

COLAPSO DE PAVIMENTO ELEVADO NUM EDIFÍCIO HABITADO - CAUSAS E MEDIDAS DE SEGURANÇA IMEDIATAS

COLLAPSE OF A BEAM AND BLOCK SLAB IN A HABITED BUILDING - CAUSES AND TEMPORARY SAFETY MEASURES

F. F. S. Pinho¹

¹CEris, ICIST, Departamento de Engenharia Civil, Universidade NOVA de Lisboa



RESUMO

Na segunda metade do século XX, os edifícios de pequeno (e, nalguns casos, médio) porte, com pavimentos pré-fabricados à base de vigotas pré-esforçadas, blocos de preenchimento e betão complementar, e alvenaria confinada, foram construídos em larga escala em Portugal. Quando, mais tarde, por razões de aumento de áreas habitáveis (“junção” de espaços) ou outras, se eliminam paredes entre compartimentos neste tipo de construções, pode-se estar a iniciar um processo de comprometimento da segurança local ou global do edifício, nalguns casos com efeitos muito graves. A presente comunicação apresenta as conclusões de um trabalho realizado pelo DEC FCT UNL, na sequência do colapso de uma “laje de vigotas pré-esforçadas” do pavimento do 3º andar de um edifício habitado, na região de Lisboa, e refere as medidas de segurança imediatas implementadas após o colapso, até à reconstrução da referida laje.

ABSTRACT

In the second half of the twentieth century, buildings of small (and in some cases, medium) size, with beam and block slabs were built on a large quantity in Portugal. If some walls, between interior compartments, are eliminated to increase areas, it may lead to a reduction of the local or global safety of such buildings, in some cases with very serious consequences. This paper presents the main conclusions of a study produced in FCT UNL, about the collapse of a beam and block slab of a four-story residential building, near Lisbon, including some temporary safety measures before the reconstruction of the referred slab.

1. INTRODUÇÃO

As lajes pré-fabricadas surgiram na década de 40 do século passado, como alternativa crescente a uma parte das lajes de betão armado betonadas *in situ*. Esta (na altura) *nova* solução construtiva, caracteriza-se pela existência de nervuras pré-fabricadas dispostas paralelamente (vigotas), nas quais apoiam elementos de

aligeiramento (abobadilhas, blocos de preenchimento ou de cofragem), sendo o conjunto reforçado por nervuras de “betão armado” perpendiculares às vigotas (tarugos), afastados entre si cerca de 2m, em média, e, por fim, solidarizado por uma camada de betão de enchimento (lâmina de compressão) com função resistente, armada com uma armadura de distribuição, com

cerca de 5cm de espessura média, betonada em conjunto com os tarugos.

Os pavimentos, utilizando, no início, vigotas de betão armado, sem pré-esforço, foram mais tarde melhorados com a introdução das vigotas pré-esforçadas (ou pré-tensionadas), Camposinhos e Neves (2005), fig. 1.

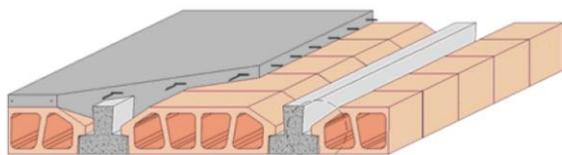


Fig. 1 – Representação esquemática de uma laje de vigotas pré-esforçadas, blocos de preenchimento e betão complementar, adaptado de Baião (2010)

Considerada na altura “não tradicional”, esta solução construtiva vulgarizou-se em edifícios de pequeno porte (2 a 3 pisos), e, nalguns casos, em edifícios até 7 a 8 pisos. Apresenta-se muitas vezes associada a paredes ortogonais de “alvenaria confinada”, caracterizada, no caso de edifícios de pequeno porte, por um sistema de paredes construídas entre montantes e cintas de pequena dimensão (secção) e ligeiramente armados, sem intenção de se comportarem como uma estrutura rígida ou porticada; nos edifícios de maiores dimensões em altura, os montantes e lintéis são substituídos por pilares e vigas de betão armado (BA), mantendo-se a estrutura das lajes – o que, em certos casos, pode comprometer o comportamento global do edifício a ações horizontais, devido a uma menor rigidez no plano destas lajes aligeiradas quando comparadas com lajes maciças de BA.

