



XIX COBREAP | Foz do Iguaçu

INOVAÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

**CONGRESSO BRASILEIRO DE
ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS**

21 a 25 agosto de **2017**

Hotel Mabu Thermas Grand Resort
Foz do Iguaçu / PR / Brasil

**DESABAMENTO DE LAJE BEIRAL (MARQUISE): PREPONDERÂNCIA ENTRE ERRO DE
CONCEPÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL E DE FALHAS NA EXECUÇÃO DA OBRA**

LUCIANO GARDANO ELIAS BUCCHARLES



O Conteúdo dos trabalhos técnicos apresentados no COBREAP é de inteira responsabilidade dos seus autores.



**XIX COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E
PERÍCIAS - IBAPE/SC – 2017**

TRABALHO DE PERÍCIA

Resumo

Este trabalho se refere ao colapso de uma laje beiral ainda em construção, tendo por objetivo fornecer um roteiro de análise a ser empregado em casos semelhantes, quer seja em obras ainda em execução, quer seja em edificações recentemente concluídas. Os resultados dos ensaios, cálculos e análises indicaram que o colapso da laje beiral ocorreu por torção de equilíbrio, não prevista no projeto estrutural, sendo que as falhas de execução, que geraram uma redução da resistência do concreto em alguns componentes, ainda que indesejadas, não interferiram na resistência dos componentes estruturais ao momento torçor. A transmissão do momento torçor da viga ao topo dos pilares deveria ter sido resistida, no presente caso, conforme sistema estrutural proposto, preponderantemente por armaduras não consideradas em projeto, situação esta corroborada pelo fato de a estrutura ter desabado antes mesmo de ter sido solicitada em sua plenitude. Considerando-se a efetiva existência de momentos torçores em marquises e em lajes beirais, que normalmente não são considerados em sua totalidade, recomenda-se que a estabilidade deste tipo de sistema estrutural seja avaliada quanto à existência de torção de equilíbrio, em especial na transmissão dos momentos torçores das vigas aos topos dos pilares.

Palavras-chave: Marquise, Laje beiral, Colapso estrutural, Momento torçor, Dimensionamento de marquise e de laje beiral.

1 EXPOSIÇÃO

1.1 Introdução

Em inúmeros casos de desabamentos de marquises e lajes beirais observa-se que a causa do sinistro é atribuída, geralmente, à ausência de manutenção preventiva, resultando em comprometimento significativo das armaduras por processo de oxidação e, conseqüentemente, na ruína estrutural. Todavia, em estruturas ainda em execução, ou mesmo recentemente solicitadas ao carregamento máximo, não há que se falar em falta de manutenção adequada. Nestes casos, o colapso estrutural de marquise exige análise detalhada do projeto estrutural, da execução da obra e dos materiais empregados, a fim de que seja determinada a efetiva causa do desabamento, ou seja, do fator preponderante para o colapso. Justifica-se esta preocupação em virtude de várias construções apresentarem projetistas, executores e fornecedores de materiais distintos, sendo indispensável à responsabilização individual, e na medida exata de suas condutas, de cada agente envolvido no sinistro. O presente trabalho analisará, com detalhes, o colapso de uma laje beiral ainda em construção, fornecendo um roteiro pericial que poderá ser empregado em casos semelhantes, quer seja em obras ainda em execução, quer seja em edificações recentemente concluídas.

1.2 Construção e Estrutura Colapsada

Trata-se de uma residência em construção, com dois pavimentos, piso em concreto alisado, cobertura constituída por telhas de concreto, sustentadas por estrutura de madeira, com laje de piso e laje de cobertura. Ao exame deste local foi verificado o que segue:

a) Observou-se o desabamento, em toda a sua extensão, de uma laje beiral localizada na cobertura do flanco direito do imóvel, localizada a uma altura de 7,78 m em relação ao piso externo do imóvel (Imagens 01 a 04).

b) O colapso da estrutura ocorreu logo após a remoção do cimbramento, sendo que a estrutura ainda não se encontrava, no momento do desabamento, solicitada ao carregamento máximo previsto.

c) A laje beiral colapsada, após desabar 4,58 m, acabou por repousar sobre uma laje de concreto armado, tendo se fragmentado em três partes. Duas permaneceram sobre a laje, enquanto a parte menor (terço anterior) atingiu o solo (Imagens 05 a 08).

d) A laje beiral ora examinada (denominada, no projeto estrutural, como sendo **LB2**) é uma estrutura projetada em concreto armado pré-moldado, com comprimento de 8,475 m, largura horizontal (balanço) de 1,00 m e espessura total de 0,15 m. Encontrava-se em balanço, engastada em duas vigas de concreto armado (**VS4** e **VS5**), com apoio nos pilares **P11**, **P20** e **P28**.



