



COMPORTAMENTO DE PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: ANÁLISE NUMÉRICA

Jean Marie Désir

Luana Zanin

jean.marie@ufrgs.br

luanazannin@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Rua Cariri 120, 91900-560, Porto Alegre, RS, Brasil

Resumo Os elevados custos de vários incêndios levaram a considerar estes sinistros como eventos evitáveis e a segurança, prevenção e proteção contra incêndio é abordada cada vez com mais rigor nas normas e leis, fixando requisitos (NBR 14432:2000) a serem garantidos por procedimentos de ensaios (NBR 5628:2012). A integridade estrutural deve ser garantida por um determinado TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo). Infelizmente, existem poucos registros de testes, em escala real, com o elemento estrutural nas condições de serviço, ou seja interagindo com o resto da estrutura. Este trabalho analisa dois aspectos do comportamento ao fogo de parede de alvenaria. Por um lado é simulado, numericamente, o ensaio de resistência ao fogo através de uma análise de fluxo de calor para descrever a evolução do campo de temperaturas na seção transversal da parede. Depois o acoplamento termo-mecânico da parede é analisado tanto nas condições de ensaio como nas condições em serviço. Para isso, foram idealizados alguns pórticos, de dois pavimentos, em diferentes cenários de incêndio. Definido o perfil do fluxo de calor entre face aquecida e face não exposta, analisam-se as tensões e deformações de uma parede para avaliar sua influência no comportamento global do pórtico.

Keywords: Resistência ao fogo, alvenaria estrutural, acoplamento termo-mecânico

1 INTRODUÇÃO

As simulações numéricas realizadas no âmbito deste trabalho visam analisar o comportamento mecânico de paredes de alvenaria em situações de incêndio onde ocorre elevação brusca de temperatura. Atualmente, As normas analisam a resistência ao fogo de paredes de alvenaria através de três critérios: resistência estrutural, estanqueidade e isolamento. A norma ABNT (NBR 5628:2012) estabelece os procedimentos para a realização dos ensaios pertinentes para garantir que os elementos construtivos de edificações, testado isoladamente, cumprem com as exigências de resistência ao fogo estipulada na ABNT (NBR 14432:2000). Procura-se garantir a integridade estrutural estabelecendo um determinado TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo).

Na prática, a realidade é bem diferente. Por um lado, os ensaios são realizados em elementos isolados que não se encontram necessariamente nas condições que estarão trabalhando em serviço. O outro problema é o custo, tanto para a montagem de laboratórios adequados quanto para a realização dos mesmos. Adicionalmente, ao contrário do concreto comum, armado ou protendido, cujo comportamento ao fogo já foi estudado por meio de diversos ensaios com resultados amplamente disseminados e que levaram a um conhecimento razoável de sua resistência residual em situação de incêndio, poucos foram os estudos realizados no que tange a verificação das estruturas de alvenaria pós ocorrência de incêndio.

A ABNT (NBR 15200:2012), elaborada a partir do Eurocode 2 (2002), adaptando-o à realidade brasileira, estabelece os critérios de projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. A ação de incêndio é definida a partir do calor transmitido a cada elemento estrutural durante o TRRF para um incêndio padrão. A ABNT (NBR14432:2000) recomenda, como curva temperatura-tempo padrão, a curva da International Organization for Standardization ISO 834-1 (1999) que é descrita pela "Eq. (1)" onde t é o tempo em minutos; θ_0 é a temperatura do ambiente tomada igual a 20°C , e θ_g é a temperatura, em graus Celsius no instante t . A Figura 1 mostra a curva correspondente.

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \cdot \log(8t + 1) \quad (1)$$

O dimensionamento deve levar em consideração o efeito transiente da ação do fogo sobre as características e propriedades dos materiais. O método mais utilizado é o método tabular que estabelece, para os diferentes componentes da estrutura, a espessura mínima necessária para um determinado TRRF. Contudo a ABNT (NBR 15200:2012) recomenda, de uma maneira mais geral, que o cálculo considere as combinações de ações em situação de incêndio sendo as solicitações determinadas por métodos não-lineares capazes de captar as redistribuições de esforços. Na verificação, os esforços devem resistir ser consistentes com a distribuição de temperatura conforme o TRRF estipulado.

