ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE PROJETO E CONSTRUÇÃO EM UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

ALMEIDA, Luiz Carlos[1], TRAUTWEIN, Leandro M. [2], BASAGLIA, Cilmar[3]

[1]Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Prof. Doutor, e-mail: almeida@fec.unicamp.br
[2] Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Prof.Doutor, e-mail: leandromt@fec.unicamp.br
[3] Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Professor Doutor, e-mail: cbasaglia@fec.unicamp.br

RESUMO

Apesar do desenvolvimento da tecnologia da construção civil, parte dos edifícios não tem apresentado desempenho satisfatório. Muito das obras que estão sendo realizadas atualmente começam apresentar patologias, mesmo antes de serem inauguradas, devido às manifestações patológicas de projeto e de construção. Diagnosticar as manifestações patológicas nas construções de projeto ou de execução é de fundamental importância para que as estruturas apresentem um desempenho satisfatório, no que diz respeito à estabilidade, estética, serviço e, principalmente, durabilidade da mesma com relação às condições a que está submetida. A partir do diagnóstico, podem ser tomadas medidas de reparo, recuperação ou reforço a depender do grau de intensidade do dano. As manifestações patológicas podem se apresentar de variadas formas e podem existir diferentes causas para a origem de uma mesma patologia. Este estudo tem como objetivo avaliar as manifestações patológicas construtivas e de projeto existente em uma obra de concreto armado de grande porte, ainda em execução, procurando compreender as suas origens, apresentar os efeitos causados, e buscar uma possível solução para o problema apresentado. Para detectar as manifestações patológicas observadas nesta obra de concreto armado, foram realizadas visitas técnicas, estudo detalhado do projeto estrutural e análise numérica da estrutura utilizando o Ansys, software baseado no Método dos Elementos Finitos.

Palavras chave: concreto armado; manifestações patológicas; projeto; construção; análise numérica.

ABSTRACT

Despite the development of the building construction technology, most of the buildings have not shown satisfactory performance. Currently, many constructions exhibit design and construction pathologies, even before they are inaugurated. Diagnose pathologies during the design and construction is fundamental, so that the building shown satisfactory performance associated with the stability, esthetics, service and durability. Based on the early diagnosis of pathologies, efficient rehabilitation techniques can be employed. These pathologies can present in different ways and may have different causes for the origin of the same pathology. The aim of this work is to evaluate the design and construction pathologies of a large reinforced concrete building under construction, seeking to understand its origins, present the effects caused and present possible solutions to the existing problems. In order to achieve this goal, technical visits, detailed study of the structural design and finite element numerical analysis were performed in the program of fine element Ansys.

Keywords: reinforced concrete; pathologies; design, construction, numerical analysis.

1. INTRODUÇÃO

A patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema (Helene, 1992).

Segundo Azeredo (1987), patologia é a parte da engenharia que estuda as causas, origens e natureza dos defeitos e falhas que surgem em edificação. Após sua manifestação, dependendo da gravidade do caso, a patologia pode migrar para a lesão que é a consequência final.

Os problemas patológicos, na maioria dos casos apresentam manifestação externa característica, o que facilita identificar qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos e também estimar suas prováveis consequências. Helene (1992) ainda afirma em relação à recuperação dos problemas patológicos, que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, simples e de baixo custo quanto mais cedo forem executadas.

Para Helene (2002), pode-se dividir o processo de construção em cinco fases: planejamento, projetos, materiais a serem utilizados, execução e utilização da edificação. A qualidade obtida em cada etapa tem sua devida importância no produto final, assim como na satisfação do usuário e principalmente no controle da incidência de manifestações patológicas.

Segundo Carmo (2003), os problemas patológicos têm origem relacionada a algum erro ou falha cometida em pelo menos uma das fases do processo de construção, e sua ocorrência está associada a um conjunto de sintomas ou manifestações que são características, apresentadas durante a execução ou uso da edificação, podendo se tornar evidentes já no início da construção ou após a conclusão da obra.

