

CONTRIBUIÇÃO DO ENGENHEIRO ESPECIALISTA EM PERÍCIA DE ESTRUTURAS

RESUMO

O presente trabalho refere-se à análise estrutural de placas de concreto para piso elevado, fornecidos a uma construtora para estacionamento de veículos automotores no segundo pavimento de um prédio residencial. O fabricante das placas para piso forneceu Catálogo técnico contendo informações de cargas máximas admissíveis por roda e sobrecarga uniformemente distribuída sobre as placas. Imediatamente após o início das operações do estacionamento verificou-se nas placas de concreto, manifestações patológicas estruturais na forma de fissuras, que evoluíam para trincas. O construtor comunicou os fatos ao fabricante das placas que forneceu, em várias datas, outras placas para substituírem aquelas que apresentavam trincas de maior abertura. Até que um determinado dia, um conjunto de placas se rompeu sob um carro estacionado, causando grande prejuízo ao estacionamento, uma vez que o referido carro interrompeu o acesso ao elevador de carga durante todo o dia. O objetivo deste trabalho é apresentar e discutir a importância de um engenheiro especialista para subsidiar trabalhos periciais na área de estruturas especiais.

Palavra chave : *Análise estrutural, Placa de concreto para piso, ensaios*

1. Introdução

O desenvolvimento da tecnologia da construção tem criado um acervo de conhecimentos que permite ao homem construir estruturas adaptadas às suas necessidades. No entanto, algumas dessas estruturas não apresentam desempenho adequado frente às expectativas de utilização, principalmente em relação às normas técnicas, provocando algum tipo de falta de segurança e durabilidade.

Devido a falhas congênicas, por danos causados involuntariamente e algumas vezes por falta de conservação, vêm aumentando os trabalhos de recuperação e reforço em estruturas. Estudo dos incidentes e/ou acidentes faz parte da engenharia, pois muitas vezes são assuntos a serem tratados por peritos especializados.

No ano de 2009, época do fornecimento das placas de concreto em questão, não havia norma técnica brasileira sobre o assunto, somente referente à pisos elevados de madeira aglomerada encapsulada em aço ou não (ABNT NBR 11802 - Pisos Elevados – Especificação) e outras 3 (três) para ensaios do mesmo tipo de piso elevado, definindo cargas e procedimentos para caracterização de “Resistência à carga horizontal concentrada” (NBR 12047), “Resistência às cargas verticais concentradas” (NBR 12048), “Resistência à carga vertical uniformemente distribuída” (NBR 12049) e “Resistência ao impacto de corpo duro” (NBR 12050), não aplicáveis ao caso.

2. Placas de concreto para piso

Pisos elevados são sistemas construtivos desenvolvidos para possibilitar um vão livre no entrepiso, destinado a passagem de dutos, instalações técnicas, contribuindo para isolamento térmico e acústico do nível inferior.

Placas de concreto para pisos são posicionados diretamente sobre apoios sem regulagem de altura ou “pedestais”, sistemas dotados de regulagem de altura, com capacidade de garantir a estabilidade do sistema.

Segundo Bernardes (2009), “o conceito de sistemas de piso elevado é bastante antigo. Na antiga terma romana da cidade inglesa de Bath, os chamados *west bath* e *east baths*, possuíam ambientes cujo aquecimento era proporcionado por insuflamento de ar aquecido sob uma camada de piso elevado. Essas placas eram suspensas por lajotas empilhadas.” (Fig.1). Esse mesmo tipo de construção pode ser visto na cidade inglesa da Chester (Fig.2). Neste sistema, o apoio de placas de rocha se faz por meio de suportes chamados de pedestais.

