

VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO GARAGEM EM CONCRETO ARMADO NA CIDADE DE BELÉM-PA

Inês Sterphanne Gurjão Freitas¹

ines.sterphanne@gmail.com

Mayara Gonçalves Costa²

mavaracosta33@yahoo.com.br

Sara Ferreira Lobo³

saraferreiralobo@gmail.com

Rosalvo Rodrigues de Lima⁴

rosalvorlima@gmail.com

**Marcus Vinícius Pereira de
Freitas⁵**

mvpengenharia@hotmail.com

Maurício de Pina Ferreira⁶

mpinaf@gmail.com

ÁREA: PATOLOGIA

Resumo

Quando se projeta, se constrói ou se utiliza uma edificação, pode ocorrer o surgimento de patologias devido à falta de cuidados que garantam bom desempenho e vida útil da estrutura. Avaliar se a estrutura cumpre aos limites recomendados normativamente certifica a segurança e qualidade de utilização da edificação. Este trabalho apresenta uma construção anexa a um condomínio residencial, um edifício garagem, com estrutura em concreto armado composta por um pavimento térreo, um pavimento superior e cobertura em estrutura metálica, localizado na cidade de Belém/PA, onde passaram a ocorrer manifestações patológicas importantes, principalmente por meio de fissuração excessiva e flechas visualmente perceptíveis, diagnosticadas previamente em inspeções técnicas. O objetivo deste trabalho é verificar estruturalmente essa edificação, a partir do diagnóstico da situação convergindo para a definição das intervenções mais adequadas. A análise estrutural foi feita considerando a situação do edifício em uso através de modelagem computacional realizada por meio de um software comercial, AltoQi Eberick, considerando nessas simulações todas as prescrições presentes na ABNT NBR 6118 (2014). Dos resultados de deslocamentos e solicitações obtidos com a análise estrutural puderam ser feitas as verificações quanto aos Estado Limite de Serviço e Estado Limite Último. A conclusão é que intervenções urgentes precisam ser tomadas a fim de recompor o nível de segurança adequado para seu uso.

Palavras-chave: Manifestações patológicas
Concreto armado
Análise estrutural

¹ Graduanda em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

² Graduanda em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

³ Graduanda em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

⁴ Graduando em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

⁵ Mestrando em Engenharia Civil, FEC, PPGINDE, Universidade Federal do Pará.

⁶ Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Civil, ITEC, Universidade Federal do Pará.



VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO GARAJE EN CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE BELÉM-PA

Inês Sterphanne Gurjão Freitas⁴

ines.sterphanne@gmail.com

Mayara Gonçalves Costa⁵

mayaracosta33@yahoo.com.br

Sara Ferreira Lobo⁶

saraferreiralobo@gmail.com

Rosalvo Rodrigues de Lima⁴

rosalvorlima@gmail.com

**Marcus Vinícius Pereira de
Freitas⁵**

mvpengenharia@hotmail.com

Maurício de Pina Ferreira⁶

mpinaf@gmail.com

AREA: PATOLOGÍA

Resumen

Cuando se proyecta, se construye o se utiliza una edificación, puede ocurrir el surgimiento de patologías debido a la falta de cuidados que garanticen buen desempeño y vida útil de la estructura. Evaluar si la estructura cumple con los límites recomendados normativamente certifica la seguridad y calidad de utilización de la edificación. Este trabajo presenta una construcción anexa a un condominio residencial, un edificio garaje, con estructura en hormigón armado compuesta por una planta baja, un pavimento superior y cobertura en estructura metálica, ubicado en la ciudad de Belém/PA, donde pasaron a manosear patologías importantes, principalmente a través de la fisuración excesiva y flechas visualmente perceptibles, diagnosticadas previamente en inspecciones técnicas. El objetivo de este trabajo es verificar estructuralmente esa edificación, a partir del diagnóstico de la situación convergiendo para la definición de las intervenciones más adecuadas. El análisis estructural se hizo considerando la situación del edificio en uso a través del modelado computacional realizado por medio de un software comercial, AltoQi Eberick, considerando en esas simulaciones todas las prescripciones presentes en la ABNT NBR 6118 (2014). De los resultados de desplazamientos y solicitudes obtenidos con el análisis estructural pudieron efectuarse las verificaciones en cuanto al Estado Límite de Servicio y Estado Límite Último. La conclusión es que las intervenciones urgentes deben tomarse para recomponer el nivel de seguridad adecuado para su uso, respetada tanto como sea posible.