De acordo com Cánovas (1988), a patologia de execução pode ser consequência da patologia de projeto, havendo uma estreita relação entre elas. Entretanto, isso não quer dizer que a patologia de projeto sendo nula, a de execução também não existirá. Mesmo com projetos de qualidade não desaparecerão os erros de execução, embora seja verdade que podem ser reduzidos ao mínimo caso a execução seja realizada seguindo um bom projeto e com uma fiscalização intensa.

Diversos pesquisadores têm procurado relacionar os problemas patológicos que aparecem nas edificações, percentualmente. Os resultados nem sempre são concordantes, provavelmente pelos estudos serem realizados em diferentes continentes e, também devido a variabilidade de problemas torna difícil à identificação da principal causa (SOUZA, 2005). Os maiores percentuais de principal causa estão relacionados com a fase de projeto e de execução (Tabela 1).

Na fase de projeto, os problemas podem surgir nas etapas de concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e emissão de plantas, por isso a importância de se elaborarem projetos de qualidade. Souza (2005) destaca algumas falhas detectadas na fase de projeto: levantamento inadequado das ações atuantes ou de combinações mais desfavoráveis; modelo analítico ou estrutural adotado inadequado; deficiência no dimensionamento da estrutura; falta de compatibilização entre o projeto de estrutura e o arquitetônico e os demais projetos civis; detalhes construtivos insuficientes.

Tabela 1: Análise percentual das causas de problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis.

ETAPA	***Grunau (1981) apud Helene (1992)***	***Dórea e Silvia (1999)***
PROJETO	40%	28%
EXECUÇÃO	28%	45%
MATERIAIS	18%	5%
USO	10%	11%
OUTROS	4%	9%

Com relação às manifestações patológicas que surgem durante a fase de execução da estrutura estas podem estar relacionadas a falta de mão de obra qualificada e também a falta de acompanhamento do engenheiro responsável para fiscalização e verificação dos trabalhos executados como controle do traço do concreto, locação dos elementos estruturais, travamento de fôrmas e escoramento, posicionamento da armadura além de outras atividades.

O objetivo da avaliação das manifestações patológicas apresentada neste trabalho é retratar as diversas falhas encontradas em uma obra de concreto armado de grande porte, ainda em execução na Universidade Estadual de Campinas, a fim de examinar as diversas manifestações patológicas ali presentes, para poder compor um diagnóstico, a partir da origem dos efeitos causados e ainda sugerir intervenções corretivas apropriadas. Para detectar as patologias observadas nesta obra, foram realizadas visitas técnicas, estudo detalhado do projeto estrutural, do arquitetônico, e da fundação, análises de levantamentos topográficos de nivelamento de elementos da estrutura, arquivos fotográficos, documentos existentes da construção e também foi realizada uma análise numérica da estrutura utilizando o software Ansys, baseado no Método dos Elementos Finitos.

2. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

Trata-se de um edifício concebido em dois módulos – (i) módulo principal e (ii) módulo anexo: prédio de acesso, composto de 3 pavimentos, mezanino, cobertura geral e um subsolo, conforme mostram as Figuras 1 e 2.