Os elementos de confinamento da alvenaria podem ser executados após a elevação das paredes, podendo ser embutidos no seu interior ou, pelo contrário, betonados antes da construção das paredes, utilizando cofragem. Os eurocódigos apresentam requisitos mínimos para as armaduras e dimensões dos elementos de confinamento, e recomendações de execução, Gouveia et al. (2007).

As paredes de alvenaria desempenham uma função resistente muito importante

nestes edifícios, quer às ações verticais, suportando grande parte das cargas transmitidas pelas lajes (apoios das vigotas), quer às ações horizontais, funcionando como elementos de contraventamento e dissipação de energia.

Neste enquadramento, a presente comunicação, tendo por base um parecer realizado pelo autor para a CM do Seixal (CMS), sobre as “causas de colapso estrutural parcial de pavimento do edifício ...” localizado neste concelho, identifica a razão do colapso da referida laje e expõe brevemente as medidas de segurança imediatas sugeridas após o colapso, para acautelar a estabilidade estrutural de uma parede que ficou “suspensa” na sequência da queda da laje em que apoiava, e de outros elementos do edifício até à reconstrução da laje colapsada.

A comunicação pretende também alertar para possíveis consequências da remoção de paredes divisórias neste tipo de construções.

As imagens incluídas no texto (exceto as figs. 1 e 9) foram disponibilizadas pela CMS.

2 BREVE CARATERIZAÇÃO ARQUITETÓNICA E ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO

De acordo com elementos do projeto (fig. 3), e como verificado no local, o edifício é constituído por quatro pisos (r/ chão e três pisos elevados), com dois apartamentos por piso, e sótão.

Da análise das peças escritas, concluiu-se que a conceção estrutural/construtiva do edifício evoluiu ao longo do tempo, até à solução definitiva, como se sintetiza em seguida:

- a) na “*Memória Descritiva e Justificativa*” (MDJ) de novembro de 1959, refere-se que o edifício assenta em fundações de “*pedra rija, argamassada a cimento e areia ao traço 1/7, até terreno firme, descendo as dos pilares de betão armado mais 0,30m*”. As paredes “*de elevação*” e as paredes interiores são de “*alvenaria de tijolo de 8 furos argamassada a cimento e areia ao traço*”

de 1/7, assentes em estrutura de betão armado”. Os pavimentos são “a tacos de madeira de 1ª qualidade assentes em placa de tijolo isolador à excepção de cozinhas, casas de banho e corredores que serão em mosaicos hidráulicos assentes de igual modo”. A cobertura será em “telha tipo marselha, assente em estrutura de madeira com as secções habituais em trabalhos desta natureza”.

- b) na MDJ de outubro de 1961, referente “ao projecto de substituição (...)”, indica-se que, construtivamente, o edifício passou a ter as seguintes características: “fundações: alvenaria hidráulica de pedra rija; estrutura geral: betão armado; paredes exteriores: alvenaria de tijolo com espessura regulamentar; paredes interiores: alvenaria de tijolo a uma ou meia vez; coberturas: esteira de betão armado; (...)”.
- c) em abril de 1962, foi apresentada a MDJ relativa aos “cálculos de estabilidade (...)”, referindo que as lajes dos pavimentos são “lajes aligeiradas, do tipo “Premolde” e lajes maciças (em elementos de pequeno vão)”.
- d) em outubro de 1964 foi apresentada outra MDJ relativa ao “projecto das alterações (...) no prédio”, segundo a qual a solução estrutural passou a ser caracterizada por: “fundações: em pedra rija assente com argamassa de cimento e areia ao traço 1/5; paredes em elevação: tijolo furado assente com argamassa de cimento e areia ao traço 7/1; pavimento: betonilha afagada à colher na cor natural; cobertura: telha marselha assente em madeiramento de boa qualidade. (...)”

3. CARACTERIZAÇÃO DO DANO ESTRUTURAL OCORRIDO

O dano estrutural ocorrido em março de 2012 caracterizou-se: (i) pelo colapso total da laje de pavimento da sala do 3º andar dto e queda da mesma sobre o pavimento da sala do 2º andar dto, e (ii) colapso das vigotas e abobadilhas da laje de pavimento da cozinha do 3º andar dto e sua queda sobre a cozinha do 2º andar dto.

A parte da laje de pavimento da cozinha do 3º andar dto. (lâmina de compressão, figs. 2, 4, 8 e 9) que não colapsou, não tinha qualquer capacidade resistente, tendo-se sugerido, naturalmente, a sua demolição com a máxima brevidade.