Palabras clave: Manifestaciones patológicas

Concreto armado

Análisis estructural

⁴ Graduanda em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

⁵ Graduanda em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

⁶ Graduanda em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

⁴ Graduando em Engenharia Civil, FEC, ITEC, Universidade Federal do Pará.

⁵ Mestrando em Engenharia Civil, FEC, PPGINDE, Universidade Federal do Pará.

⁶ Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Civil, ITEC, Universidade Federal do Pará.

Introdução

Uma edificação deve ser concebida de forma a garantir desempenho satisfatório em todas as funções para as quais foi idealizada. Erros de projeto ou execução, bem como uso inadequado, ausência de manutenção ou ainda mudanças na destinação de um edifício podem comprometer sua competência. No entanto, avaliar se a estrutura cumpre aos limites recomendados normativamente certifica a segurança e qualidade de utilização da edificação.

A ABNT NBR 8681:2003⁽¹⁾ define os estados limites de uma estrutura como sendo os “estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção”. Estes estados são divididos em Estados Limites Últimos, relacionados à ruína, e Estados Limites de Serviço, relacionados às exigências funcionais, tais como aparência, conforto dos usuários e durabilidade da estrutura.

A partir do conhecimento das recomendações normativas, do comportamento e características da estrutura e da manipulação de um software de análise estrutural é possível realizar uma análise completa e confiável. Além do mais, após esta etapa, é possível estabelecer as prováveis causas das manifestações patológicas na construção, bem como as possíveis medidas que visam corrigi-las.

No presente trabalho, fez-se uso do software comercial AltoQi Eberick para a modelagem computacional da edificação em estudo, que consiste em um edifício garagem anexo a um condomínio residencial com estrutura em concreto armado composta por um pavimento térreo, um pavimento superior e cobertura em estrutura metálica, localizado na cidade de Belém/Pa.

Relatos de moradores afirmam que o edifício era anteriormente utilizado por uma escola para abrigar salas de aula do ensino infantil, sendo mais tarde comprada e anexada ao condomínio, passando a funcionar como garagem. Foi quando as manifestações patológicas mais relevantes se apresentaram, principalmente na forma de deslocamentos e fissuração excessiva em elementos estruturais e de vedação.

Durante uma inspeção estrutural encontrou-se, ainda, processo iniciado de exposição e corrosão nas armaduras de lajes, vigas e pilares. Nela, também foi possível diagnosticar, preliminarmente, que as diversas fissuras eram provocadas por flexão, cisalhamento, corrosão e possivelmente por recalque das fundações. Algumas das imagens presentes no laudo de inspeção são mostradas na Figura 1.

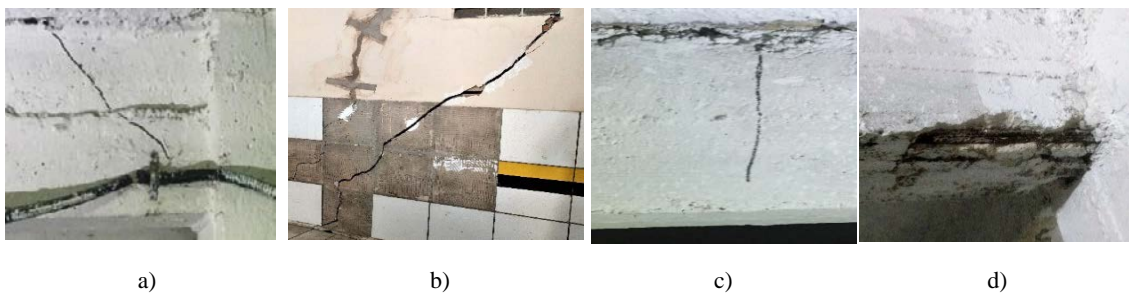


Figura 1 – Manifestações patológicas no edifício em estudo. a) Fissuras de cisalhamento; b) Rachadura em alvenaria; c) Fissuras de flexão; d) Exposição e corrosão de armadura.

Mediante a problemática descrita, torna-se de suma importância realizar uma análise estrutural da edificação em questão para identificar, de forma mais confiável, as possíveis causas das manifestações patológicas e, com isso, verificar o desempenho da estrutura, propiciando a prescrição das medidas corretivas mais adequadas. E, desse modo, evitar que acidentes aconteçam.