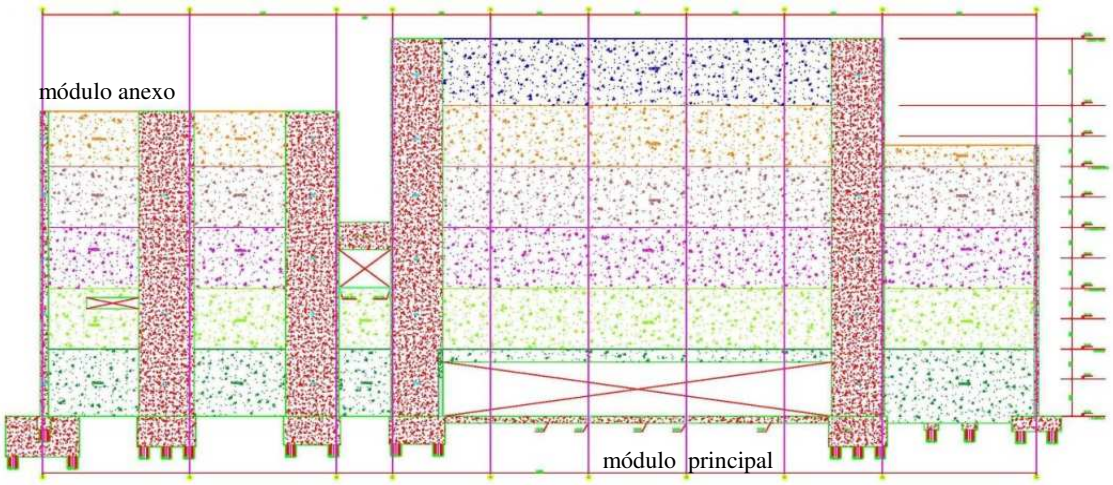


Figura 1 – Vista lateral dos dois blocos – módulo principal e anexo.

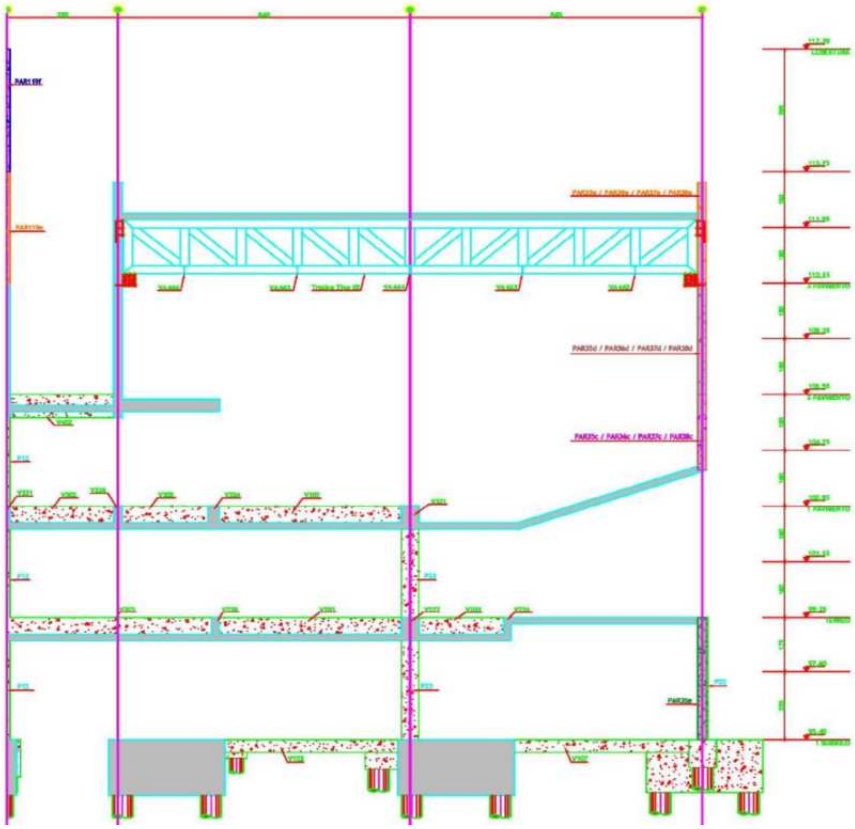


Figura 2 – Corte esquemático do prédio de acesso (módulo anexo).

Grande parte da estrutura do módulo principal e do prédio de acesso (módulo anexo) é em concreto armado, com lajes maciças para os pisos (apoiados em vigas de concreto). Porém, na

cobertura, a laje é composta por uma pré-laje protendida alveolar com capa de concreto executado em obra, esta apoiada em treliças metálicas. O fechamento dos módulos foi executado com paredes de concreto armado com 25 cm de espessura. A maioria das vigas, na parte interna, está apoiada em pilares também de concreto armado. A fundação foi executa em blocos de concreto armado sobre estacas, com vigas baldrames. Completando a estrutura, foram projetados elementos metálicos de apoio, como pilares e tirantes que são de extrema importância para o equilíbrio e estabilidade estrutural.

