FISSURAS NA ALVENARIA DE VEDAÇÃO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

Mata, R.C.[1], Lemes, A.G.P.[2]

1 Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Professor Adjunto I, Doutor, e-mail: rodrigo.c@pucgoias.edu.br
2 Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Discente, Engenheiro Civil, e-mail: acacio_gpl@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho trata de fissuras na alvenaria de vedação em edifícios residenciais, visando identificar os principais focos com o intuito de evitá-las de forma prática e econômica. Inicialmente foi feito um estudo identificando as fissuras que se manifestam com mais frequência no contorno dos vãos de portas e janelas. Na sequência, realizou-se um estudo numérico, com a utilização do programa comercial SAP 2000 (versão educativa), para analisar qualitativamente as principais causas e pontos de concentração de tensões pelo Método dos Elementos Finitos (MEF). Por fim, foram analisados alguns casos propondo a melhor solução a ser executada.

Palavras chave: Alvenaria de vedação; Patologia das edificações; análise de tensões.

ABSTRACT

This paper deals with the study of cracked in masonry in residential buildings, to identify the main focus in order to avoid them in a practical and economical way. At first, a study was carried out in order to identify the cracks that appear more frequently on boundary doorways and windows. Subsequently, a numerical study was performed using the commercial program SAP 2000 (student version), to qualitatively analyze the main stress concentration regions using the Finite Element Method (FEM). Finally, some case studies were analyzed and constructive solutions were proposed.

Keywords: Masonry wall, Building Pathology, Stress Analysis.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil vive um dos melhores momentos nos últimos anos, a quantidade e a rapidez com que se realizam obras é simplesmente extraordinário. Porém, existem consequências disso, que analisando pelo lado negativo, destacamos a falta da mão de obra qualificada e problemas oriundos da rápida execução das obras, implicando as manifestações patológicas na edificação.

A alvenaria de vedação, por não ter função estrutural, não recebe a importância devida, tornando-se a principal vítima de problemas patológicos causados na maioria das vezes devido à abertura de vãos de portas e janelas.

Problemas patológicos causam grandes transtornos devido a dificuldade para devida recuperação e também o descontentamento e desconfiança por parte do cliente e/ou usuário. Sendo assim, as construtoras vêm buscando evitar problemas tais manifestações patológicos, de uma maneira rápida e barata, como o modelo de construção civil exige atualmente.

Este trabalho tem como objetivo estudar a ocorrência de fissuras em edifícios residenciais, restritamente na alvenaria de vedação devido à abertura de vãos, identificando as suas principais causas e propondo soluções através do estudo de disposições de vergas e contra-vergas em uma análise elástico linear pelo Método dos Elementos Finitos.

2. ALVENARIA

2.1 Funções das alvenarias

A principal função de uma alvenaria é de estabelecer a separação entre ambientes, sendo que a alvenaria externa é a que tem a responsabilidade de separar o ambiente externo do interno. Para cumprir esta função, esta deverá atuar sempre como freio, barreira e filtro seletivo, controlando uma série de ações e movimentos complexos quase sempre de origens de difícil determinação.

2.2 Patologias em alvenarias de vedação

Entre as manifestações patológicas mais comuns em alvenaria de vedação destacam-se fissuração, formação de eflorescência, penetração de água em fachada e descolamento de revestimento. No entanto, a fissuração é a mais frequente.

Isso ocorre, pois o material cerâmico, o concreto e as demais matérias-primas utilizadas na fabricação de blocos e tijolos, assim como a argamassa de assentamento são materiais frágeis e de baixa resistência à tração. Como a alvenaria é um conjunto de unidades unidas por juntas de argamassa, ela apresenta essas mesmas características mecânicas. Além disso, a resistência

à tração nas interfaces entre as unidades e a argamassa é muito baixa, podendo causar à separação entre elas.

As fissuras podem ser causadas por diversos fatores, tais como o baixo desempenho às solicitações de tração, flexão e cisalhamento apresentado pelos componentes da alvenaria, a retração da argamassa, as diferenças entre as propriedades mecânicas (resistência mecânica, módulo de deformação longitudinal, coeficiente de Poisson, dilatação térmica, e etc.) dos materiais constituintes, recalque de fundação, e etc.