À vista disso, o objetivo deste estudo é realizar uma verificação estrutural do edifício garagem por meio de modelagem computacional, efetuando verificações quanto aos Estados Limites Últimos e Estados Limites de Serviço, analisando a capacidade resistente dos elementos estruturais e os valores de deslocamentos verticais e horizontais, tendo como base os limites da ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾. Pretende-se, ainda, executar uma avaliação das possíveis causas das presentes manifestações patológicas e recomendar soluções para os problemas manifestados.

Metodologia

A metodologia desenvolvida para a obtenção dos objetivos propostos envolveu as seguintes atividades:

- a) Atividades complementares de inspeção;
- b) Modelagem computacional do edifício utilizando para isso o software comercial AltoQi Eberick;
- c) Verificação dos Estados Limites de Serviço de Deformações Excessivas (ELS - DEF);
- d) Verificação da capacidade resistente dos elementos estruturais no Estado Limite Último (ELU);

Atividades complementares de inspeção

Os parâmetros viabilizados a partir da inspeção prévia e que serviram como dados de entrada para a modelagem computacional foram: dimensões dos elementos estruturais, resistência à compressão do concreto, taxa de armadura de alguns elementos estruturais e cobrimento das armaduras. As informações levantadas com as atividades complementares de campo foram: verificação da existência de pilares de canto nas alvenarias do pavimento superior, verificação das armaduras de engastamento das lajes, verificação da espessura da camada de revestimento e confirmação física da espessura das lajes existentes.

Modelagem Computacional

Para a análise estrutural do edifício, foi gerado um modelo computacional usando-se o software comercial AltoQi Eberick, considerando nestas simulações todas as recomendações apresentadas pela ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾. Os parâmetros e considerações adotados nesta modelagem serão apresentados nos subtópicos subsequentes.

- a) Propriedades dos materiais:

As resistências características à compressão (f_{ck}) adotadas no modelo computacional foram 23,4 MPa e 12,4 MPa para vigas e pilares, respectivamente, conforme fornecido pela inspeção. Para as lajes, não foi disponibilizado este dado, adotando-se, então, 20 MPa. A ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾, recomenda que para edificações em zonas urbanizadas sejam especificados concretos com f_{ck} mínimo de 25 MPa. É possível perceber que as resistências do concreto do edifício são inferiores ao mínimo recomendado pela norma.

O cobrimento nominal medido na inspeção foi inferior a 10 mm em todos elementos estruturais. O valor utilizado na modelagem foi de 10 mm. A ABNT NBR 6118 (2014) apresenta a recomendação de que no projeto de estruturas de concreto armado em zona urbana (CAAI), o cobrimento nominal das armaduras deve ser de 25 mm para lajes e 30 mm para pilares e vigas. Caso a construção seja feita com controle rigoroso das dimensões dos elementos, é permitida a redução em 5 mm dos valores listados acima. Ainda que se assumisse a hipótese favorável de controle rigoroso, o cobrimento das armaduras estaria abaixo do recomendado normativamente, não sendo suficiente para garantir a proteção adequada das armaduras contra corrosão.

A análise estrutural considerou tanto a não-linearidade geométrica quanto a física para o cálculo dos esforços e dimensionamento. A não linearidade geométrica é considerada pelo AltoQi Eberick pelo processo P-Delta, no qual cargas horizontais fictícias são aplicadas à edificação para simular o acréscimo de esforços devido ao efeito de 2ª ordem. A não linearidade física foi considerada de forma aproximada, tomando-se como rigidez dos elementos estruturais os valores apresentados nas equações 1 a 3, em conformidade com a ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾.

$$\text{Lajes: } (EI)_{sec} = 0,3E_{ci}I_c \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Vigas: } (EI)_{sec} &= 0,4E_{ci}I_c \text{ para } A_{s'} \neq A_s \\ (EI)_{sec} &= 0,3E_{ci}I_c \quad (EI)_{sec} = 0,5E_{ci}I_c \text{ para } A_{s'} = A_s \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{Pilares: } (EI)_{sec} = 0,8E_{ci}I_c \quad (3)$$

em que:

$(EI)_{sec}$ — rigidez secante;

E_{ci} — módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial do concreto;

I_c — momento de inércia da seção bruta de concreto;

A_s — área da seção transversal da armadura longitudinal de tração;

$A_{s'}$ — área da seção transversal da armadura longitudinal de compressão.