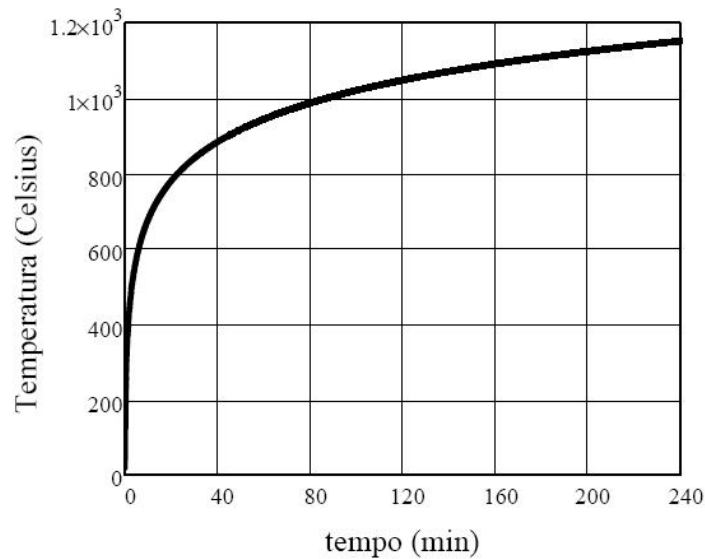


Figure 1: Curva de incêndio padrão segundo ISO 834: 1999

2 ANÁLISE TERMO-MECÂNICA

Neste contexto, as simulações numéricas aparecem como uma forma de contornar as limitações de falta de ensaios em escala reais, atendendo contudo os diferentes aspectos apontados pela norma. Em situação de incêndio temos um gradiente forte de temperatura entre face exposta e não exposta que provoca alongamentos diferenciais entre os dois lados resultando na curvatura observada na face exposta (Cooke, 1988). As altas temperaturas na face exposta afetam as propriedades do material provocando uma redução da espessura efetiva. Os deslocamentos e a degradação dos materiais podem levar ao colapso do elemento estrutural. Vários pesquisadores propuseram modelos para uma análise que considere estes aspectos (Nadjai et al., 2003; Nguyen et al., 2009).

Este trabalho propõe um procedimento de análise que inclui os diferentes aspectos destacados pela norma brasileira. A análise é conduzida em várias etapas que procuram reproduzir as condições nas quais se encontra uma parede em uma situação de incêndio.

2.1 Curva de aquecimento do ensaio

Um incêndio real provoca uma curva de aquecimento que depende sobretudo das características da carga de incêndio e das condições de ventilação do local, de tal forma que as curvas reais de aquecimento diferem da curva padrão da Fig. 1. Para o ensaio descrito na ABNT (NBR 5628:2012), o aquecimento no interior do forno é proporcionado por queimadores que liberam quantidades pré-definidas de calor por m^2 . As temperaturas são obtidas com termopares posicionados adequadamente no interior do recinto do forno. Este processo é simulado com o programa Fire Dynamics Simulator (FDS) no ambiente PyroSim, interface gráfica de pré

e pós-processamento que oferece um conjunto de facilidades para o tratamento do problema de fluxo de calor. As Figuras 2(a) e 2(b) mostram o modelo realizado no programa Pyrosim© com a localização de queimadores e termopares.

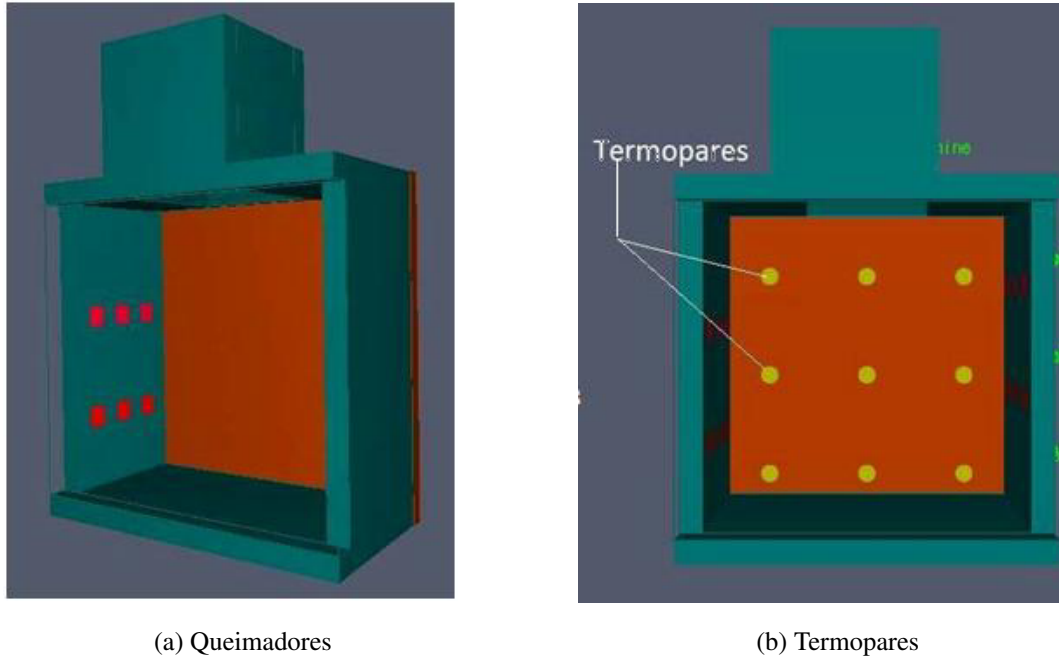


Figure 2: Representação do forno no programa Pyrosim

O FDS, software livre desenvolvido pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST) do departamento de comércio dos Estados Unidos, em cooperação com o Centro de Pesquisa Técnica da Finlândia VTT, é um modelo computacional de dinâmica de fluidos (CFD) que resolve numericamente uma forma das equações de Navier-Stokes para baixa velocidade de fluxo de calor, com ênfase na fumaça e no calor transportado durante o incêndio, para descrever a evolução do fogo. Resolve-se um problema de conservação de massa em um ambiente dividido em sub-volumes aos quais são aplicadas as equações de Navier-Stokes (Forney, 2005). A forma vetorial apresentada na "Eq. (2)", resulta da substituição da tensão devida ao escoamento do fluido na equação de conservação de massa e depende da densidade ρ do fluido, da força $\mathbf{f}$ por unidade de massa, do vetor velocidade $\mathbf{v}$ e da pressão p do fluido.