Classificar as fissuras de acordo com a abertura, espaçamento e, quando possível, a época de ocorrência em relação à execução e descobrir suas causas auxiliam de forma significativa à identificação de sua origem e definição de um tratamento adequado para a recuperação da alvenaria.

Grande parte dos problemas de desempenho das construções poderia ser evitada com a utilização de materiais, técnicas, procedimentos e normas adequadas.

As fissuras podem se desenvolver nas direções horizontal, vertical, diagonal ou uma combinação destas. Quando a resistência à tração da unidade for inferior à resistência à tração da argamassa a fissura ocorrerá de forma retilínea, caso contrário ocorrerá de forma escalonada. Essa forma pode ainda sofrer influência de outros fatores como rigidez relativa das juntas com relação às unidades, restrições da parede, existência de aberturas ou outros pontos frágeis e a causa da fissura.

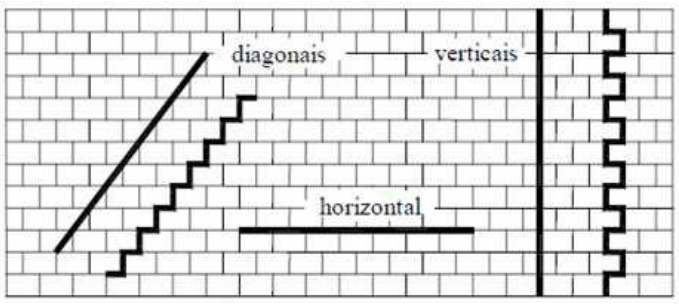


Figura 1: Configurações básicas das fissuras em alvenaria (HOLANDA, 2002).

2.3 Classificação das fissuras quanto às causas

Movimentação térmica

Os elementos e componentes de uma construção estão sujeitos a variações de temperatura, sejam elas sazonais e/ou diárias. Essas variações repercutem numa variação dimensional dos materiais de construção (dilatação ou contração). Os movimentos de dilatação e contração são restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os elementos e componentes,

desenvolvendo-se nos materiais, por este motivo, tensões que poderão provocar o aparecimento de fissuras (ver Figura 2).

As movimentações térmicas de um material estão relacionadas com as propriedades físicas do mesmo e com a intensidade da variação da temperatura. A magnitude das tensões desenvolvidas é função da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto pelos vínculos a esta movimentação e das propriedades elásticas do material.

As trincas de origem térmica podem também surgir por movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material. As principais movimentações diferenciadas ocorrem em função de:

- Junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, sujeitos às mesmas variações de temperatura (por exemplo, movimentações diferenciadas entre argamassa de assentamento e componentes de alvenaria);
- Exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais (por exemplo, cobertura em relação às paredes de uma edificação);
- Gradiente de temperatura ao longo de um mesmo componente (por exemplo, gradiente entre a face exposta e a face protegida de uma laje de cobertura).

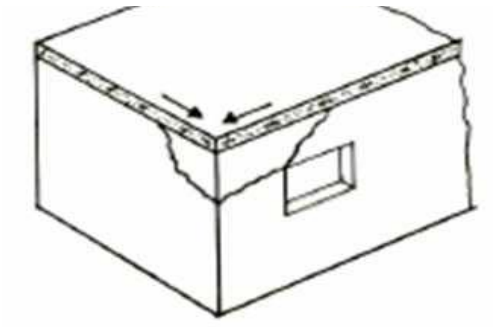


Figura 2: Trincas de cisalhamento provocadas por expansão térmica da laje de cobertura (THOMAZ, 2003).

No caso das movimentações térmicas diferenciadas é importante considerar-se não só a amplitude da movimentação, como também a rapidez com que esta ocorre. Se ela for gradual e lenta muitas vezes um material que apresenta menor resposta ou que é menos solicitado às variações da temperatura é capaz de absorver movimentações mais intensas do que um material ou componente a ele justaposto. O mesmo pode não ocorrer se a movimentação for brusca.

Por outro lado, alguns materiais também podem sofrer fadiga pela ação de ciclos alternados de carregamento-descarregamento ou por solicitações alternadas de tração-compressão. Pode-se equacionar o fenômeno da fadiga através de métodos muito sofisticados de cálculo

dinâmico, devendo-se considerar, nesse caso, a frequência e a amplitude das tensões solicitantes.