A cobertura foi projetada em estrutura metálica para receber telhas com isolamento térmico e acústico, e também algumas estruturas internas auxiliares foram executadas em elementos metálicos.

3. ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

A partir dos projetos estruturais, procurou-se entender a concepção estrutural e, desta análise, elaborou-se um roteiro para a vistoria ao prédio em busca das manifestações patológicas inicialmente relatadas. Foi realizada uma inspeção visual detalhada em todo o conjunto da edificação com um completo levantamento fotográfico das patologias encontradas.

Para melhor entender o comportamento estrutural, foram realizadas modelagens da estrutura do prédio de acesso no programa computacional de elementos finitos Ansys, considerando as condições de contorno, os carregamentos (peso próprio da estrutura) e seus efeitos sobre a estrutura. Na busca de novas patologias, uma vistoria complementar foi realizada, agora orientada pelos resultados obtidos por meio das análises numéricas realizadas.

Após as vistorias, inspeções, análises criteriosas e minuciosas no projeto estrutural de fundação, infraestrutura e superestrutura, das modelagens numéricas realizadas, e investigações, pôde-se entender o estado de deformação encontrado na estrutura do prédio de acesso e constatar, duas origens distintas das patologias. Uma delas oriunda dos vícios de construção e a outra devido a falhas no modelo estrutural adotado durante o dimensionamento da estrutura.

3.1 Grandes deslocamentos nas vigas do térreo, primeiro e segundo pavimento

Foi observado um grande deslocamento vertical na viga V228 (do pavimento térreo) após a retirada do escoramento – como mostra a foto da Figura 3, provocado pela ausência da execução dos pilares metálicos (PM1 e PM2) para sustentação dessa viga. Foi realizada a medida dos deslocamentos verticais da viga V228, onde se constatou que o deslocamento máximo medido foi de 9,6 cm. Após a constatação da ausência dos pilares PM1 e PM2, foi providenciada a colocação dos mesmos e o reescoramento da estrutura, como pode ser observado na foto da Figura 4.



Figura 3 – Vista da viga V228 do pavimento térreo do prédio de acesso sem os pilares PM1 e PM2.



Figura 4 – Vista da viga V228 do pavimento térreo do prédio de acesso com os pilares PM1 e PM2 colocados posteriormente.

Na viga V326 do primeiro pavimento, também foi observado um grande deslocamento vertical após a retirada dos escoramentos, como pode ser observado na foto da Figura 5, onde também pode ser constatado que um dos tirantes está sendo refeito, pois os chumbadores falharam. Nas medições realizadas foi constado nesta viga um deslocamento máximo vertical de 23,4 cm. A Figura 6 apresenta a foto da estrutura já com os tirantes executados com os novos chumbadores e a estrutura reescorada.

Na viga parede Par118d e na laje L401 do segundo pavimento, também foi observado um grande deslocamento e giro após a retirada do escoramento, como pode ser observado nas fotos das Figuras 7 e 8. Nas medições realizadas após o reescoramento da viga, observou-se que o deslocamento máximo na viga parede Par118d foi de 17,5 cm e na extremidade da laje L401 foi de 15,8 cm. Segundo relatos obtidos, na execução dessa região da estrutura ocorreu rompimento de partes do escoramento.



Figura 5 – Vista dos tirantes entre as viga V326 e Viga parede Par118d um detalhe do tirante recortado para a recolocação.



Figura 6 – Vista externa da viga V326, da viga parede Par118d e dos Tirantes.



Figura 7 – Vistas da viga parede Par118d e da laje L401.



Figura 8 – Vista da deformação na viga parede Par118d e da laje L401.

3.2 Fissuras nas lajes, vigas, pilares e paredes do prédio de acesso

As lajes localizadas na interligação dos dois blocos encontram-se fissuradas como pode ser verificado nas fotos da Figura 9. Estas fissuras foram provocadas pelos deslocamentos que ocorreram em um dos apoios da laje. As vigas dos pisos dos pavimentos encontram-se fissuradas, como pode ser observado nas fotos da Figura 10, estas fissuras foram provocadas pelos deslocamentos não previstos que ocorreram nas vigas.