Na ausência sobre informações específicas sobre as fundações, elas foram assumidas como apoios de segundo gênero como blocos sobre estacas pré-moldadas.

b) Ações:

A sobrecarga de utilização assumida para as lajes da garagem foi de 3 kN/m², em conformidade com as recomendações apresentadas pela ABNT NBR 6120 (1980)⁽³⁾. Como revestimento, foi assumido um carregamento de 1 kN/m², tendo como base resultados obtidos no local após medição das camadas de contrapiso e piso. Para o telhado, foi considerado um carregamento de 0,7 kN/m², sendo aplicado nos pilares as reações concentradas da estrutura metálica. Para as alvenarias, foi considerado um peso específico de 13 kN/m³, valor recomendado pela ABNT NBR 6120 (1980)⁽³⁾ no caso de blocos artificiais de tijolos furados.

A ação do vento na estrutura foi considerada segundo as recomendações apresentadas pela ABNT NBR 6123 (1988)⁽⁴⁾. A partir das isopletas da velocidade básica do vento no Brasil, presente nesta norma, adotou-se para o município de Belém a velocidade de 32 m/s.

c) Estado-Limite de Deformações Excessivas (ELS-DEF):

As verificações de ELS nesta análise foram restringidas aos deslocamentos excessivos, tanto horizontais quanto verticais. Os limites considerados como de referência para esta verificação, baseados ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾, foram os relacionados com a possibilidade de danos em elementos não-estruturais, como paredes de alvenaria, uma vez que isto foi observado durante a inspeção estrutural. Para a verificação dos deslocamentos verticais, foi adotado o limite de

aceitabilidade sensorial. Nestes casos, a ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾ recomenda que os deslocamentos sejam menores que $L/250$, sendo L o vão do elemento estrutural.

d) Estado-Limite Último (ELU):

Foi realizada a verificação da capacidade resistente dos pilares, vigas e lajes, a fim de checar o nível de segurança da estrutura do edifício. A Figura 2 destaca as lajes e vigas do pavimento superior para as quais foram feitas as verificações da capacidade resistente à flexão, e, no caso das vigas, também da resistência ao cisalhamento e os pilares do edifício selecionados para a verificação da resistência à flexo-compressão. Esses elementos foram selecionados em função dos danos e manifestações patológicas observados no local durante a inspeção.



Figura 2 – Lajes, vigas e pilares verificados quanto ao ELU.

Na verificação das lajes, vigas e pilares foram assumidas hipóteses quanto às armaduras, como considerações de equivalência de quantidade e posicionamento de armaduras em elementos semelhantes. Considerou-se, ainda, as lajes sendo simplesmente apoiadas sobre as vigas, uma vez que a inspeção indicou que não existem armaduras de continuidade entre os painéis de laje.

O momento resistente das lajes foi calculado segundo a Teoria das Linhas de Ruptura, tendo como referência o livro de Park e Gamble (1999)⁽⁵⁾. O momento solicitante foi determinado na análise realizada pelo programa.

O momento resistente de cálculo das vigas foi determinado tendo como base as recomendações da ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾. A resistência ao cisalhamento das vigas foi verificada segundo o Modelo I de cálculo proposto pela ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾. O momento e esforço cortante solicitantes foram determinados na análise computacional.

Na verificação dos pilares quanto à flexo-compressão utilizou-se o Método do Pilar Padrão com Curvatura Aproximada, em conformidade com a ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾.

A partir dessas considerações, gerou-se o modelo computacional exibido na Figura 3.

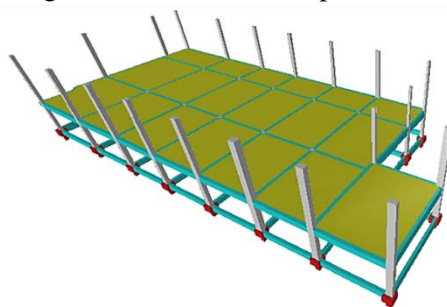


Figura 3 – Pórtico 3D do modelo computacional.

Análise dos Resultados

A partir dos resultados de deslocamentos e solicitações obtidos com a análise computacional puderam ser feitas as verificações quanto aos ELS-DEF e ELU.