Atuação de sobrecargas

A atuação de sobrecargas pode produzir a fissuração de componentes estruturais, tais como pilares, vigas e paredes. Essas sobrecargas atuantes podem ter sido consideradas no projeto estrutural, no caso em que a falha decorre da execução da peça ou do próprio cálculo estrutural ainda estar ocorrendo o aumento da solicitação da peça por uma sobrecarga superior à prevista. Vale frisar ainda que não raras vezes em que se pode presenciar a atuação de sobrecargas em componentes sem função estrutural, geralmente pela deformação da estrutura resistente do edifício ou pela sua má utilização.

As fissuras que ocorrem em peças de concreto armado geralmente apresentam aberturas bastante reduzidas. O dimensionamento no Estádio III de peças de concreto armado fletidas leva em conta o aparecimento dessas fissuras. Na Figura 3 é apresentada uma configuração destas manifestações ocorridas por sobrecargas.

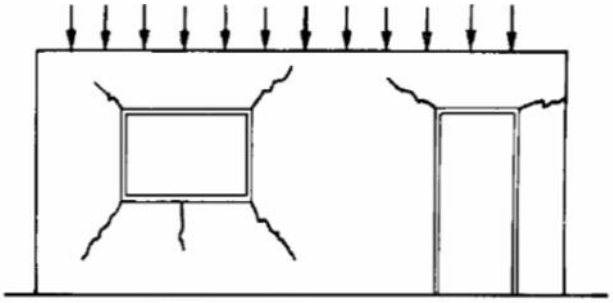


Figura 3: Fissuração típica (real) nos cantos das aberturas sob atuação de sobrecargas (THOMAZ, 2003).

Deslocabilidade excessiva de estruturas de concreto armado

Vigas e lajes deslocam-se naturalmente sob ação do peso próprio, das cargas permanentes e acidentais e mesmo sob efeito da retração e da deformação lenta do concreto. Os componentes estruturais admitem flechas que podem não comprometer em nada sua própria estética, a estabilidade e a resistência da construção tais como o aparecimento de fissuras. Entretanto, podem ser incompatíveis com a capacidade de deslocamento de paredes ou outros componentes que integram os edifícios.

A norma brasileira para projeto e execução de obras de concreto armado estipula as máximas flechas permissíveis para vigas e lajes (ABNT NBR 6118, 2007 - alínea C, item 4.2.3.1):

a) As flechas medidas a partir do plano que contém os apoios, quando atuarem todas as ações, não ultrapassarão 1/300 do vão teórico, exceto no caso de balanços para os quais não ultrapassarão 1/150 do seu comprimento teórico.

b) O deslocamento causado pelas cargas acidentais não será superior a 1/500 do vão teórico e 1/250 do comprimento teórico dos balanços.

Ainda no item 4.2.3 da ABNT NBR 6118 (2007), estipula que no cálculo das flechas deverão ser levadas em conta a retração e a deformação lenta do concreto. Faz-se uma breve menção de que no projeto, especial atenção deverá ser dada a verificação da possibilidade de ser atingido o estado de deformação excessiva, a fim de que as deformações não possam ser prejudiciais à estrutura ou a outras partes da construção.

Na prática, parece que essa recomendação da ABNT NBR 6118 (2007) e também da ABNT NBR 15575 (2013) não tem recebida devida atenção por parte dos projetistas, presenciando-se frequentemente casos de fissuras em alvenarias provocadas pelas flechas dos componentes estruturais. Atendidos os critérios de segurança, faz-se em geral a verificação das flechas no regime elástico, sem considerar-se a fissuração da peça e a deformação lenta do concreto. Nesse último aspecto, normalmente são negligenciadas considerações sobre as propriedades reológicas do concreto a ser empregado, as condições climáticas do local da obra e a idade em que a estrutura será colocada em serviço.

Ao que tudo indica, as alvenarias são componentes da obra mais suscetíveis à ocorrência de fissuras pela deformação do suporte.