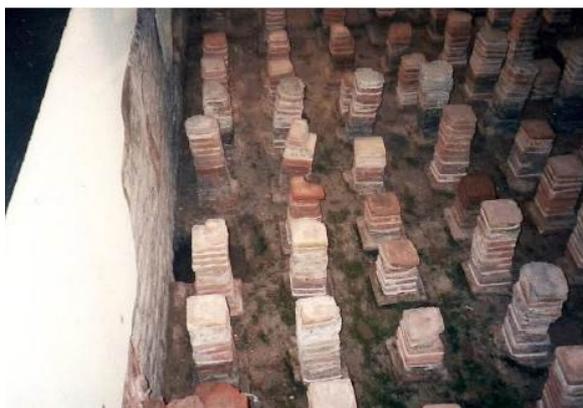


Figura 1 : Bath



Figura 2 : Chester

A primeira aplicação desse tipo de piso no Brasil foi no Centro Empresarial de São Paulo (1977), por meio de placas de concreto apoiadas diretamente sobre apoios fixos de concreto, com maiores espessuras e dimensões que as atuais.

Conforme a ASTM C 981(2005) e o ICPI (2008) esse tipo de piso não é recomendado para áreas sujeitas à tráfego de veículos, por causar ruptura brusca de placas, assim como ocorreu em 1999 em um estacionamento de automóveis em uma cidade do interior de Minas Gerais e em 2008 no piso elevado de La Défense (Paris), quando, nos dois casos, as placas se romperam.

Atualmente o assunto é abordado pela atual ABNT NBR 15805:2010 (Placa de concreto para pisos) no item 5.1.6 (Carregamentos específicos), somente para “*acesso de pequenos veículos de emergência*”, quando “*Deve-se levar em consideração o efeito dinâmico do carregamento, não só sobre a placa, mas sobre todo o sistema, avaliando a sua estabilidade, o que exige um dimensionamento específico realizado por um projetista.*”

Estruturalmente essa norma caracteriza dois tipos de placas : Placa plana de concreto estruturada (com reforço de fibras, telas ou armaduras ativas ou passivas) e Placa plana de concreto não estruturada (sem reforço de fibras ou outros materiais). Essa classificação se deve pelo fato de que :

- A placa não deve superar 400N (40kgf) de peso, o que impõe espessura máxima de 4,4 centímetros para placas com dimensões em planta de 60x60cm.
- Nos casos de placas armadas, utilizar tela eletrosoldada com espaçamento máximo de 10cm ou Q-113 (mínimo).
- Cobrimento mínimo dos fios de aço deve ser de 2cm para concreto armado e 1,5cm para concreto protendido.

Desta forma, as placas não estruturadas tem que ser dimensionadas e fabricadas com concreto com resistência à tração suficiente para absorver todos os esforços decorrentes das cargas de ensaios à flexão, corpo duro e corpo mole.

3. Características das placas de concreto fornecidas pelo fabricante

| Suspensas | | | |
|------------------|----------------|---------------------|-------------------------|
| Tipo | Dimensões (cm) | Capacidade de carga | Resistência do concreto |
| Bordas retas | 60 x 60 x 4 | 400 kg | 40,0 MPa |
| | 80 x 80 x 4 | | |
| Bordas bisotadas | 60 x 60 x 4 | 400 kg | 40,0 MPa |