Ambos os fogos (2º dto. e 3º dto.) eram habitados à data do acidente, o qual, segundo informação recebida, ocorreu na sequência de (durante) uma festa que decorria no 3º andar dto., estando na altura algumas pessoas concentradas na sala.



(a, b) – laje de pavimento da sala do 3º andar dto caída sobre a do 2º dto.; (c) – vista inferior do que restou do pavimento da cozinha do 3º andar dto. (em baixo: vigotas e abobadilhas caídas; em cima: lâmina de compressão).

Fig. 2 – Imagens da laje do pavimento do 3º andar dto caída sobre o 2º andar e da lâmina de compressão da laje do pavimento da cozinha do 3º andar dto., cujas vigotas colapsaram

Ao ouvirem o som da música proveniente do 3º andar, uma senhora e uma criança, sentindo-se desconfortáveis naquela circunstância, na sala do 2º andar dto., mudaram-se para outro local do apartamento, tendo a laje de pavimento e o recheio da sala do 3º andar dto., bem como as vigotas da cozinha, caído sobre 2º andar poucos instantes depois.

Também, de acordo com o relato, um dos convidados da referida festa, encontrando-se à janela da sala do 3º andar, teve necessidade de se segurar ao parapeito da janela, visto que o pavimento havia caído no piso inferior, juntamente com outras pessoas e objetos, fig. 2.

Em resultado deste acidente, várias pessoas foram transportadas ao hospital.

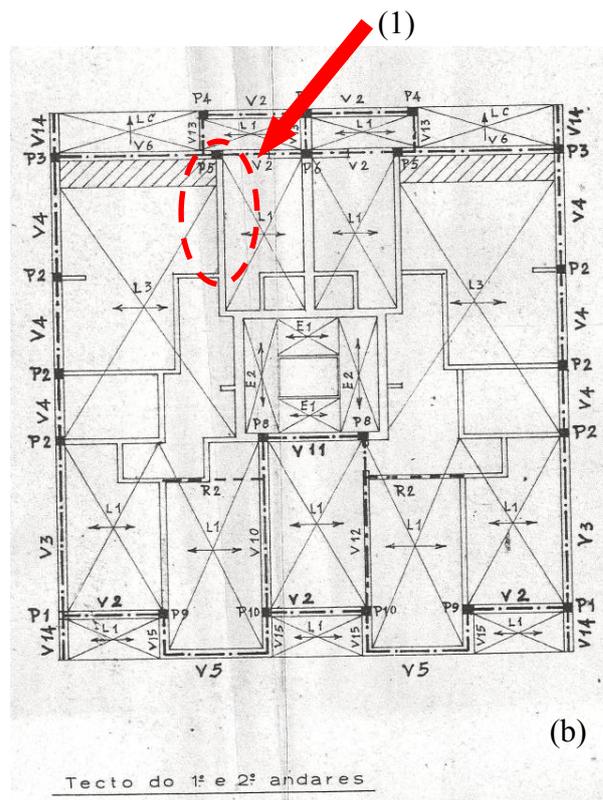
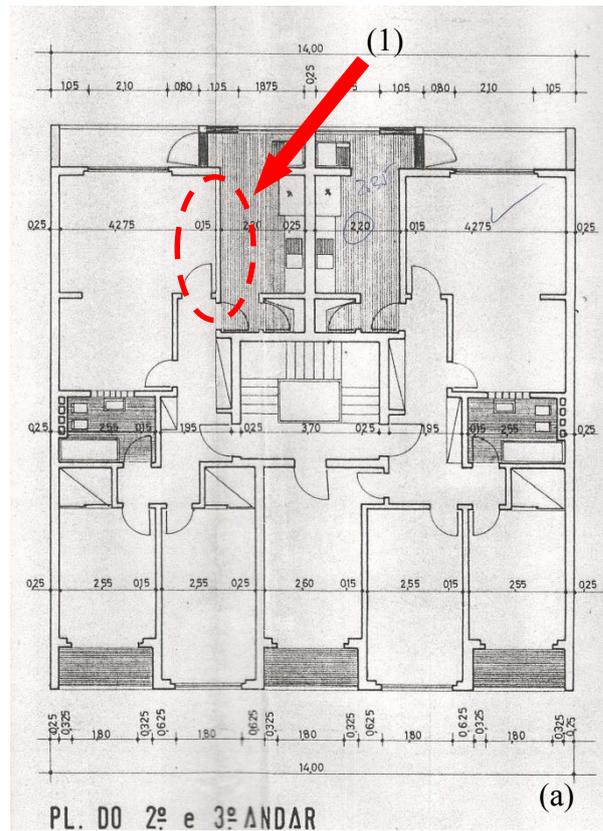
4. CAUSAS DO DANO ESTRUTURAL OCORRIDO