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \rho \mathbf{f} - \nabla p + \nabla \cdot \left(\mu \left\{ \left[\nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T \right] - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{v}) \tilde{\mathbf{I}} \right\} \right) \quad (2)$$

A modelagem por sub-volumes requer, em geral, um alto custo computacional. Neste trabalho, para reduzir o tempo de processamento, as paredes do forno são consideradas inertes, não se aquecem. As temperaturas registradas por termopares posicionados em diferentes pontos na altura do forno permitem observar se a dinâmica do ensaio de paredes se aproxima a um modelo de camadas (Jones et al., 2005).

2.2 Efeito das altas temperaturas

A simulação do forno com o Pyrosim\FDS fornece a curva de temperatura-tempo ao qual a face exposta da parede se encontra submetida. É necessário analisar a transferência térmica através da parede para estabelecer a evolução, no tempo, do campo das temperaturas na seção transversal da mesma. A forma de definir a transferência de calor entre o meio ambiente e a estrutura é um aspecto importante na análise de fluxo de temperatura. Este processo envolve em menor ou maior grau as três formas de transmissão de calor: condução, convecção e radiação. Nesta análise consideram-se principalmente a transferência por condução e convecção. Dentro deste contexto, elementos de contato com coeficiente de condutibilidade de superfície ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$) permitem aplicar as temperaturas impostas na face aquecida assim como a temperatura ambiente na face não exposta.

As simulações foram realizadas com o programa DIANA 9.4 que oferece um conjunto de ferramentas para a consideração de um fluxo de temperatura, através das equações de convecção-difusão, "Eq. (3)", onde ϕ é o potencial, a temperatura por exemplo, $\mathbf{q}$ o vetor de fluxo específico, $\mathbf{k}$ o tensor de difusão, β o vetor do campo de convecção, c a capacitância e $\mathbf{qv}$ o fluxo externo.

$$\begin{aligned} \text{div} \mathbf{q} + \beta \nabla \phi + c \dot{\phi} &= \mathbf{qv} \\ \mathbf{q} &= -\mathbf{k} \nabla \phi \end{aligned} \quad (3)$$

É possível considerar ou não a variação das propriedades dos materiais em função da temperatura. Quando se considera esta variação a análise deve ser uma análise transiente.

Sem dúvida, quando mais completa a análise, melhor a qualidade e exatidão dos resultados. Contudo, estas informações que são as propriedades térmicas dos materiais, muitas vezes, são de difícil determinação. Por outro lado, a consideração da dependência das propriedades dos materiais em relação as temperaturas no tempo aumenta consideravelmente o tempo de processamento em uma modelagem 3D.

2.3 Acoplamento termo-mecânico

A análise de fluxo de calor define o perfil de distribuição das temperatura na seção transversal da parede. Este campo de temperatura é transformado em deformação térmica. Esta deformação pode ser associada a uma tensão e integrada no volume da parede fornecendo uma força de volume para a equação geral de resolução de um problema pelo método dos elementos finitos conforme a "Eq. (4)" onde K é a matriz de rigidez, $\mathbf{u}$ o vetor de deslocamento, $\mathbf{P}$ o vetor de forças externas.

$$[K] \{u\} + \{f\} = \{P\} \quad (4)$$

O vetor de força de volume f pode ser tratado como resultante da ação da temperatura que provoca uma deformação térmica ε_{ter} que pode ser associada a uma tensão térmica cuja integral fornece uma força de volume f_{ter} de acordo com a expressão da "Eq. (5)":

$$f_{ter} = - \int_v [B]^T [D] \{\varepsilon_{ter}\} dV \quad (5)$$

Combinando "Eq. (4)" e "Eq. (5)" é possível determinar uma deformação total e as tensão correspondente.

3 Simulações e resultados

As simulações realizadas no contexto deste trabalho procuram validar um procedimento em três etapas para o dimensionamento de paredes de alvenaria estrutural ou não em situação de incêndio, ou seja, a determinação da curva de aquecimento, da evolução das temperaturas na seção transversal da parede e a avaliação do efeito das temperaturas em termo de deformações e tensões. Além das equações que governam tanto o fenômeno de transferência de calor quanto o acoplamento termo-mecânico, podem ser necessárias considerações específicas sobre os materiais a serem utilizados na elevação das paredes, inclusive a dependência das propriedades dos mesmos em relação as altas temperaturas e ao tempo. Tais considerações exigiriam também uma abordagem que contemple as não linearidades dos materiais. No contexto deste artigo, consideram-se dois tipos de modelos: um modelo 3D para a análise de um pano de parede, definida como elevada com blocos vazados e um modelo 2D onde é analisado o comportamento de um pórtico formado por uma parede vertical de compartimentação e a laje que nela apóiam. Tal estratégia visa investigar a consistência da utilização do ensaio de resistência ao fogo para a análise do comportamento global da estrutura.