| RELATÓRIO TÉCNICO DE ENSAIO NO DISCO DO SISTEMA DE APOIO SUPERIOR DAS PLACAS DE PISO SUSPENSO | | | | | |
|---|--|--------------------------|-----------------------|------------|-------------|
| Prezados Senhores, | | | | | |
| Segue resultado do ensaio de compressão axial no quadrante do disco do sistema de apoio superior das placas de piso suspenso da obra acima, e foram obtidos os seguintes resultados para cada quadrante: | | | | | |
| Nº. do disco | Carga de resistência à compressão axial (kg/ m ²). | | | | |
| 1 | 1.404 | | | | |
| 2 | 1.203 | | | | |
| Portanto para a integridade dos discos recomenda-se o uso de até 80% da carga, ou seja, 962 kg por quadrante. | | | | | |
| Para análise foi estimada a carga por roda nos veículos e obtido os seguintes resultados: | | | | | |
| Veículos | Capacidade de pessoas (80 kg) cada | Capacidade de carga (kg) | Peso bruto total (kg) | Total (kg) | Rodas (4) |
| Pick-up | 3 | 1.165 | 3.990 | 5.395 | 1.348,75 kg |
| Passaio | 5 | 490 | 1.205 | 2.095 | 523,75 kg |
| A norma da ABNT NBR 11.802 – Pisos elevados – especificação, consultada <u>não existe limite para placas de concreto</u> constituintes de um piso elevado. São consideradas placas de aço ou madeira. Mesmo assim, tanto uma como outra, devem atender ao seguinte: | | | | | |
| -carga concentrada admissível para espessura de 40 mm: | | | | | |
| • Carga (N) = 4.400 | | | | | |
| • Flexa (mm) = 3,6 | | | | | |
| • Coeficiente de segurança = 3 | | | | | |
| Conclusão | | | | | |
| O sistema de piso suspenso Concretit atende ao prescrito na norma ABNT NBR 11.802, e deve ser usado para trafego de veículos de até 530 kg/roda. | | | | | |

Figura 3

A partir de medições verificou-se que as placas tinham medidas em planta de 60x60cm e espessuras que variavam de 3,8 a 4,0cm.

Verificou-se ainda que as armaduras utilizadas nas placas de concreto estavam posicionadas aproximadamente na "linha neutra" da seção geométrica (à meia altura da espessura), fazendo com que essas armaduras contribuíssem apenas para a ductilidade do elemento estrutural.



Figura 4 - Posicionamento típico das armaduras das placas

Não foi elaborado nenhum ensaio para a caracterização da resistência à compressão do concreto das placas, pois como elas se comportam como elementos de concreto simples - o concreto se mantém em regime linear até que não resiste às tensões de tração, quando se manifesta a primeira fissura (Estádio I).

Outra dificuldade estava na pequena espessura das placas, o que impossibilita a execução de ensaios laboratoriais por meio de testemunhos convencionais.

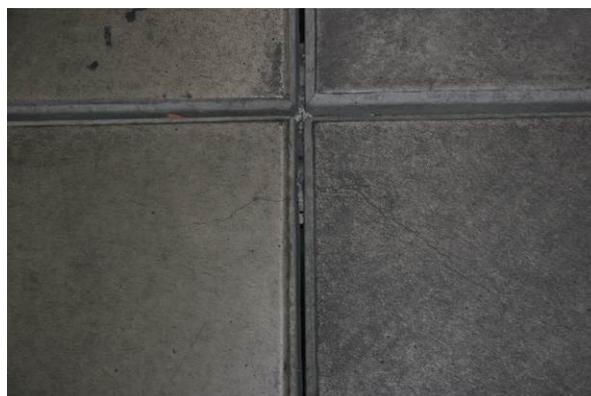
A resistência média do concreto à tração (f_{ctm}) ou a resistência característica do concreto à tração (f_{ctk}) são obtidos através de 3 (três) tipos de ensaios normalizados: tração direta, compressão diametral e tração na flexão, sendo o segundo o mais utilizado, também conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro. Na falta de ensaios, a resistência à tração direta pode ser estimada a partir da resistência à compressão do concreto:

