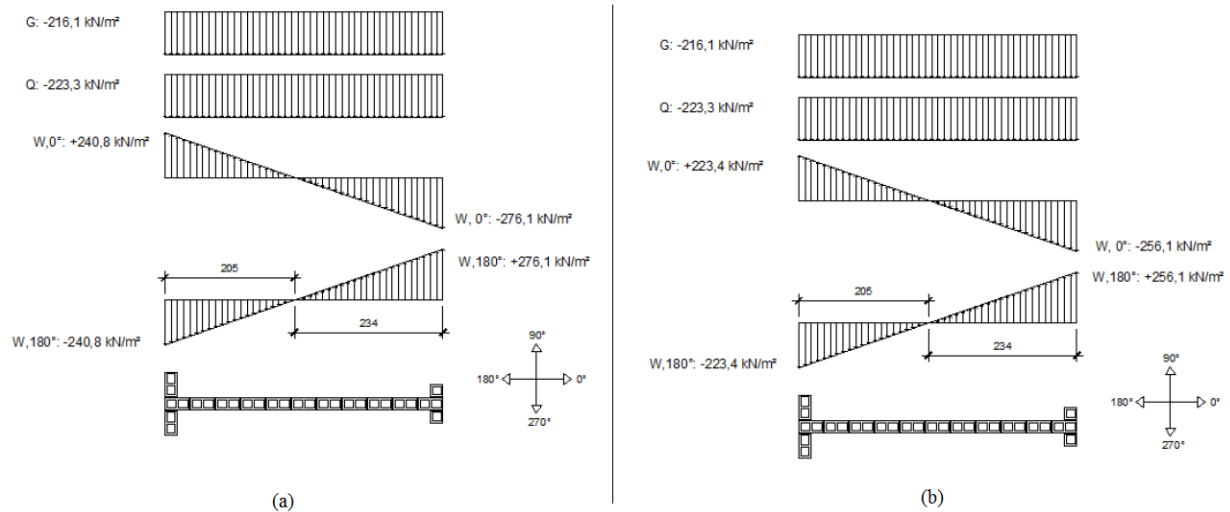
Analogamente, a ABNT NBR 15961-1:2011 admite resistência característica à tração de 0,20MPa (tração normal à fiada) e de 0,40MPa (tração paralela à fiada), quando a argamassa apresenta resistência média à compressão entre 3,5MPa e 7MPa. Para a verificação da máxima compressão, a nova norma propõe a aplicação da seguinte inequação (supondo alvenarias não armadas):

$$\frac{Nd}{A.R} + \frac{Md}{W.K} \leq \frac{fk}{\gamma_m} \quad (3)$$

Dada às alterações na hipótese de rigidez do sistema de contraventamento (Figura 7) e com a consideração das combinações de ações, a ABNT NBR 15961-1:2011 demandou armadura de flexão na parede PX4, ao nível do térreo (vento a  $0^\circ$  e  $180^\circ$ ) e ao nível do 1º pavimento (vento a  $180^\circ$ ) enquanto que pela ABNT NBR 10837:1989 o sistema de contraventamento passa como alvenaria não armada.

Além da demanda de armadura, a verificação da máxima compressão pela ABNT NBR 15961-1:2011 demandou maior consumo de graute para reforço da resistência nas regiões mais comprimidas no sistema de contraventamento, admitindo-se a utilização de grautes com mesma resistência característica ( $f_{gk}$ ).





**Figura 11 – Tensões devidas à flexo-compressão da parede PX4: (a) segundo a ABNT NBR 10837:1989 (b) Segundo a ABNT NBR 15961-1:2011. Fonte: OS AUTORES (2014)**

## Conclusões

Os procedimentos preconizados pela ABNT NBR 15961-1:2011, baseada em estados limites, são mais racionais que os da ABNT NBR 10837:1989, baseada em tensões admissíveis, pois a avaliação de ações ocorre de maneira semiprobabilística, permitindo que a natureza da ação seja considerada na análise da estrutura, resultando em um procedimento de cálculo mais realístico e organizado.