3.1 Materiais

Considera-se o caso de bloco vazado de dimensões nominais 20x20x30 cm. A princípio, espera-se uma certa diferença no comportamento em função do material do bloco ser cerâmico ou de concreto, sobretudo quando se considera o processo de desidratação que é mais pronunciado na alvenaria de bloco de concreto. Contudo, nesta análise onde o objetivo principal é observar a viabilidade de utilizar este procedimento de análise para predição de resultados semelhantes aos observados experimentalmente, foram adotados valores dentro das faixas amplamente divulgados na literatura técnica. As propriedades elásticas e térmicas consideradas para o bloco e a argamassa estão resumidas na tabela 1. Várias destas propriedades depende da temperatura e do tempo de aquecimento.

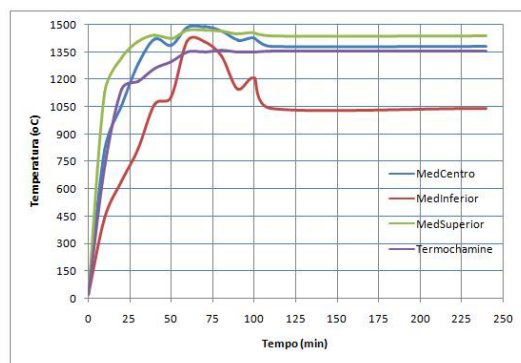
3.2 Curva de aquecimento

Na modelagem com o Fire Dynamic Simulations (FDS), foi possível considerar três faixas de aquecimento na altura da parede de 2,40m. Para isso, foram utilizados três conjuntos de

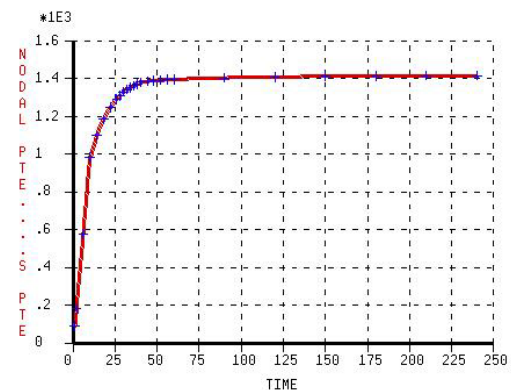
Table 1: Propriedades dos materiais

Características	Blocos	Argamassa
Módulo de Young E (MPa)	12000	8000
Coefficiente de Poisson ν	.22	.18
Densidade ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1800	1600
Condutividade térmica λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	1,50	1,15
Coefficiente de troca superficial h_c ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	10	10
Capacidade térmica C_p ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	800	1000
Coefficiente de dilatação térmica α ($^{\circ}\text{K}^{-1}$)	5×10^{-6}	1×10^{-5}

termopares que registraram as curvas de temperatura-tempo da Fig. 3(a). Observa-se claramente que existe uma convecção que provoca um aquecimento diferencial nas regiões mais altas do forno. Estas curvas podem ser aplicadas simultaneamente para a definição da evolução das temperatura no interior da parede. Neste artigo adota-se o maior potencial de aquecimento que é destacada na Fig. 3(b) e que será utilizada como curva de aquecimento tanto para o modelo 3D quanto para o 2D.



(a) Curvas obtidas com o FDS



(b) Curva adotada para a análise

Figure 3: Definição da curva de aquecimento para a análise de fluxo

3.3 Análise do modelo 3D

A análise do modelo 3D foi realizada considerando uma parede de 1,50m x 2,4m apoiada na base e no todo. O lado não exposto está sob uma temperatura ambiente de 20°C. Uma carga de 1MPa é aplicada no todo da parede. As condições de carregamento e de apoio constituem um aspecto bastante importante no comportamento da parede. Uma discussão será feita sobre

isso na análise do modelo 2D. O ensaio de resistência ao fogo procura verificar as características de isolamento térmico, resistência mecânica e estanqueidade. Na simulação numérica só são avaliadas as duas primeiras. Em relação ao isolamento térmico, o fluxo de calor não deve provocar uma elevação média de temperatura na face não aquecida maior de 140°C, nem elevação pontual maior que 180°C. A Figura 4(a) mostra a evolução de temperatura entre face aquecida e face não exposta. A curva mais alta da Fig. 4(b) corresponde ao lado aquecido.