Da análise de todo o processo concluiu-se que o dano estrutural - queda da laje de pavimento da sala e da cozinha do 3º andar dto. - se deveu à remoção da parede de apoio das vigotas (algum tempo antes do acidente), que existia no 2º andar dto, conforme se pode verificar nas plantas representadas na fig. 3.

Devido à solução construtiva dos pavimentos elevados do edifício (lajes de vigotas pré-esforçadas, blocos cerâmicos de preenchimento e betão complementar), a parede removida no 2º andar dto - que fazia a divisão entre a sala e a cozinha - além de suportar as extremidades das vigotas do pavimento da sala e da cozinha do 3º andar dto, servia também de apoio à parede superior, contígua, do 3º andar dto.

Com a queda/colapso da laje, aquela parede ficou “suspensa”, como se observa na fig. 4 (área a tracejado).

Não havendo vestígios de armaduras de aço nos escombros, concluiu-se que a parede removida no 2º andar dto, não seria encimada por lintel nem teria sido “substituída” por qualquer elemento de reforço (viga de BA ou outra). A inexistência desta parede foi confirmada também



(a) – planta de arquitetura dos 2º e 3º andares; (b) – representação esquemática dos apoios das lajes dos 2º e 3º andares (L1 e L3); (1) localização da parede no 2º andar dto cuja remoção esteve na origem do colapso da laje.

Fig. 3 – Localização da parede de apoio das vigotas das lajes da sala e da cozinha do 3º andar dto, nos projetos de arquitetura e de estabilidade.



Fig. 4 – Parede de divisória entre a sala e a cozinha do 3º andar do edifício após a queda da laje, vendo-se que ficou totalmente despojada (“suspensa”)

por não existirem vestígios da mesma, nem nos destroços do acidente, fig. 5 (área a tracejado), nem no encosto/apoio com a parede e o pavimento do 2º andar com os quais devia “confinar”, como se indica na fig. 6 (zonas a tracejado), que representa os espaços da sala e cozinha do 2º andar do edifício.



Fig. 5 – Imagem geral dos destroços, não sendo visíveis vestígios da parede que devia suportar as extremidades das vigotas, como indicado na fig. 3(b)

5. MEDIDAS IMEDIATAS DE SEGURANÇA ESTRUTURAL

As medidas imediatas de segurança propostas à CMS, nas duas visitas efetuadas pelo autor ao local (cerca de 24 e 48 horas após o acidente, respetivamente), tiveram



Fig. 6 – Paramento interior da parede exterior (em cima) e pavimento da sala (em baixo) - áreas a tracejado -, com que a parede de separação entre a sala e a cozinha do 2º andar do edifício devia “confinar”, de acordo com os elementos de projeto representados na fig. 3

como primeiro objetivo, evitar o colapso da parede do 3º andar que ficou “suspensa”, evitando riscos adicionais para a laje superior, e, depois, preparar a reconstrução da laje colapsada.

A proposta apresentada teve por base a solução estrutural e construtiva dos pavimentos elevados, caracterizada pela mobilização geral das paredes inicialmente previstas/construídas (fig. 3), com destaque para as que servem de apoio às vigotas. Fez-se notar, porém, que as medidas de segurança indicadas teriam um caráter apenas provisório, visto que não podiam garantir a segurança do edifício face a eventuais ações horizontais ou outras, mais ou menos intensas, durante o período da reconstrução da laje colapsada.

Algumas das medidas propostas são ilustradas com fotografias tiradas durante a 2ª visita do autor ao local, uma vez que foram transmitidas à equipa de Técnicos da

CMS na 1ª visita, que assim as puderam implementar de imediato. Algumas destas medidas foram aperfeiçoadas na 2ª visita, a partir de indicações transmitidas aos mesmos Técnicos.