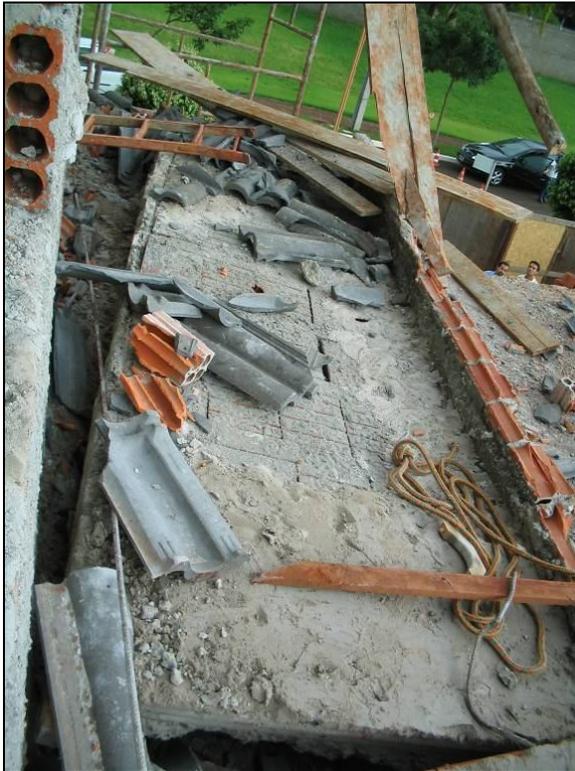
Imagens 01 e 02: vistas do imóvel residencial em construção, sendo que a laje beiral desabada encontrava-se na região indicada pelas setas de cor vermelha.



Imagens 03 e 04: a laje beiral desabada encontrava-se na região indicada pela seta de cor vermelha. A imagem à direita mostra, em detalhe, parte da laje beiral colapsada (circulo de cor vermelha).



Imagens 05 e 06: a imagem à esquerda demonstra a região de ruptura da segunda e da terceira partes da laje beiral desabada. Já a imagem à direita indica a primeira parte da laje beiral colapsada.



Imagens 07 e 08: a imagem à esquerda indica a segunda parte da laje beiral desabada. Já a imagem à direita demonstra parcialmente a terceira parte da laje beiral colapsada.

1.3 Exames

O motivo de colapso de laje beiral ou de marquise, em estágio construtivo, ou logo após o término da execução, pode decorrer de três fatores, isolados ou combinados: (a) **material inadequado**, (b) **erro na elaboração do projeto estrutural** ou (c) **erro na execução da obra**. Estes fatores serão analisados, individualmente, na sequência desse trabalho.

a) Material inadequado

Esse fator decorre da utilização de material com resistência e composição incompatíveis ao previsto em projeto, bem como de material diverso do especificado em projeto. Para fazer essa análise foram extraídos 09 corpos de prova da estrutura de concreto armado de sustentação da laje beiral precipitada (vigas e pilares), todos com diâmetro de 73 mm, com altura capeada de 86 mm a 150 mm, bem como 04 segmentos de barras de aço pertencentes à estrutura da laje beiral (vigas e pilares), com bitolas de 6,3 mm e 10,0 mm.

Estes materiais foram ensaiados, junto à empresa certificada, conforme especificado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), mais precisamente pelas normas NBR-5739 (ensaio à compressão dos corpos de prova de concreto) e NBR-7480 (ensaio de tração nas barras de aço).

No tocante às barras de aço nada de irregular foi constatado, sendo que os resultados obtidos atendem aos padrões normativos estabelecidos para barras de aço de categoria CA-50 (Quadro 1).

Quadro 1: Ensaio de caracterização e resistência das barras de aço.

CP nº	Identificação	Bitola (mm)	Ø Médio (mm)	Resistência de Escoamento (MPa)	Resistência à Ruptura (MPa)	Alongamento (%)
01	V55 entre P11/P20	6,3	6,11	690	952	9,5
02	V55 entre P20/P28	6,3	6,17	685	945	8,0
03	V54	6,3	6,16	709	957	10,0
04	P11	10,0	9,86	590	894	10,5

Com relação ao concreto, observou-se uma excessiva variação dos resultados, com as resistências à compressão variando entre 12,9 MPa e 29,6 MPa (Quadro 2), sendo que o previsto no projeto estrutural era 20,0 MPa. Observa-se, portanto, que dois corpos de prova apresentaram resistência à compressão inferior ao especificado no projeto estrutural. Assim, a resistência média à compressão obtida em ensaio foi de 23,0 MPa, com um desvio padrão de 5,06 MPa e com um coeficiente de variação da ordem de 22%. Esta excessiva variação teve como causa o emprego de técnicas inadequadas na execução da obra, o que será detalhado na alínea “c” do presente tópico.