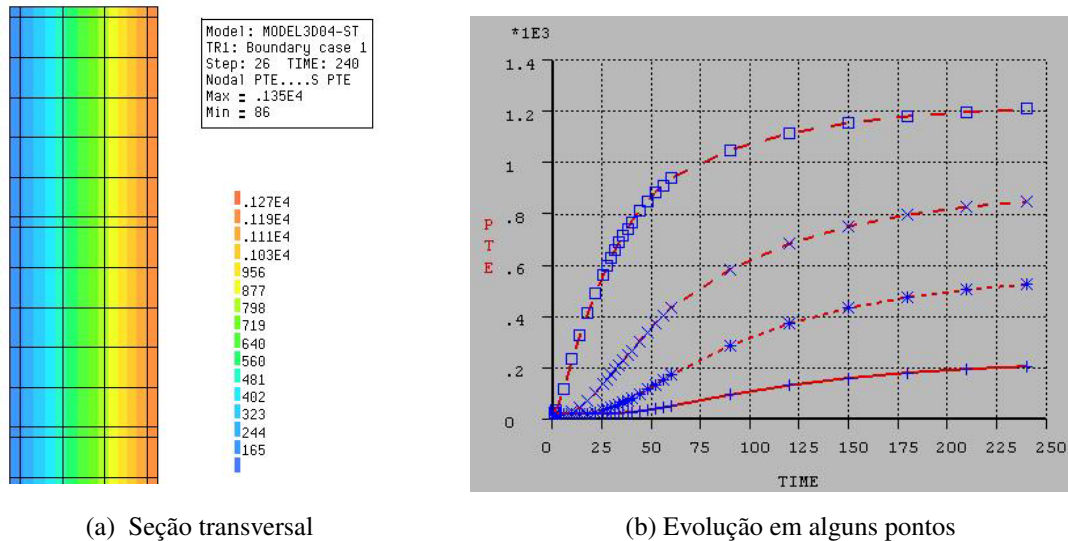


Figure 4: Evolução das temperaturas na seção transversal

Quanto ao critério de resistência, a variável de controle mais utilizada é o deslocamento horizontal da parede que deve ser inferior ao valor calculado com a "Eq (6)" onde h é a altura da parede e e a espessura.

$$dh = \frac{h^2}{400e} (mm) \quad (6)$$

A Figura 5 mostra a evolução deslocamento-tempo para o ponto de maior deslocamento durante o período de aquecimento de 240 minutos. o valor máximo observado de 22,5 mm estaria muito abaixo do limite da "Eq (6)". Contudo vale ressaltar que nesta simulação não foi considerado o comportamento transiente dos materiais.

3.4 Análise do modelo 2D

Como foi destacado várias vezes neste artigo, um dos objetivos do trabalho é avaliar a consistência da utilização dos resultados do ensaios de resistência ao fogo de um elemento individual para o estabelecimento da conformidade de uma parede de compartimentação de uma edificação. Para isso, considera-se que uma parede trabalha em serviço na configuração de um pórtico onde se encontra vinculada as lajes em suas extremidades. Na edificação esta parede

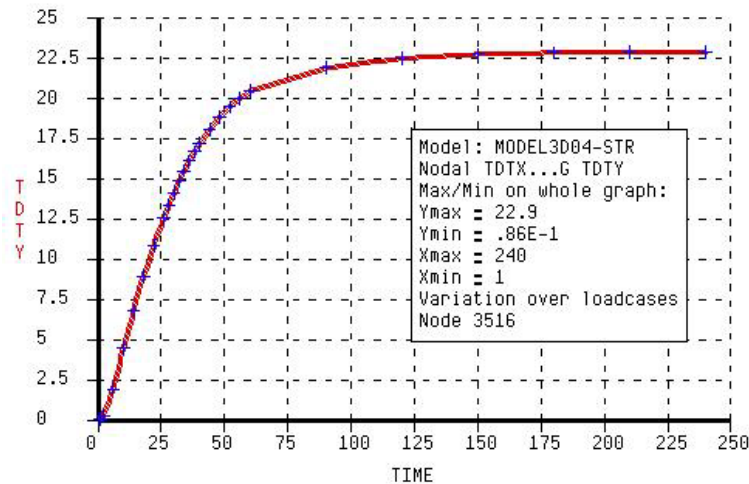


Figure 5: Deslocamento transversal máximo em (mm) na face aquecida do modelo 3D

estará submetida a um carregamento composto pelas cargas dos pavimentos superiores (peso próprio e sobrecargas de utilização) a carga térmica. Um dos problemas que se evidencia é o tipo de ligação entre lajes e parede. Uma ligação rígida com restrição dos momentos fletores afetam bastante o comportamento global. Se quisermos controlar este efeito, é possível introduzir no modelo um elemento de interface sem acoplamento entre seus deslocamentos tangencial e normal e que basicamente apresenta a lei constitutiva descrita pela "Eq.(7)". K_n e K_t são as rigidezes nas direções normal e tangencial da interface entre a laje e o topo da parede.

$$\begin{Bmatrix} \Delta\sigma_n \\ \Delta\sigma_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_n & 0 \\ 0 & K_t \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta_n \\ \Delta_t \end{Bmatrix} \quad (7)$$

Uma análise completa envolveria várias configurações tanto em relação ao pórtico que podemos considerar quanto a situação de exposição ao fogo. Em geral, por se tratar de parede de compartimentação, as paredes são consideradas sempre com uma face aquecida e a outra com temperatura ambiente. O coeficiente de troca superficial proporciona a transferência por convecção. A Figura 6 ilustra o pórtico analisado. São dois pavimentos de 2,40 m de altura entre lajes. As lajes tem 3 m de vão e são consideradas como continua sobre a parede. Elas descarregam toda a carga sobre a parede (pior situação).