As medidas de segurança propostas foram, resumidamente, as seguintes:

- a. remoção imediata dos destroços existentes na laje do 2º andar dto., aproveitando os tacos de madeira (fig. 1) para eventual reaplicação. As vigotas deviam ser cortadas uma a uma, após a retirada das tijoleiras, evitando a sua queda brusca sobre o pavimento.
- b. verificação de que, nos vários andares, todas as paredes “alinhadas” segundo a mesma prumada com a parede “suspensa”, estavam efetivamente, de acordo com o projeto, na mesma prumada.

Feita esta verificação, em vistoria realizada ainda na 1ª visita, por diversos responsáveis e Técnicos da CMS, pelos Bombeiros e pelo autor, constatou-se que tal alinhamento vertical não ocorria nem no r/chão nem no 1º andar, uma vez que:

- no r/c, a parede original, ainda existente, fora aparentemente construída com um desalinhamento de cerca de 10cm, em relação à parede contígua do andar superior;
- no 1º andar, a parede original tinha sido demolida e “substituída” por uma viga metálica apoiada numa extremidade na parede perpendicular e na outra extremidade num pilar metálico, fig. 7(a), e por uma parede afastada da posição original em cerca de 50cm.

Neste contexto, foi proposto escorar os tetos do r/chão e do 1º andar com prumos metálicos apoiados em pranchas de madeira com cerca 5cm de espessura, pregando as extremidades dos prumos às pranchas. No 1º andar foi necessário remover parte do teto falso existente, para apoiar a prancha de madeira na referida viga metálica, fig. 7.

O projetista da “nova laje” deveria, eventualmente, considerar a possibilidade de reposição da parede retirada no 1º andar, fig.

7(b), ou a verificação/reforço das condições de apoio da viga metálica, ponderando os aspetos relacionados com a ação sísmica e a interrupção da prumada vertical das paredes abaixo da “parede suspensa”.

- c. concluído o escoramento referido acima (o qual devia progredir dos pisos inferiores para os superiores), podia iniciar-se finalmente o escoramento da parede suspensa, apoiado na laje de pavimento do 2º andar dto., fig. 8. Por razões de estabilidade, cada prancha de madeira deveria “receber” pelo menos dois prumos.

Na 2ª visita propôs-se melhorar o escoramento da parede suspensa como se segue, fig. 8:



(a) – escoramento da laje do 2º andar; (b) – escoramento da laje do 1º andar; (1) – pilar metálico de suporte de uma das extremidades da viga metálica “substituta” da parede pré-existente; (2) – teto-falso removido

Fig. 7 – Escoramento de lajes dos 1º e 2º andares

- as pranchas de madeira sob a parede deviam ser colocadas paralelamente à parede, preenchendo-se as folgas entre as pranchas e a parede com um material tipo “Anchorfix-1”, da Sika, se necessário;
 - os prumos de suporte da parede deviam apoiar em pranchas de madeira paralelas às pranchas superiores. O número de prumos devia aumentar em relação ao representado na fig. 8 (escoramento efetuado na 1ª visita do autor);
 - os prumos sob a parede “suspensa” deviam ser interligados entre si por tubos metálicos dispostos em diagonal. Estes tubos diagonais deviam ligar-se ao maior número possível de prumos verticais, através de abraçadeiras próprias, de forma a otimizar o travamento entre eles.
- d. ainda na zona do acidente (a mais fragilizada do edifício naquele momento), foi proposto escorar a lâmina de compressão



Fig. 8 - Escoramento da parede suspensa (e lâmina de compressão) da laje da cozinha do 3º andar dto.

que restou após a queda das vigotas e abobadilhas sob a cozinha do 3º andar dto, figs. 8 e 9, tendo em vista a remoção dos móveis da cozinha em segurança pelos operários da CMS, e a segurança dos que, pontualmente, se pudessem posicionar sob a referida lâmina de compressão, até à sua demolição, logo de seguida.