$$f_{ctk,inf} = 0,21 \times f_{ck}^{2/3} \text{ (unidades em MPa.)}$$



Figura 5 - Regiões com evidências de desidratação do concreto

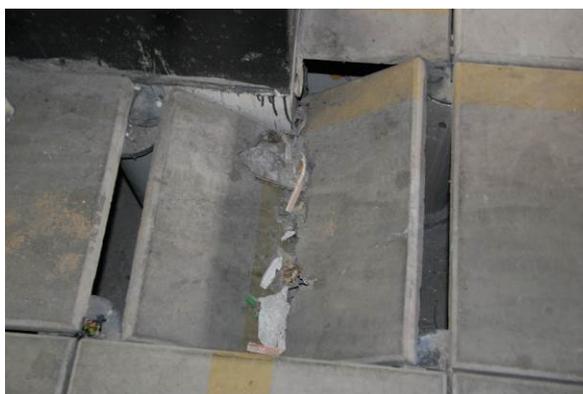
4. Patologias típicas das placas



Fotos 1 e 2 : Placas montadas no estacionamento



Fotos 3 e 4 : Placas montadas no estacionamento



Fotos 5 e 6 : Modo típico de ruptura das placas

Verificou-se que as armaduras utilizadas nas placas de concreto estavam posicionadas aproximadamente na "linha neutra" da seção geométrica (meia altura da espessura), fazendo com que essas armaduras contribuam somente para a ductilidade do elemento estrutural.

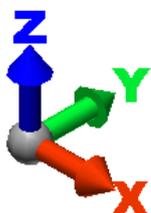
5. Avaliação estrutural

Para avaliar o comportamento das placas frente aos 3 (três) principais tipos de solicitações que podem ser aplicadas no referido caso, foi elaborada uma análise

matemática estática, utilizando-se o programa ALGOR® - versão 21, baseado em elementos finitos, capaz de estimar deformações e esforços, considerando elementos tridimensionais, com suas características geométricas, modelado com 20.004 nós e 25.318 elementos (3-D Solid Elements - 8 nós), considerando:

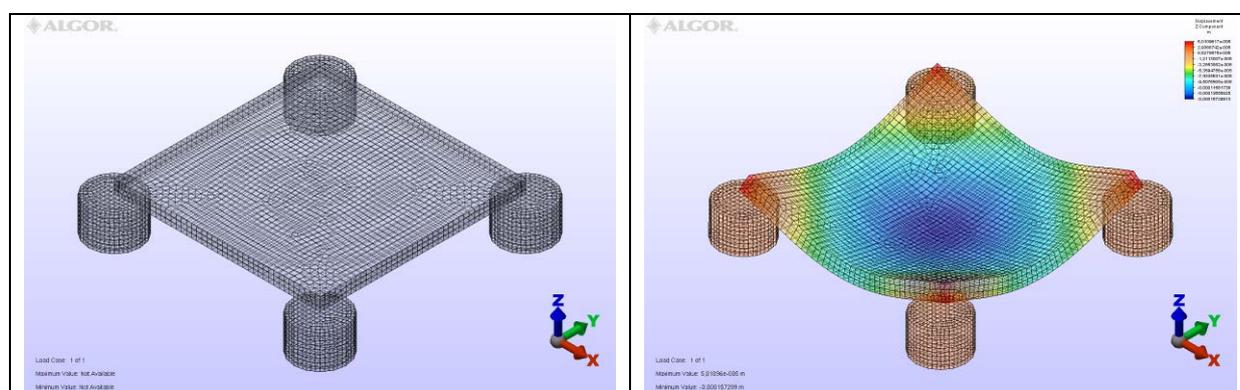
- Dimensão da placa = 60x60x3,8cm;
- Placas apoiadas sobre "discos" de concreto Ø15cm, considerando superfície de contato não-linear (atrito) da placa com os apoios;
- Módulo de elasticidade = 21 GPa. (70% do valor normativo para concreto não-fissurado - ver comentário no próximo parágrafo);
- 3 hipóteses de carregamento :
 - 1º) Carga de 400kgf no centro da placa (área de 10x10cm);
 - 2º) Carga de 400kgf no bordo da placa (área de 10x10cm);
 - 3º) Carga uniformemente distribuída de 400kgf/m² (conforme Catálogo do fabricante).