Não existe um consenso sobre os valores admissíveis das flechas, quer para vigas ou lajes onde serão apoiadas alvenarias, que para lajes sobre as quais serão executados pisos cerâmicos (a deflexão da laje pode provocar o destacamento dos ladrilhos). Os valores anteriormente comentados são, contudo, muito inferiores aos de flechas admitidos pela ABNT NBR 6118 (2007). Existe, na realidade, a necessidade de que sejam efetuados prolongados estudos práticos, através dos quais se poderão compatibilizar as deformações das estruturas com as dos demais componentes da construção.

Como apresentado na Figura 4, uma configuração típica de trincas causadas por esse fenômeno é:

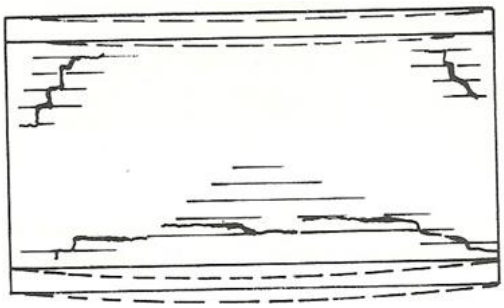


Figura 4: Trincas em parede de vedação: deformação do suporte maior que a deformação da viga superior (THOMAZ, 2003).

Recalque de fundação

De maneira geral, as fissuras provocadas por recalques diferenciados são inclinadas, confundindo-se às vezes com as fissuras provocadas por deflexão de componentes estruturais. Em relação às primeiras, contudo, apresentam aberturas geralmente maiores, deitando-se em direção ao ponto onde ocorreu o maior recalque. Outra característica das fissuras provocadas por recalques é a presença de esmagamentos localizados, em forma de escamas, dando indícios das tensões de cisalhamento que as provocaram. Além disso, quando os recalques são acentuados, observa-se nitidamente uma variação na abertura da fissura. Os recalques diferenciados podem provir de carregamentos desbalanceados.

Segundo THOMAZ (2003), os recalques podem acontecer por recalque diferenciado, fundações assentadas sobre seções de corte e aterro, recalque diferenciado no edifício menor pela interferência no seu bulbo de tensões (em função da construção do edifício maior), recalque diferenciado e recalque diferenciado devido o rebaixamento do lençol freático.

Retração

Segundo SCARTEZNI (2002 *apud* RICHTER(2007), a retração é um fenômeno físico onde os materiais com base cimentícia, inicialmente em estado plástico, têm uma redução de seu volume causado pelas condições de umidade do sistema e a evolução da matriz do cimento.

Essa retração pode causar fissuração devido à rotação nas fiadas de blocos próximos a laje causada por seu encurtamento. Por esse motivo, a configuração mais comum de fissuras causadas por retração são as fissuras horizontais que se localizam logo abaixo das lajes ou em cantos superiores dos caixilhos.

Segundo THOMAZ (1988 *apud* RICHTER (2007), além das fissuras causadas pela retração das lajes existe as fissuras mapeadas que são fissuras de retração no revestimento em argamassa (ver Figura 5). Os principais fatores que influenciam no aparecimento desse tipo de fissura são: consumo de aglomerante, porcentagem de finos existentes na mistura e teor de água de amassamento. Além desses, outros fatores como a má aderência entre a argamassa e a base, a espessura delas, o tempo de aplicação entre uma e outra, a rápida perda de água durante o endurecimento devido a vento ou insolação também influenciam em seu aparecimento.

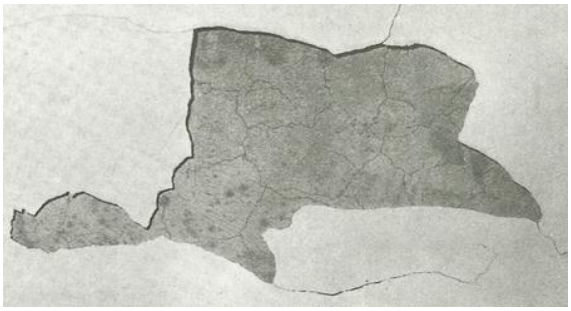


Figura 5: Fissuras de retração no revestimento em argamassa (THOMAZ, 2003).

2.4 Prevenção

A prevenção de fissuras nos edifícios, como não poderia deixar de ser, passa obrigatoriamente por todas as regras de bem planejar, bem projetar e bem construir. Mais ainda, exige um controle sistemático e eficiente da qualidade dos materiais e dos serviços, uma perfeita harmonia entre os diversos projetos executivos, estocagem e manuseio corretos dos materiais e componentes no canteiro de obras, utilização e manutenção corretas do edifício etc.