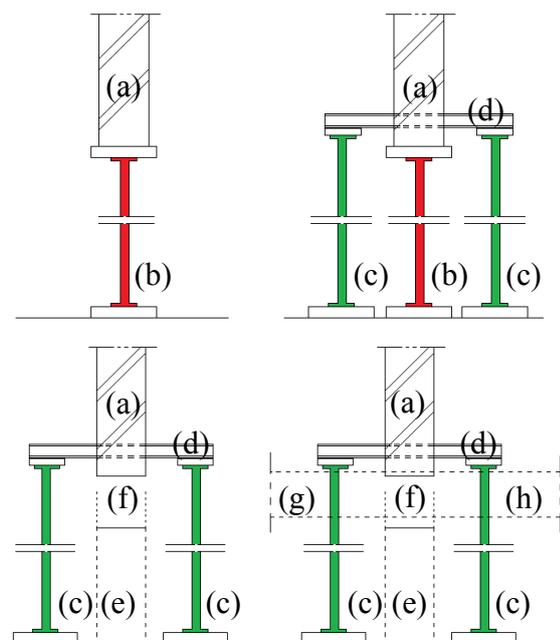
- e. a partir da data da 2ª visita, a parede suspensa devia ficar escorada permanentemente até à conclusão do endurecimento do betão da “nova laje”, após o que passaria a apoiar nessa laje (preparando a zona de apoio de forma adequada), propondo-se como possível solução o esquema representado na fig. 10.

O escoramento da parede suspensa até à reconstrução da laje colapsada, fig. 10, envolvia as seguintes fases:

- os perfis (b) só seriam desativados quando cada par de perfis “substituto” (c) estivesse ajustado à “viga” (d), e em carga;
- o sistema “(c)+(d)” permaneceria durante: a reconstrução da parede (e), removida no 2º andar; a preparação do lintel (f) sobre esta parede; a preparação do apoio/entrega das extremidades das vigotas, admitindo a nova laje semelhante à colapsada; e a betonagem da nova lâmina de compressão e do lintel;
- o sistema “(c)+(d)” só seria desativado quando a carga da parede suspensa passasse a ser suportada pelas “novas lajes” (g, h);
- os perfis (c) deviam ser colocados entre as “novas” vigotas (caso fosse esta a solução estrutural escolhida).



Fig. 9 – Vista superior do pavimento da cozinha do 3º andar dto já sem os móveis (após o escoramento representado na fig. 8)



(a) - parede “suspensa”; (b) - prumos metálicos atuais sob a parede suspensa (fig. 8); (c) - novos prumos; (d) - perfil metálico, a passar por “abertura mínima possível” a realizar, para o efeito, na parede suspensa; (e) - parede a reconstruir (fig. 3), com entrega adequada na laje do piso 2; (f) - lintel a construir, com entregas adequadas; (g, h) - novas lajes a construir

Fig. 10 – Representação esquemática do processo de transição do sistema de escoramento provisório para outro, a manter até à reconstrução da laje

O escoramento devia ser verificado regularmente, e ajustado se necessário; do mesmo modo, nos 1º e 2º andares, o escoramento devia ser mantido até à conclusão dos trabalhos.

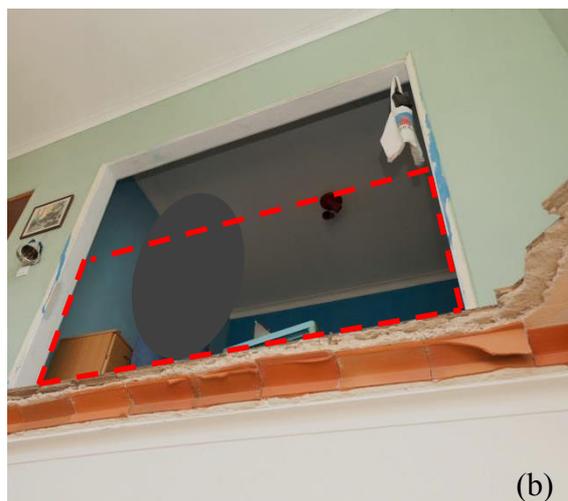
Esta proposta devia ser apresentada ao projetista da “nova laje”.

f. por razões de segurança, propôs-se a colocação de guarda corpos no local que ficou livre (com grande risco de queda em altura) entre o 3º e o 2º andares, conforme se assinala na fig. 11.

Não obstante esta indicação, devia também ser colocada sinalização no corredor de acesso à sala do 3º andar dto., fig. 12, para reforçar a prevenção contra eventual queda sobre a sala do 2º andar.

g. por iguais razões de segurança deviam ainda ser tomadas as seguintes precauções:

- os habitantes do 2º e 3º dto. não podiam regressar aos seus apartamentos enquanto a



(a) – vista do 3º para o 2º andar dto.; (b) vista do 2º para o 3º andar

Fig. 11 – Local de colocação do guarda corpos (ao nível do 3º andar dto.)