Quadro 2: Ensaio de caracterização e resistência do concreto.

CP nº	Identificação	Ø CP (mm)	Altura do CP Capeado (mm)	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência à Compressão (MPa)
01	P28	73	86	12580	28,0
02	P20 (topo)	73	79	12150	25,3
03	P20 (base)	73	150	5410	12,9
04	P11 (lateral)	73	86	13330	29,6
05	P11	73	88	10230	22,7
06	P20 a P11 (VS5)	73	96	10870	24,2
07	P20 a P28 (VS5)	73	112	6970	16,0
08	P28 a P20 (VS5)	73	99	11190	24,9
09	VS4	73	114	10050	23,1

b) Erro na elaboração do projeto estrutural

O projeto estrutural original foi elaborado por meio de *software*, não havendo, portanto, memorial de cálculo. Assim, foram realizados os cálculos, devidamente embasados nas normas vigentes, em especial das peças estruturais pertinentes (pilares

P11, P20 e P28; vigas de sustentação **VS4** e **VS5**; laje do beiral **LB2**). Refazendo os cálculos estruturais, constatou-se que o dimensionamento dos pilares **P11, P20 e P28** atende aos esforços a que são submetidos, nada havendo de anormal nesse dimensionamento. A mesma situação foi verificada para a viga **VS4**. Com relação à viga **VS5** colapsada, observam-se as seguintes características de carregamento e esforços:

i) Carregamento total na VS5:

Peso próprio da laje pré-moldada (11 cm) + peso das telhas de concreto + madeiramento de apoio das telhas: $1,50 + 0,54 + 0,06 = 2,10 \text{ kN/m}^2$

Peso próprio da VS5: $0,12 \times 0,30 \times 25 = 0,90 \text{ kN/m}$

Carga total na VS5: $2,10 \times 1,075 + 0,90 = 3,2 \text{ kN/m}$

ii) Momento uniformemente distribuído na VS5 aplicado pela laje do beiral:

$M = 2,10 \times 1,075^2/2 = 1,21 \text{ kNm/m}$

iii) Momento fletor máximo na VS5:

$M_f = 5,50 \text{ kNm}$ (P20)

iv) Esforço cortante máximo na VS5:

$N = 14,82 \text{ kN}$ (P20)

v) Momento torçor máximo na VS5:

$M_t = 4,48 \text{ kNm}$ (na junção com o P20)

Assim, para a viga **VS5** observou-se que as armaduras existentes não eram suficientes para garantir a segurança necessária para as solicitações normais (o momento característico atuante na viga era um pouco superior ao máximo momento resistente: $0,55 \text{ tfm} \times 0,52 \text{ tfm}$). Todavia, essa pequena diferença não é suficiente para ser considerada como causa única do colapso da estrutura.

Ainda para a viga **VS5** observou-se que o momento torçor resistente ($2,38 \text{ kNm}$) é muito inferior ao momento torçor solicitante ($4,48 \text{ kNm}$), ou seja, a armadura transversal existente para resistir ao momento torçor é inferior ao efetivamente necessário ($0,01840 \text{ m}^2 \times 0,00866 \text{ m}^2$), não atendendo, portanto, a questão de segurança quanto ao momento torçor.

Com relação às ligações entre as peças (laje do beiral x viga; viga x pilar), observou-se que o projeto está bem detalhado quanto às ligações da laje do beiral com a viga. Aliás, não houve perda de ligação entre a laje do beiral e as vigas quando do colapso da estrutura, comprovando que o projeto está correto neste aspecto, além da execução ter sido feita satisfatoriamente nesta ligação (laje do beiral x viga).

Já para a ligação viga x pilar não foram encontradas informações técnicas suficientes. Observou-se, apenas, uma redução da área de contato entre a viga (**VS5**)

com os pilares **P11**, **P20** e **P28** (de 13x25 para 13x12). Nesta nova dimensão observa-se que não existe armadura adequada de ligação do pilar reduzido com a viga justamente na face tracionada pelo efeito do momento fletor. Assim, o momento fletor resistente é novamente inferior ao momento fletor atuante (0,084 tfm x 0,764 tfm).

c) Erro na execução da obra

Com relação à execução da obra, dois aspectos distintos foram constatados. O primeiro é que nos elementos estruturais colapsados, em especial nas vigas e nos pilares já mencionados, algumas dimensões eram inferiores àquelas previstas em projeto, assim como o espaçamento de algumas armaduras transversais era superior ao projetado. Esta situação reduz a resistência da peça, comprometendo sua estabilidade e segurança frente às cargas atuantes.

O outro aspecto é com relação ao adensamento do concreto das vigas e pilares. Percebe-se facilmente que o concreto destas estruturas colapsadas apresenta baixa integridade, ocasionando “vazios” nas peças (regiões sem concreto), com a conseqüente exposição das armaduras (falha no recobrimento) (Imagens 09 e 10).