Estado-Limite de Deformações Excessivas (ELS-DEF)

A Tabela 1 compara os deslocamentos horizontais máximos obtidos na análise estrutural, tanto de maneira global quanto separadamente (entre pavimentos) com os limites recomendados pela ABNT NBR 6118 (2014).

Tabela 2 – Deslocamentos horizontais

Parâmetro	$\delta_{\text{verif.}}$ (cm)	Limite NBR 6118/2014 (cm)	Situação
$\delta_{\text{max, glob}}$	3,40	4,50	Atende
$\delta_{\text{max, pav.}}$	3,40	4,40	Atende

Portanto, os deslocamentos horizontais atendem aos limites normativos. No entanto, na direção vertical, os resultados evidenciaram quais elementos estruturais possuem deslocamentos verticais excessivos. Foi o caso das lajes L1, L7 e L13 do pavimento superior, mostradas na Figura 4, que apresentam deslocamentos maiores que o recomendado pela ABNT NBR 6118 (2014).

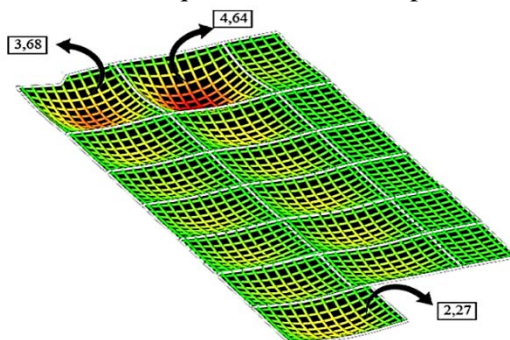


Figura 4 – Deslocamentos verticais das lajes do pavimento superior (valores em cm).

Extrapolar o limite normativo não foi o caso das vigas V2, V4 e V14, porém esses elementos merecem destaque por apresentarem flechas elevadas em comparação as demais vigas do pavimento superior. É o que pode ser observado na Figura 5.

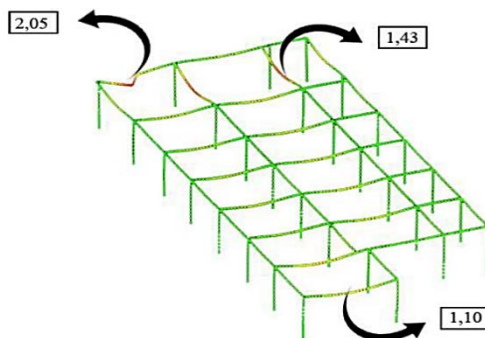


Figura 5 – Deslocamentos verticais das vigas do pavimento superior (valores em cm).

Sendo assim, ficaram definidas regiões no pavimento superior onde, em relação ao Estado Limite de Deformações Excessivas, as vigas V2, V4 e V14, juntamente com as lajes L1, L7 e L13, formam áreas críticas.

Estado Limite Último (ELU)

a) Lajes do pavimento superior:

No gráfico da Figura 6 são mostrados para as lajes verificadas, destacadas na Figura 2, um comparativo entre os resultados para momento resistente de cálculo (M_{Rd}) e o momento solicitante de cálculo (M_{Sd}).

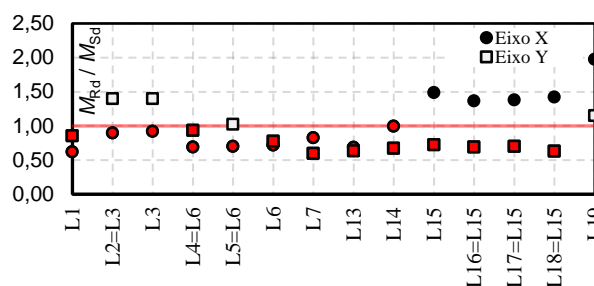


Figura 6 – Comparativo resistência/solicitante à flexão das lajes do pavimento superior.

É possível constatar que em todas as lajes analisadas, com exceção da laje L19, ao menos em uma direção a solicitação apresenta-se maior que a resistência, configurando não conformidade com a ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾.

b) Vigas do piso do pavimento superior:

Na verificação de vigas são comparados os resultados de solicitação e resistência à flexão e ao cisalhamento.

Na comparação à flexão, a partir do momento resistente de cálculo (M_{Rd}) e o momento solicitante de cálculo (M_{Sd}), constatou-se que as vigas V2 e V4 apresentaram níveis de segurança inferiores aos estipulados pela ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾, visto que, nestes dois casos, a solicitação é maior que a resistência (Figura 7).