Dentre as diferentes configurações possíveis, são apresentados os resultados de três situações considerando combinações de carga térmica e condições de apoio:

- fogo no primeiro pavimento e ligação rígida entre lajes e paredes;
- fogo nos dois pavimentos e ligação rígida entre lajes e paredes;
- fogo nos dois pavimentos e elementos de interface entre lajes e paredes

Os valores de rigidezes adotados para a interface foram os suficientes para liberar a rotação

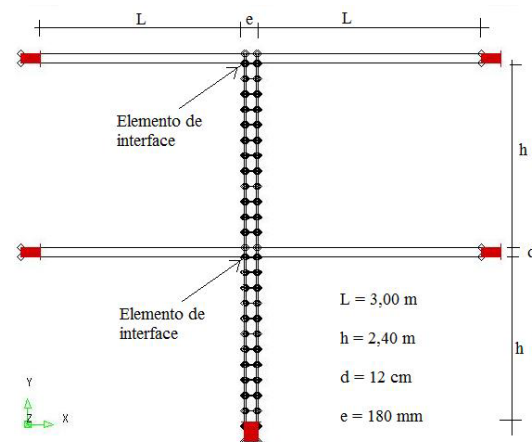


Figure 6: Configuração do pórtico analisado

sem permitir interpenetração entre lajes e paredes. As cargas dos pavimentos são deduzidas a partir dos valores de peso específico de concreto comum e a carga térmica é a curva apresentada anteriormente na Fig. 3(b).

A modelagem por elementos finitos do pórtico inclui um conjunto de elementos com características estruturais para a representação dos blocos e da argamassa na análise do comportamento mecânica. o efeito das temperaturas é tratado com elementos de contorno que convertem fluxo de calor em carga térmica nodal. As simulações são realizadas no programa DIANA que oferece uma gama ampla de ferramenta para este tratamento. Combinando os dois elementos é possível analisar o acoplamento termo-mecânico. São também muitas as variáveis de controle disponíveis, sendo considerados neste trabalho os mais relevantes para o objetivo do trabalho, ou seja, a evolução da temperatura na parede, os deslocamentos horizontal na face aquecida e deformada global que dão uma noção do modo de ruptura da estrutura.

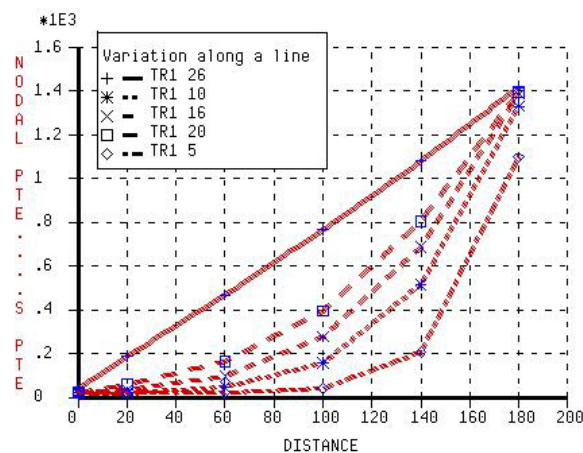


Figure 7: Distribuição e evolução das temperaturas na seção transversal

A Figura 7 apresenta a evolução das temperaturas em diferentes pontos da seção transversal

da parede no processo transiente de aquecimento. As cinco curvas correspondem aos tempos de 14 min (TR1 5), 30 min (TR1 10), 44 min (TR1 16), 60 min (TR1 20) e 240 min (TR1 26). Nestas etapas e como nos restantes, as temperaturas são convertidas em cargas térmicas nodais de acordo com a "Eq. (5)" e somadas, caso existirem, às cargas externas. Resolve-se então o problema clássico de elementos finitos para determinar os deslocamentos e, a partir destes, as tensões.

A análise proposta procura observar a influência da ação do fogo decorrente de um incêndio sobre o comportamento global da estrutural. Para a temperatura ambiente, o o esquema estrutural da Fig. 6 exibe um comportamento simétrico onde as paredes são submetidas a compressão centrada. Com a ação das altas temperaturas o aquecimento diferencial provoca alongamento no lado aquecido, aumentando a compressão no outro lado. Este processo tende a mudar totalmente a deformada da estrutura que passa a exibir segundo a situação considerada um dos casos da Fig. 8.