Imagens 09 e 10: à esquerda, uma das vigas colapsadas, podendo-se observar a deficiência de adensamento do concreto, com falhas de concretagem e exposição da armadura. À direita, topo do pilar **P28**, novamente observando-se a deficiência do adensamento do concreto, com falhas de concretagem.

Essa falha de adensamento, além de acelerar a oxidação das armaduras, provoca uma redução da resistência do concreto e um aumento da variabilidade da resistência do concreto, o que ficou comprovado pelos ensaios realizados. Houve uma excessiva variação dos resultados, com as resistências à compressão variando entre 12,9 MPa e 29,6 MPa (Quadro 2), sendo que algumas regiões das peças colapsadas apresentaram resistência inferior ao previsto no projeto estrutural (20,0 MPa).

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Em virtude dos exames realizados e anteriormente descritos, considera-se e conclui-se o que segue:

1. Considerando-se que o colapso da estrutura ocorreu na ligação da viga **VS5** com o topo dos pilares **P11**, **P20** e **P28**;
2. Considerando-se os resultados dos ensaios de resistência dos corpos de prova de concreto e das barras de aço coletadas das peças sinistradas;
3. Considerando-se os erros constatados no projeto estrutural e na execução da obra, devidamente descritos nesse trabalho;
4. Considerando-se os esforços atuantes nas peças estruturais anteriormente descritas, em especial o momento torçor da **VS5** ao topo dos pilares **P11**, **P20** e **P28**, que não foi previsto em projeto estrutural;
5. Conclui-se que o colapso da estrutura (**VS5** e **LB2**) ocorreu por torção de equilíbrio, não prevista no projeto estrutural, sendo que as falhas de execução, que ocasionaram a redução da resistência do concreto em alguns componentes, ainda que indesejadas e sujeitas a críticas, não interferiram decisivamente na resistência dos componentes estruturais ao momento torçor;
6. Conclui-se, ainda, que a transmissão dos momentos torçores da **VS5** ao topo dos pilares **P11**, **P20** e **P28** deveria ter sido resistida, no presente caso, conforme sistema estrutural proposto, preponderantemente por armaduras não consideradas em projeto, situação esta corroborada pelo fato de a estrutura ter precipitado antes mesmo de ter sido solicitada em sua plenitude (o carregamento das peças ainda não estava concluído).

3 RECOMENDAÇÕES

Em virtude dos ensaios, cálculos e análises apresentadas neste trabalho, que indicam a existência de momentos torçores em marquises e em lajes beirais que normalmente não considerados em sua totalidade, recomenda-se que a estabilidade deste tipo de sistema estrutural seja sempre avaliada quanto à existência de torção de equilíbrio, em especial na transmissão dos momentos torçores das vigas aos topos dos pilares.

4 BIBLIOGRAFIA

BAUER, L.A.F. *Estruturas de concreto – patologia*. Falcão Bauer centro tecnológico da Construção. São Paulo: 1986.

BAUER, L.A.F. *Materiais de construção. Volumes 1 e 2*. LTC Editora. Rio de Janeiro: 1999.

BOTELHO, M.H.C. *Concreto armado*. Edgard Blucher. São Paulo: 2006.

BOTELHO, M.H.C. *Resistência dos materiais*. Studio Nobel. São Paulo: 1998.

- CUNHA, A.J.P., LIMA, N.A., SOUZA, V.C.M. *Acidentes estruturais na construção civil*. Volume 1. Pini. São Paulo: 1996.
- CUNHA, A.J.P., LIMA, N.A., SOUZA, V.C.M. *Acidentes estruturais na construção civil*. Volume 2. Pini. São Paulo: 1998.
- GARCIA, A., SPIM, J.A., SANTOS, C.A. *Ensaio dos materiais*. LTC Editora. Rio de Janeiro: 2000.
- HELENE, P.R.L., TERZIAN, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. Pini. São Paulo: 1992.
- HELENE, P.R.L. *Manual de reabilitação de estruturas de concreto: reparo, reforço e proteção*. Red Reabilitar, editores. São Paulo: 2003.
- HELENE, P.R.L. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. Pini. São Paulo: 1992.
- MARCELLU, M. *Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras*. Pini. São Paulo: 2007.
- NBR-5739. *Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- NBR-6118. *Projeto de estruturas de concreto*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- NBR-7480. *Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- NBR-14931. *Execução de estruturas de concreto*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- PETRUCCI, E.G.R. *Materiais de construção*. Globo. São Paulo: 1998.
- SOUZA, V.C., RIPPER, T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. Pini. São Paulo: 1998.
- THOMAZ, E. *Trincas em edificações: causas, prevenção e recuperação*. Pini. São Paulo: 2002.