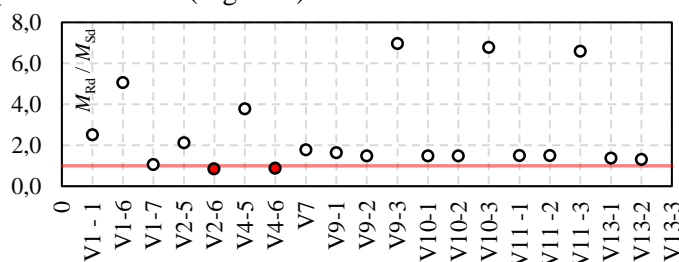


Figura 7 – Comparativo resistência/solicitante à flexão das vigas do pavimento superior.

Quando a verificação feita para o cisalhamento, como mostra a Figura 8, apenas a viga V2 apresentou-se em situação em que o esforço cortante solicitante de cálculo (V_{Sd}) é superior ao esforço cortante resistente de cálculo (V_{Rd}).

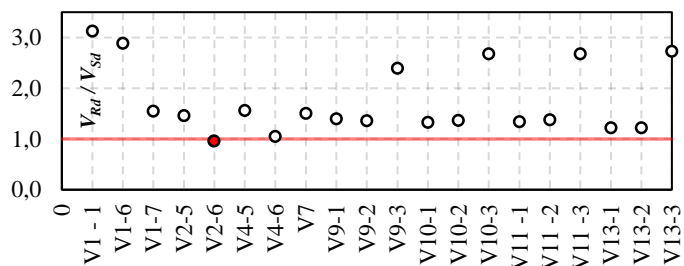


Figura 8 – Comparativo resistência/solicitante ao cisalhamento das vigas do pavimento superior.

c) Pilares:

Todos os pilares exibidos na Figura 2 tiveram sua resistência verificada quanto à flexo-compressão. Todos os pilares verificados estavam com níveis de segurança adequados, com exceção dos pilares apresentados na Figura 9, sendo estes os pilares P13, P14 e P22. Na figura a seguir, as envoltórias na cor azul são para as resistências de projeto, enquanto as exibidas em vermelho são envoltórias para carga e momentos que não foram minorados. Os pontos pretos correspondem às combinações de ações.