Nas avaliações numéricas elaboradas, os Módulos de Deformação dos elementos de concreto foram minorados para simular condição de não-linearidade física da estrutura devido à redistribuição de tensões causados pela micro-fissuração em cada tipo de peça estrutural, conforme preconizado pela NBR-6118:2003 e apresentado em entidades internacionais afins, tais como o PCI e PCCI. Considerando as considerações dessa norma, para um concreto não-fissurado com resistência à compressão de 40 MPa., teríamos Módulo de elasticidade secante valor da ordem de 30GPa.



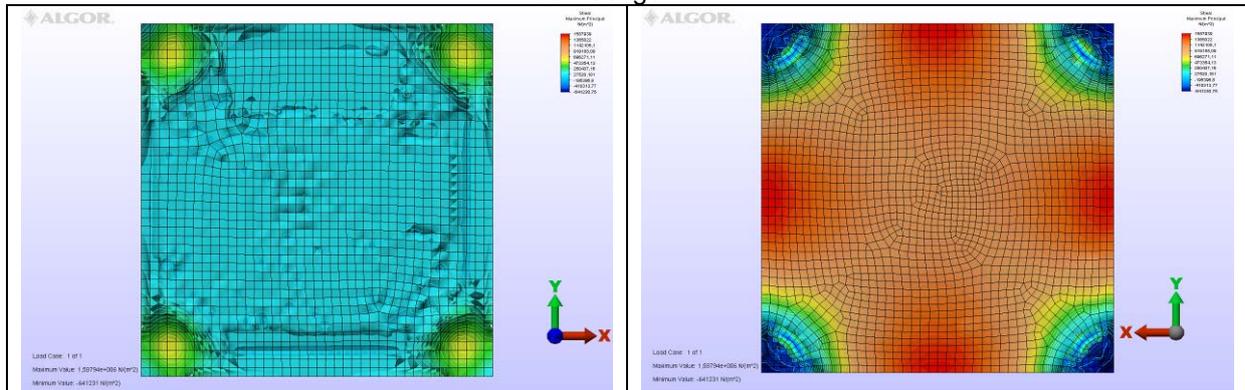
Todos os dados de entrada e resultados foram relacionadas aos eixos cartesianos globais X, Y e Z, conforme indicado nas figuras. Foi adotado o Sistema Internacional de unidades (SI), considerando *m* (metro) como unidade de comprimento e *N* (newton) como unidade de força.

A geometria foi modelada através do software SolidWork® 2008 - SP0.0 e a geração da malha foi executada automaticamente pelo ALGOR®.



Figuras 6 e 7 : Modelo matemático das placas

Figuras 8 e 9 : Tensões máximas atuantes na face inferior da placa - Carga uniformemente distribuída de 400kgf/m²



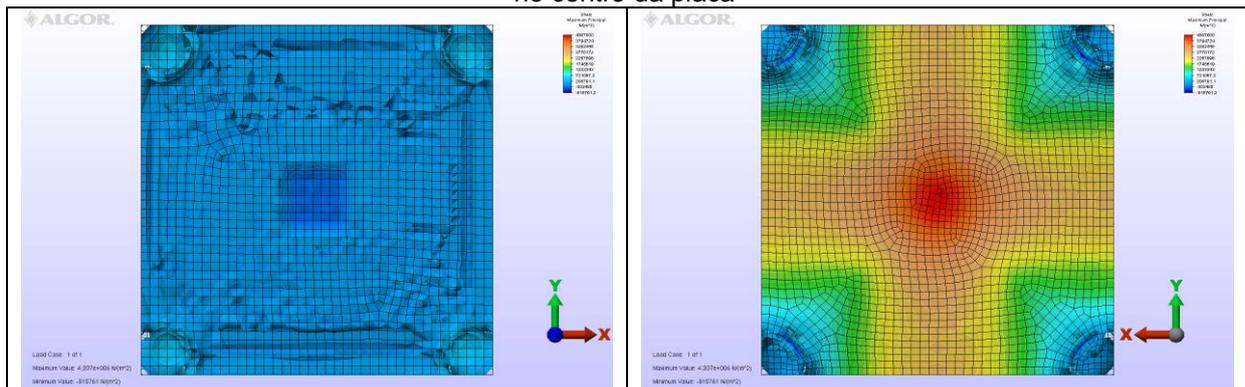
Face superior

Tensão máxima de compressão = 0,17 MPa.
Tensão máxima de tração = 0,64 MPa.