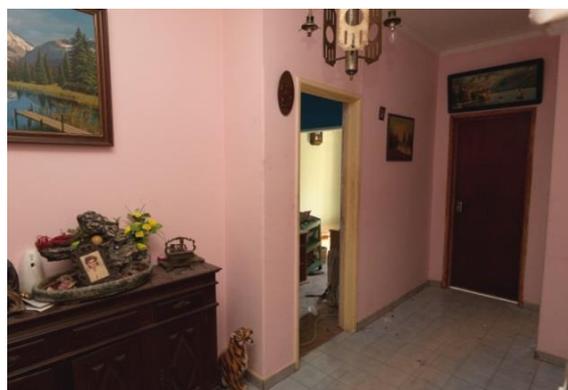


Fig. 12 – Corredor de acesso à sala e cozinha do 3º andar

laje colapsada não fosse “reconstruída” (fig. 11);

- o sótão devia ser interdito até à conclusão da obra, apenas podendo ser autorizada a retirada rápida de objetos e nunca a colocação de outros, durante o período da obra;

- aquando da reconstrução da laje colapsada, todos os pavimentos das lajes das salas e cozinhas inferiores deviam ser escorados (desde o r/chão até à nova laje do pavimento do 3º andar, inclusive).

A reconstrução da laje deveria estar concluída num prazo compreendido entre 45 e 60 dias, incluindo neste período também a reposição da parede no 2º andar dto., no local indicado na fig. 3, e o apoio da parede “suspensa” na nova laje.

Na sequência das inspeções propostas pelo autor (na 2ª visita) a todos os apartamentos do edifício, com a presença de responsáveis e Técnicos da CMS, Bombeiros e do autor, verificou-se que nalguns apartamentos tinham sido igualmente removidas partes de outras paredes, o que, em função da solução construtiva do edifício, podia pôr em causa a resistência local ou global. Neste sentido, propôs-se que fossem tomadas medidas adequadas.

6. CONCLUSÕES

Nesta comunicação identificou-se a causa direta do colapso de parte da laje do pavimento do 3º andar dto. de um edifício habitado e resumiram-se algumas medidas de segurança para garantir a estabilidade estrutural da parede do 3º andar que ficou suspensa após a queda da laje e a reconstrução da laje colapsada.

A causa do acidente foi a remoção do apoio da laje de vigotas sob a sala e a cozinha do 3º andar, ou seja a remoção da parede do 2º andar dto. (sob a parede do 3º andar que ficou suspensa após a queda da laje). As medidas de segurança propostas, tiveram dois objetivos: um, imediato, impedir a queda da parede suspensa e, dessa forma, evitar problemas semelhantes na laje superior, e outro, o de permitir “reconstruir” a laje colapsada sem comprometer a segurança do pavimento inferior (por razões de segurança estrutural, não era possível escorar a “nova laje” apenas no pavimento do 2º andar dto.). Estas medidas de

segurança tinham caráter provisório, devendo os trabalhos de reconstrução da laje, por essa razão, estar concluídos no prazo de 45 a 60 dias após o acidente. O projetista da laje a reconstruir devia ser envolvido na solução técnica a adotar.

Este acidente originou “apenas” alguns feridos *ligeiros* que foram levados ao hospital (incluindo uma senhora grávida) e *elevados* prejuízos materiais, mas esteve prestes a ter consequências trágicas.

AGRADECIMENTO

O autor agradece à C. M. do Seixal a autorização concedida para a apresentação da presente comunicação ao 9º Congresso Nacional de Mecânica Experimental.

REFERÊNCIAS

- Baião, M. 2010. Ensaio de tipo iniciais e concepção dos pavimentos de vigotas. Documentos de homologação., Seminário sobre marcação CE das vigotas. ANIPB, Coimbra, 9 de dezembro de 2010.
- Camposinhos, R. S e Neves, A. S. 2005. Lajes aligeiradas com vigotas pré-tensionadas, FEUP Edições, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. ISBN 972-752-081-2.
- Gouveia, J. P.; Lourenço, P. B. e Vasconcelos, G. 2007. Soluções construtivas em alvenaria, Congresso Construção 2007, 17 a 19 de dezembro de 2007, Universidade de Coimbra.