É muito extensa a relação de medidas preventivas que podem ser consideradas, algumas delas não implicando praticamente a oneração do custo do edifício. Pode-se argumentar que a maioria das medidas preventivas são demasiadamente caras, incompatíveis com o poder de compra dos nossos consumidores de edificações. Pode-se contra argumentar, entretanto, que o custo de um edifício não se restringe ao seu custo inicial, mas também ao seu custo de operação e manutenção, e que não prevenir a ocorrência de trincas ou outras patologias é uma medida puramente financeira ou comercial, nem técnicas e nem econômica. Os usuários de edifícios, infortunadamente, quase sempre não sabem disso e ainda os engenheiros e arquitetos, lamentavelmente, nem sempre recordam (THOMAZ, 2003).

3. MODELAGEM NUMÉRICA

O procedimento de modelagem numérica consiste na montagem de um modelo que represente numericamente a geometria, as propriedades e os parâmetros da estrutura para em seguida realizar o processamento através do qual se obtém os resultados.

Para a realização desse estudo foi utilizada a estratégia de modelagem numérica, conforme LOURENÇO (ano *apud* Mata, 2011) definida como macro-modelagem.

Define-se como macro-modelagem os seguintes procedimentos: unidades, argamassas e interface unidade-argamassa são consideradas em conjunto como um meio contínuo. Adota-se um único material homogêneo, contínuo e anisotrópico (ou isotrópico por simplificação), capaz de representar um comportamento médio de alvenaria. A grande vantagem desse

processo é que não é necessário representar cada unidade e cada junta de argamassa da alvenaria.

Para os modelos analisados considerou-se o material alvenaria como sendo isotrópico, homogêneo e elástico-linear.

Para as análises foi utilizado o programa computacional SAP 2000 (versão educativa) baseado no Método dos Elementos Finitos.

Nos itens a seguir são apresentados os dados de entrada e os procedimentos utilizados para realização das análises dos modelos propostos neste trabalho.

3.1 Dados de entrada – propriedade dos materiais

Os dados de entrada estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Dados de entrada do modelo numérico.

Material	Parâmetro	Valor	Fonte
Alvenaria de Vedação	$\mathbf{f_k}$ – Resistência a compressão característica	1,3 MPa	ABNT NBR 15812-1 (2010)
	$\mathbf{E_{ALV}}$ - Módulo de Elasticidade Longitudinal	780 MPa	
	ν - Coeficiente de Poisson	0,20	
	Espessura do painel	90mm	Dados de projeto
	Altura do painel	2880mm	
Verga de concreto armado	$\mathbf{E_{CON}}$ - Módulo de Elasticidade Longitudinal	25 GPa	ABNT NBR 6118 (2007)
	ν - Coeficiente de Poisson	0,20	
Aço	$\mathbf{E_{ACO}}$ - Módulo de Elasticidade Longitudinal	205 GPa	ABNT NBR 6118 (2007)
	ν - Coeficiente de Poisson	0,20	
Carregamento no topo dos painéis	Carregamento linear de ruptura a compressão	117 N/mm	Este trabalho
	Carregamento linear de ruptura no regime elástico linear (50% ruptura)	58 N/mm	

3.2 Tipologia de modelos estudados

3.2.1 Painel de alvenaria de vedação com abertura típica de janela

Foram realizadas duas análises relativas à tipologia de painel de alvenaria com abertura de janela com dimensões comerciais de 1,20m x 1,20m. No primeiro modelo (Figura 6a) apresentam-se as tensões no painel sem a utilização de verga e contra-verga. No segundo modelo (Figura 6b) apresentam-se as tensões no painel com a utilização de verga e contra-

verga, nas quais essas estão inseridas na parte superior da abertura (verga) e na parte inferior da abertura (contra-verga).