Face inferior

Tensão máxima de compressão = 0,88 MPa.
Tensão máxima de tração = 2,11 MPa

Figuras 10 e 11 : Tensões máximas atuantes na face inferior da placa - Carga concentrada de 400kg no centro da placa



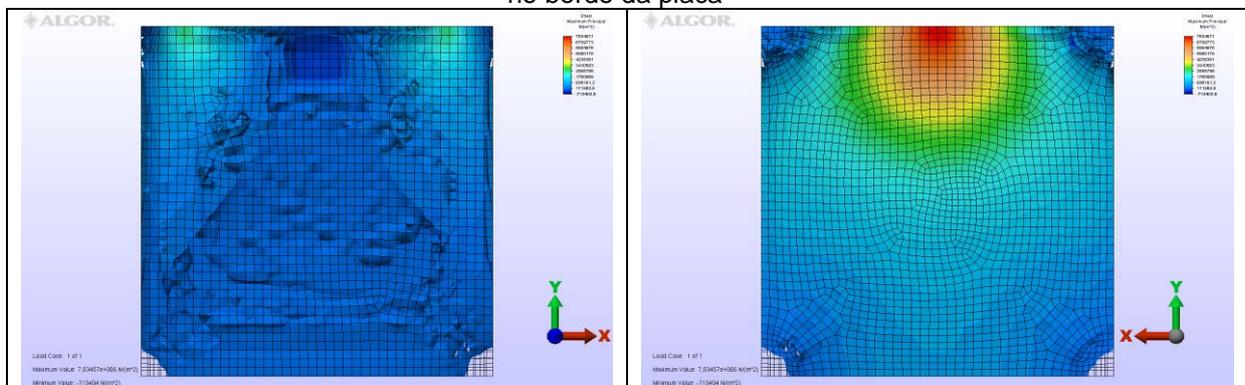
Face superior

Tensão máxima de compressão = 0,40 MPa.
Tensão máxima de tração = 0,64 MPa.

Face inferior

Tensão máxima de compressão = 0,82 MPa.
Tensão máxima de tração = 4,31 MPa.

Figuras 12 e 13 : Tensões máximas atuantes na face inferior da placa - Carga concentrada de 400kg no bordo da placa



Face superior

Tensão máxima de compressão = 0,47 MPa.
Tensão máxima de tração = 2,86 MPa.

Face inferior

Tensão máxima de compressão = 1,53 MPa.
Tensão máxima de tração = 7,99 MPa.

Considerando os critérios adotados pela ABNT NBR-6118:2003 para a estimativa da resistência média à tração do concreto utilizado ($f_{ck}=40\text{MPa.}$), sua capacidade resistente à tração seria da ordem de $2,46\text{MPa.}(f_{ctk,inf})$.

As tensões máximas de tração nas faces inferiores das placas, estimadas na análise elaborada, considerando os três tipos de carregamento, estimadas com base na análise matemática, são :

| Tipo de solicitação | Tensão (MPa.) | COMENTÁRIOS |
|---------------------|---------------|----------------------|
| Carga uniforme | 2,11 | < 2,46 MPa. → Ok |
| Carga no centro | 4,31 | > 2,46 MPa. → não Ok |
| Carga na borda | 7,99 | > 2,46 MPa. → não Ok |

Considerando esses resultados, foram elaborados alguns quesitos técnicos para a ação que a construtora moveria contra o fabricante das placas de concreto, especialmente aquelas que norteariam ensaios laboratoriais para confrontar seus resultados com as cargas máximas de roda especificadas pelo fabricante.