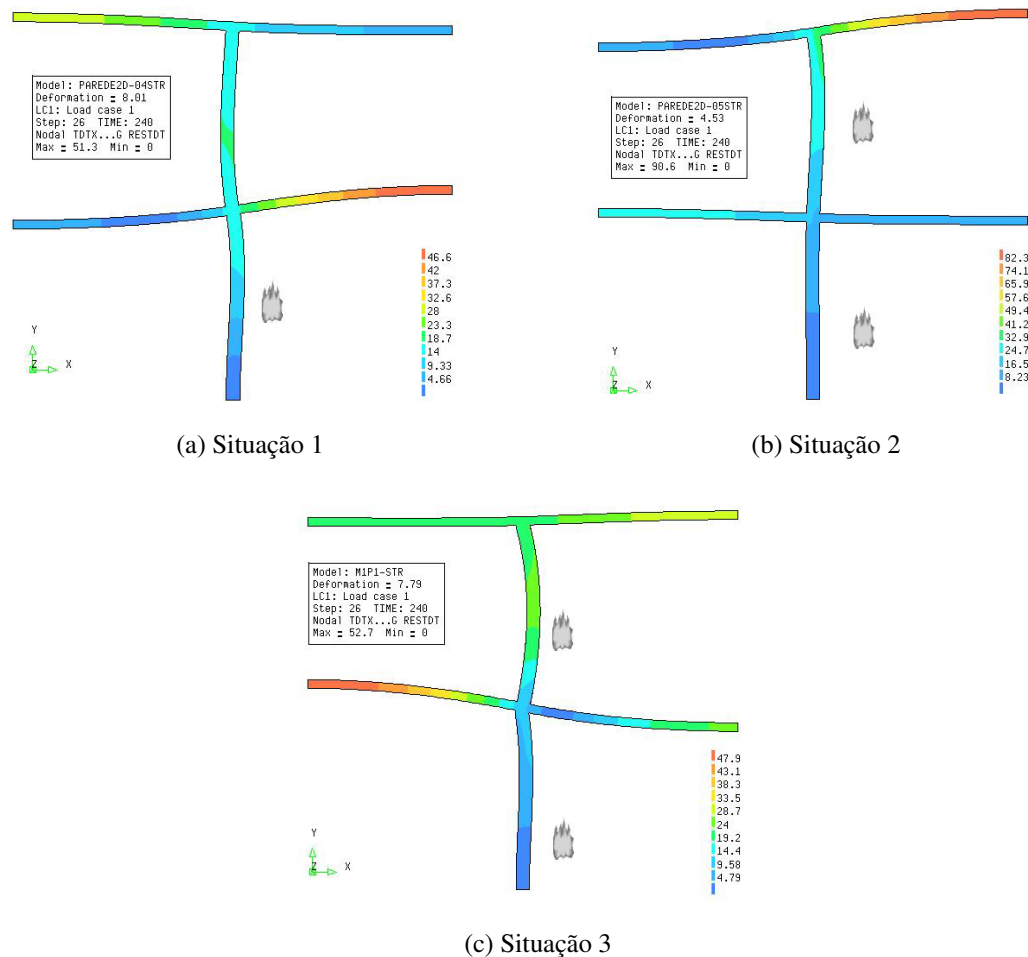


Figure 8: Deslocamentos totais na configuração deformada

Cabem várias observações tanto em relação a ação das temperaturas quanto a ação das

cargas aplicadas. O comportamento é também afetado pelo tipo de ligação. Na situação da Fig. 9(b) onde as paredes são aquecidas nos dois pavimentos tem-se quase uma reversão na curvatura provocada pelas temperatura como já observaram Nadjai et al.(2003), isso devido a ação das cargas aplicadas que provocam uma rotação no sentido contrário.

Na situação representada na Fig. 8(c) a presença de elementos de interface libera a rotação entre as lajes e o topo das paredes. Observa-se que as duas paredes apresentam uma curvatura no lado aquecido. Também nota-se que as cargas externas do segundo pavimento reduzem o efeito das cargas térmicas. Isso vai acontecer sempre que houver uma resultante de cargas externas aplicada na parede aquecida. A magnitude da redução dependerá tanto da intensidade da resultante quanto de sua excentricidade em relação ao centróide da parede.