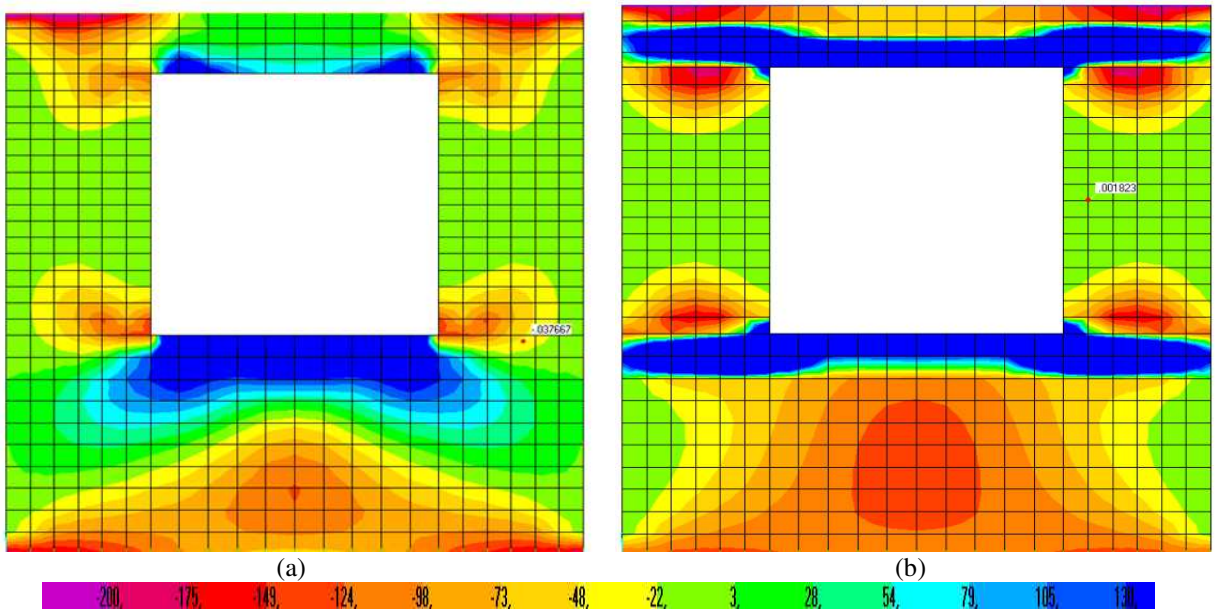


Figura 6 - Distribuição de tensões nos painéis (tensões em Pa). (a) Painel sem verga e contra-verga; (b) Painel com verga e contra-verga.

No painel sem verga e contra-verga (Figura 6a) observa-se a concentração de tensão de tração na parte superior e inferior do vão, nas quais este modelo apresenta valores máximos a tração próximos a 1,13MPa. Esses valores podem gerar a ruptura da alvenaria a tração, haja vista que segundo a literatura a resistência a tração da alvenaria é da ordem de 10% da resistência à compressão da alvenaria (MATA, 2011), em que neste estudo a resistência a compressão da alvenaria é da ordem de 1,3 MPa, assim sendo tensão máxima a tração será de 0,13MPa.

Já no painel na qual são inseridos os elementos de verga e contra-verga, as tensões de tração tendem a acentuam-se na região destes elementos, na qual tais elementos são executados em concreto armado, logo resistentes a essas tensões. É possível observar também que abaixo destes elementos a alvenaria está submetida somente a tensões de compressão. Dessa forma, as tensões de tração são direcionadas para os elementos de verga e contra-verga e as tensões de compressão são direcionadas para os elementos de alvenaria.

3.2.2 Painel de alvenaria de vedação com abertura típica de porta

Com o objetivo de verificar o comportamento com aberturas de portas, foram realizadas análises numéricas de dois painéis com abertura de porta igual a 1,20m de largura e 2,10m de altura. No primeiro modelo (Figura 7a) apresentam-se as tensões no painel sem a utilização de verga. O segundo modelo (Figura 7b) apresenta-se as tensões no painel com a utilização de verga, nas quais essas estão inseridas na parte superior da abertura.