Para os esforços de compressão simples a atualização nos documentos normalizadores traz pouco impacto técnico, visto que as resistências demandadas pela verificação segundo a nova norma são ligeiramente inferiores às resistências demandadas pela verificação segundo a norma antiga o que demonstra a segurança das estruturas dimensionadas segundo a ABNT NBR 10837:1989. Para edificações do porte do edifício-piloto desta pesquisa, com até 5 (cinco) pavimentos, o dimensionamento à compressão simples resulta na mesma especificação final de projeto tanto para as verificações baseadas no MTA, quanto para as baseadas no MEL.

Para os esforços de tração na flexo-compressão, observa-se que os resultados da demanda de armadura na flexão do novo documento técnico não diferem significativamente da demanda de armadura na flexão da norma antiga. Para o caso de argamassas com resistência média de 5 MPa, ambas as normas apresentam tensão de tração admissível normal à fiada e tensão de tração de cálculo normal à fiada iguais à 0,10 MPa, sendo as diferenças de solicitação e de demanda de armadura apresentadas uma consequência da majoração das ações e da reformulação das hipóteses de comprimento dos flanges

Para os esforços de compressão na flexo-compressão, observa-se que o novo documento técnico é mais conservador no que concerne ao reforço das regiões mais comprimidas com



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de  
maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

graute. A norma antiga, que admite tensão admissível na flexo-compressão majorada em 33%, demanda um volume de graute que representa 5,43% do volume demandado pelo novo documento normalizador, que majora as ações e minora as resistências.

Conclui-se, portanto, que a ABNT NBR 15961-1:2011 trabalha com níveis de segurança compatíveis com o apresentado pela ABNT NBR 10837:1989 sendo, por sua vez, mais racional por permitir maior flexibilidade na avaliação das ações. Ficará a cargo da confiabilidade estrutural e do avanço tecnológico sobre a produção e controle dos materiais, a calibração dos coeficientes parciais de segurança aplicados às resistências dos elementos da alvenaria estrutural (ainda conservadores), de modo que este sistema construtivo possa se tornar, no futuro, ainda mais competitivo em termos de custo.

## Referências

- ACCETTI, K.M. Contribuições ao projeto estrutural de edifícios de alvenaria. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10837:1989 – Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.
- \_\_\_\_\_. NBR 15961-1:2011 – Alvenaria Estrutural – Bloco de Concreto – Parte 1: Projeto.
- CAMACHO, J.S. Alvenaria estrutural não armada: parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 1986.
- HENDRY, A.W. Structural Masonry, 1998. (Livro) 2ªed. by Macmillan Press Ltda. ISBN 0-333-739-6.
- NETO, D.O.P. Análise comparativa do dimensionamento à compressão simples em alvenaria segundo a NBR 10837/1989 e a NBR 15961/2011. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas - BA, 2012.
- NETO, J.A.N.; CORRÊA, M.R.S. Análise tridimensional de edifícios em alvenaria estrutural submetidos à ação do vento. Cadernos de Engenharia de Estruturas, Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), EESC/USP. São Carlos, n.19, p.81-100.
- PELETEIRO, S.C. Contribuições à modelagem numérica de alvenaria estrutural. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP, 2002.
- SANTOS, A.A.; ALVARENGA, R.C.S.S. Edifício de alvenaria estrutural de cinco pavimentos: análise comparativa entre a ABNT NBR 10837 e a ABNT NBR 15961-1. In: Simpósio sobre Estruturas, 2012.
- SILVA, F.A.N.; LOURENÇO, P.B.; OLIVEIRA, R.A. Paredes de alvenaria estrutural não armada dotadas de armaduras e submetidas a carregamento lateral. Universidade do Minho. Relatório 03-DEC/E-13, 2003.
- VIEIRA, W.B.; ALVARENGA, R.C.S.S.; VERÍSSIMO, G.S. Análise comparativa de métodos para distribuição de ações horizontais em edifícios de alvenaria estrutural de blocos de concreto. In: Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto. p 1-15. Ano: 2012.