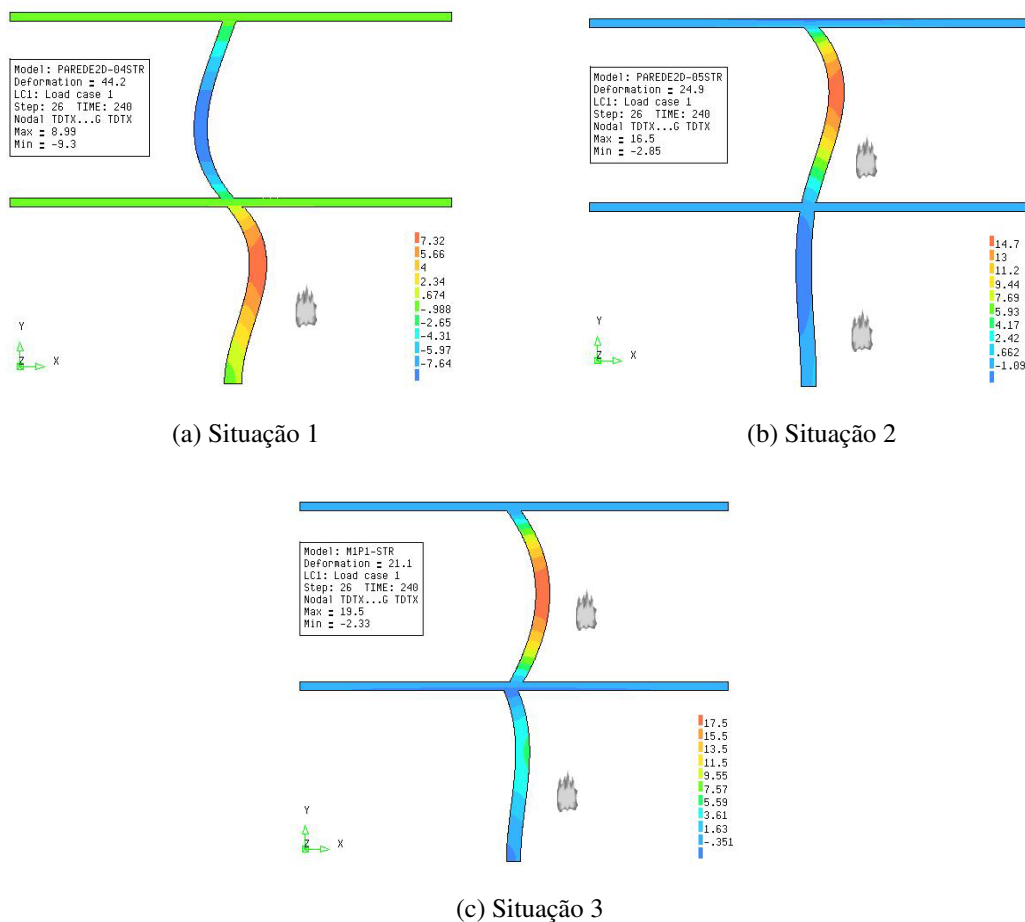


Figure 9: Deslocamentos na direção x na configuração deformada

A Figura 9 mostra os valores dos deslocamentos horizontais, variável utilizada para a verificação do critério de resistência mecânica de acordo com a "Eq.(6)". Nos três casos é possível identificar a região da parede onde ocorre o maior deslocamento transversal. Vale destacar o que foi explicado anteriormente: a deformada é influenciada pelo tipo de ligação entre laje e parede. Os valores dos deslocamentos, que parecem muito abaixo do limite da "Eq.(6)" mencionada an-

teriormente, isso porque, nessa etapa de verificação de consistência do procedimento de análise, foram consideradas as tensões elásticas. Uma análise mais completa levando em consideração a dependência dos materiais em relação a evolução das temperatura no tempo deve conduzir a valores mais realistas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A complexidade e o custo elevado dos equipamentos tem forçado a comunidade científica a procurar alternativa para contornar as dificuldades que envolve a realização do ensaio de resistência ao fogo, tal preconizado pela ABNT (NBR 5628:2012). Neste artigo apresentou-se um procedimento para a simulação do mesmo. A proposta é criar condições para a consideração da carga de incêndio que foi considerado apropriado. Assim será possível definir uma curva de aquecimento mais consistente visto que a norma exige que o ensaio seja realizado nas mesmas condições de serviço do elemento estrutural. A utilização do programa FDS (Fire Dynamic Simulations) se mostrou uma ferramenta adequada para esta determinação mostrando que depende da distribuição dos queimadores no interior do forno é possível ocorrer zonas de aquecimento que provocariam um aquecimento desigual na superfície da parede. Isso significa que o programa pode ser também utilizado para definir a posição de queimadores para uma curva de aquecimento mais ou menos uniforme.

As outras duas etapas de análise para avaliar o acoplamento termo-mecânico evidenciaram aspectos interessantes tanto no que diz respeito a reprodução do ensaio quanto a utilização dos resultados de ensaio para a análise da parede na em situação de incêndio na edificação. Mostraram, também, que dois fatores podem afetar fortemente o comportamento global da edificação, que no caso deste trabalho foi representado por um pórtico, sendo eles a carga dos pavimentos superiores e o tipo de ligação parede-laje. As situações analisadas mostraram que diferentes combinações destes fatores podem levar a modos de ruptura muito diferentes. Isso pode afetar bastante o dimensionamento da estrutura.

Os resultados foram analisados neste estudo mais do ponto de vista qualitativa do que quantitativa, isso porque foram utilizados, por um lado, valores genéricos encontrados na literatura sobre propriedades térmicas de componentes de alvenaria e por outro lado, não foi feito uma análise transiente com dependência das propriedades dos materiais em relação a temperatura. Fazendo tais considerações será possível fazer uma análise quantitativa e determinar a capacidade residual de uma parede após um determinado tempo de desenvolvimento de um incêndio com uma carga térmica dada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14432:2000 Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2001. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5628:1980 Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo*. Rio de Janeiro, 2012. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15200:2004 Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2004. 14 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Fire Resistance Tests - Elements of Building Construction - ISO 834-1*. Geneva: ISO/TC, 1990.

Cooke, G. M. E., Thermal bowing and how it affects the design of separating constructions *Interflam 88, Fourth Int. Fire Conf.* 22-24, March, Church College Cambridge, 1988, pp. 230-236.

Forney G. P., 2005. Modeling And Visualizing Fire Without Getting Burned. *MCSD Seminar / National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg, MD, EUA.

Jones W., Peacock R.D., Forney G.P., Reneke P.A. (2005). *CFAST - Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport*. NISTIR 1026, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, EUA.

Nadjai A., O'Gara M. E., Ali F., 2003. Finite Element Modelling of compartment masonry wall in fire. *International Journal of Computer and Structures*, vol. 81, 2003, pp. 1923-1930.

Nguyen, T. D., Meftah F., Chammass R., mebarki A., 2009. The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks. *Fire Safety Journal*, 44, 2009, pp. 629-641.