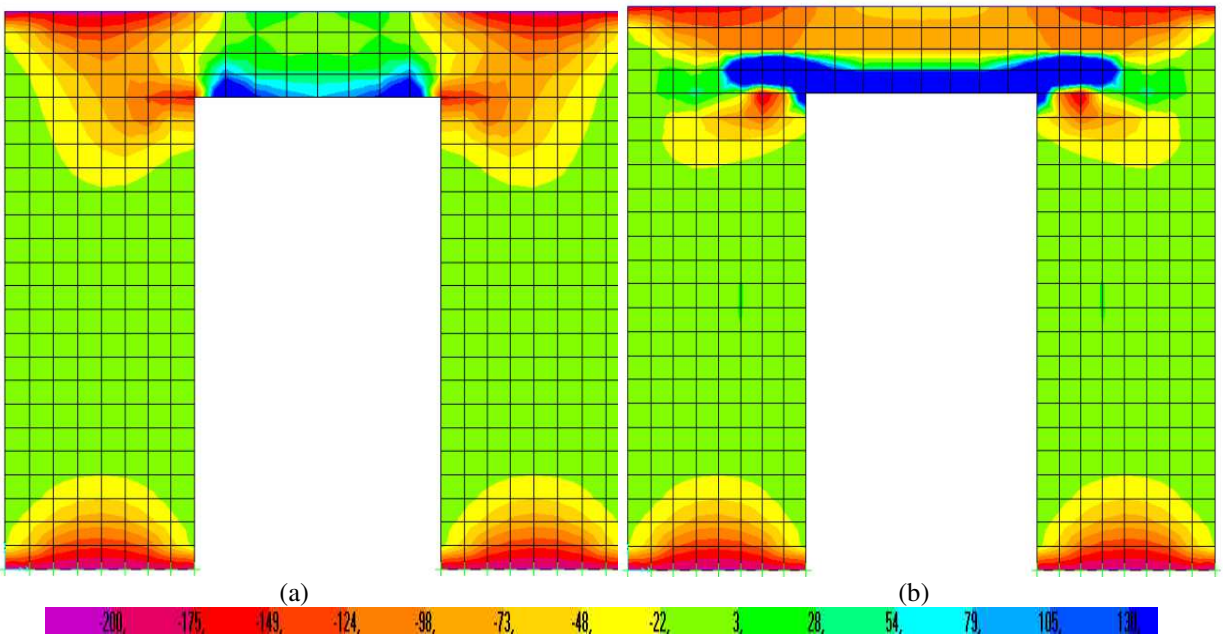


Figura 7 - Distribuição de tensões nos painéis (tensões em Pa). (a) Painel sem verga; (b) Painel com verga.

No painel sem verga (Figura 7a) observa-se a concentração de tensões de tração na parte superior do vão, as quais podem gerar rupturas localizadas à tração da alvenaria. No painel da Figura 7b, na qual foi inserida uma verga de concreto armado no topo da abertura, as tensões de tração tendem a acentuam-se na região deste elemento. É possível observar também que, do mesmo modo com os painéis com abertura de janela, abaixo da verga a alvenaria está submetida somente a tensões de compressão. Dessa forma, as tensões de tração são direcionadas para o elemento de verga e as tensões de compressão são direcionadas para os elementos de alvenaria.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como objetivo estudar os principais tipos de fissuras na alvenaria de vedação em edifícios residenciais causadas pela abertura de vãos de portas e janelas, sendo essas as principais causas de ocorrências de patologias na alvenaria. Para isso foram feitos modelos numéricos que pudessem representar numericamente o comportamento mecânico do painel de alvenaria submetido à compressão. As variáveis verga e contra-verga foram inseridas com o objetivo de identificar a influência dessas peças estruturas no comportamento mecânico dos painéis à compressão axial.

Com base nos resultados apresentados conclui-se que com a ausência de verga e contra-verga em abertura de painéis de alvenaria ocorrerão concentrações de tensões de tração nas arestas das aberturas, que acarretarão no surgimento de fissuras oriundas da ruptura da alvenaria. Dessa forma, sugere-se que em todas as aberturas possam ser utilizados essas peças

estruturais com o objetivo de resistir os esforços de tração que surgirão nas arestas das aberturas da alvenaria.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-1: Alvenaria Estrutural - Blocos cerâmicos – Parte 1: Projetos**. Rio de Janeiro, 2010.

HOLANDA Júnior, O. G. de. **Influência de recalques em edifícios de alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MATA, R.C. **Análise experimental e numérica do comportamento de junta em painéis de contraventamento de alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007

THOMAZ, É.. **Trincas em edifícios**. São Paulo, 2003. (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Instituto de Pesquisas Tecnológicas – 1989).