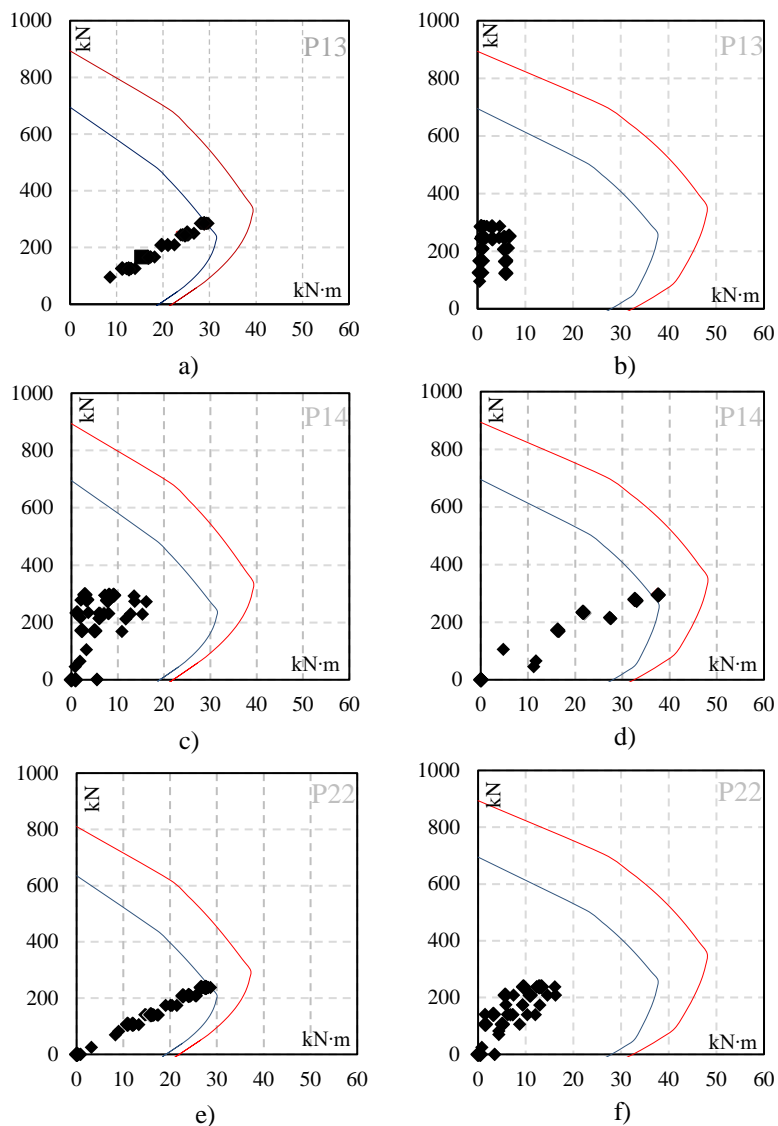


Figura 9 – Envoltória de resistência para P13, P14 e P2, respectivamente. a) c) e) Momentos fletores na direção x. b) d) f) Momentos fletores na direção y.

Os pilares mostrados na Figura 9 encontram-se, para as combinações de ações mais desfavoráveis, fora da envoltória de resistência de projeto em alguma direção, em discordância com a ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾.

Conclusões

Os resultados para os deslocamentos horizontais da estrutura apresentam-se dentro dos limites seguros estipulados pela ABNT NBR 6118 (2014)⁽²⁾. Há ainda os deslocamentos verticais, que mesmo sendo elevados para determinados elementos, não justificam o atual estado de deterioração do edifício, nem as manifestações patológicas observadas. A verificação da capacidade resistente de pilares, vigas e lajes, evidenciam, ainda, que diversos elementos estruturais apresentam nível de segurança inferior ao recomendável.

É válido considerar o fato de que a edificação tratada neste trabalho não foi projetada para uso de garagem e sim para abrigar salas de aula para ensino infantil, como foi durante muitos anos. Esta mudança no uso fez com que a alteração/acréscimo de carregamento, somado à um projeto mal elaborado e uma execução mal realizada, visto que a edificação não possui sequer adequados cobrimento e resistência à compressão do concreto, possam ser responsáveis pelas grandes deformações verticais, obtidas da modelagem computacional, e parte da fissuração excessiva, registrada em inspeção, bem como por vários elementos estruturais, principalmente as lajes, estarem sendo solicitados além da sua capacidade resistente, provavelmente em virtude de estacionar e circular elevado número e peso dos carros que ocupam as vagas de garagem.

Em todo o edifício haviam sido observadas, durante inspeção, muitas fissuras características de cisalhamento, tanto em vigas quanto na alvenaria. Na verificação quanto ao cisalhamento das vigas foi possível constatar que apenas uma viga estava com resistência abaixo do que lhe era solicitado, o que não justifica o excesso de fissuração de cisalhamento.

Dessa forma, a partir da análise realizada, acrescida das manifestações patológicas registradas na inspeção, como o excesso de fissuração de cisalhamento, a causa de tais danos, provavelmente, é recalque diferencial das fundações, e, por esse motivo, sobre elas devem-se concentrar as intervenções feitas por meio de reparo e reforço estrutural em caráter de urgência. Para tanto, é necessário realizar um estudo geotécnico no local, a fim de identificar as fundações utilizadas e estudar o solo em questão, visando encontrar a solução de reforço mais adequada para o combate a este recalque.

Deve-se, ainda, reforçar os elementos apontados nesta análise que não atendem aos níveis de segurança estabelecidos normativamente. Nas vigas e pilares o reforço pode ser feito por meio de encamisamento de concreto armado, provocando aumento de seção e possuindo suporte de novas armaduras, devidamente recalculadas. As lajes podem ser reforçadas com a criação de novas vigas, que diminuiriam os vãos das lajes. Pequenos reparos também são recomendados para qualquer outro elemento que na situação atual cause desconforto visual e sensorial aos usuários.

Referências Bibliográficas

- (1) Associação brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- (2) Associação brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, 2014.



- (3) Associação brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.
- (4) Associação brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6123 – Forças devidas ao vento nas edificações**. Rio de Janeiro, 1988.
- (5) PARK, R. GAMBLE, W. **Reinforced Concrete Slabs**. New York: John Wiley & Son, In, 1999.