6. Ensaios realizados

Os ensaios foram realizados por Laboratório de materiais de construção civil de uma escola de engenharia de uma Universidade Federal, considerando apenas as duas últimas situações de carregamento (no centro e no bordo das placas) até atingir sua máxima resistência e consequente ruptura.

Foram realizados ensaios em 6 (seis) placas, que foram escolhidas por não apresentarem deficiências visíveis e aceitos pelo Perito do Juízo e pelos Assistentes Técnicos das partes.

As cargas foram aplicadas de forma monotônica, com emprego de um atuador hidráulico, distribuída em um círculo com diâmetro de 15,53 cm, por meio de uma placa de neoprene, sobreposta por uma rótula universal conectada ao cilindro do atuador hidráulico, totalmente apoiado sobre a amostra e tangenciando o lado escolhido, equidistante dos apoios adjacentes a esse mesmo lado.

A carga máxima prevista a ser aplicada em cada ensaio era de 400kgf ou outro valor, até a ruptura da amostra.

Durante os carregamentos, as placas serão monitoradas até o momento do aparecimento da primeira fissura na amostra, visível a olho nu.



Fotos 7 a 10 : Placa nº 1 – carga de bordo



Fotos 11 e 12 : Placa nº 2 – carga de bordo



Fotos 13 e 14 : Placa nº 3 – carga de bordo



Fotos 15 e 16 : Placa nº 4 – carga de bordo



Fotos 17 e 18 : Placa nº 5 – carga de bordo



Fotos 19 e 20 : Placa nº 6 – carga de bordo

RESUMO DOS RESULTADOS

| Placa | Força (kN) | Força (kgf) |
|-------|------------|-------------|
| 1 | 1,723 | 176,694 |
| 2 | 1,565 | 159,583 |
| 3 | 1,980 | 201,901 |
| 4 | 1,964 | 200,269 |
| 5 | 2,038 | 207,815 |
| 6 | 1,219 | 124,301 |

A perícia concluiu: “Os resultados obtidos nos testes de ruptura das placas indicaram os valores de 124,301 Kgf (Valor Mínimo) e de 207,815 Kgf (Valor Máximo). Esses valores são, portanto, inferiores ao valor de 400 Kgf por roda especificado e, portanto, prometido pela Requerida, o que confirma que as trincas e rupturas observados nessas placas resultaram das suas inadequações (baixas resistências de ruptura) para atuarem como piso do estacionamento, como pretendido pela Autora e como prometido pela Requerida.”

7. Conclusões

As estruturas se comportam como elas mesmas e que por isto cabe ao engenheiro de estruturas entender seu comportamento real e não esperar que a estrutura explique e justifique sua teoria ou modelo matemático adotado.

Ruína em elementos de concreto armado normalmente é caracterizada pela ruptura do concreto, independentemente de haver escoamento de suas armaduras, atingindo um *Estado último de ruptura*.

As placas fornecidas pelo fabricante deveriam ter sido dimensionadas considerando o Estádio I, onde não são permitidas fissuras de qualquer intensidade, com concreto de resistência à tração compatível com as tensões solicitantes, resguardados os coeficientes de segurança de força.

Para a hipótese de carregamento nos bordos das placas de concreto, considerando sua geometria e os valores estimados para as características do concreto, foi possível estimar analiticamente que a carga de ruptura das placas de concreto seria muito abaixo daquela especificada pelo fabricante (~123kgf.), aproximadamente equivalente ao menor valor obtido nos ensaios realizados.

8. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15805:2010**: placa de concreto para piso – requisitos e métodos de ensaios. ABNT:Belo Horizonte.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11802:1991**: pisos elevados. ABNT:Belo Horizonte.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2003**: projeto de estruturas de concreto – Procedimento. ABNT:Belo Horizonte.

BERNARDES, M. **Tecnologia construtiva de piso elevado para áreas externas de edifícios**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.