Na viga parede Par118d também foram encontradas fissuras generalizadas na região próxima ao pilar P5, ao lado da grande janela – estas fissuras são típicas de cisalhamento exagerado na região, como está apresentado nas fotos da Figura 11.

A foto da Figura 12 mostra a vista da parede Par118d e as aberturas com dois pilares dividindo o vão, pilares estes posicionados logo abaixo dos consolos de apoio das vigas de cobertura. Estes pilares foram adicionados após o início da obra e apresentam as fissuras encontradas nesses pilares.



Figura 9 – Vista das trincas na laje L402.



Figura 10 – Vista das trincas na viga V326.



Figura 11 – Vista das trincas na viga parede Par118d.



Figura 12– Vista das dos pilares na janela da viga parede Par118d.

3.3 Falhas de execução

Na foto da Figura 13 pode-se constatar que o tirante está desalinhado da viga V307, indicando um erro de locação, pois estes estão alinhados no projeto. Foram constatados também diversos locais com as armaduras expostas.

Para realizar o mapeamento não destrutivo da estrutura de concreto que estavam com as armaduras expostas e detectar o cobrimento real da estrutura foi o utilizado o equipamento GPR (Ground Penetration Radar). As imagens das Figuras 14 e 15 foram obtidas com a utilização do GPR quando aplicado sobre as superfícies laterais da viga V307. Nas imagens é possível identificar a posição das armaduras no interior da viga e também os cobrimentos máximos e mínimos. Deste modo pode-se identificar os cobrimentos variando de 2 cm a 6 cm, na imagem da Figura 14, e variando de zero a 4 cm na imagem da Figura 15. A foto da Figura 16 é um trecho da viga V307 que mostra armaduras expostas, o que vem validar os resultados obtidos através do GPR.



Figura 13 – Vista da locação do tirante e da viga V307.

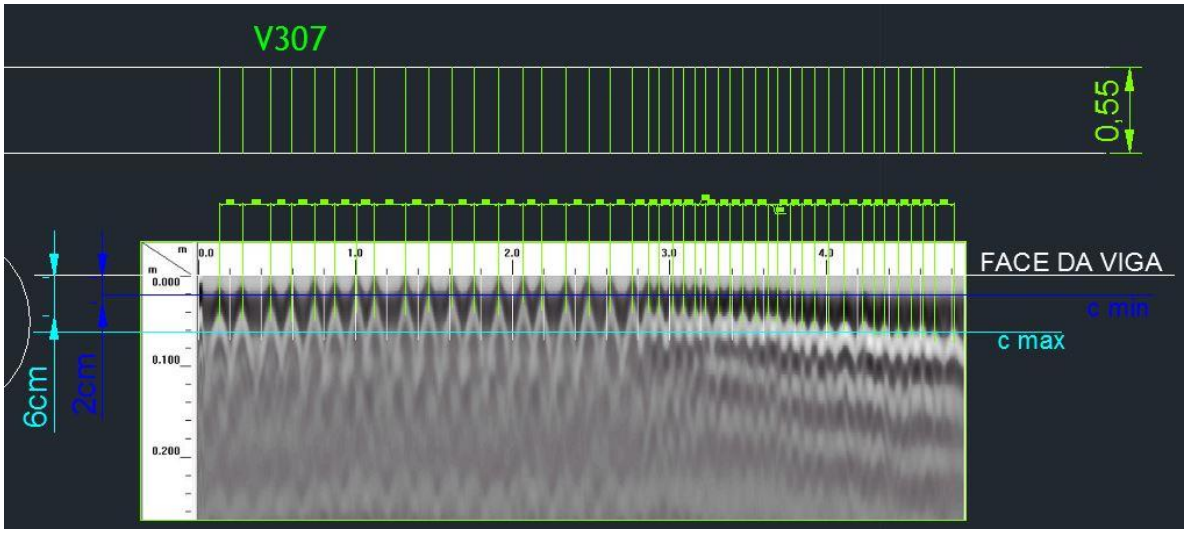


Figura 14 – Vista da armadura exposta na viga V307.

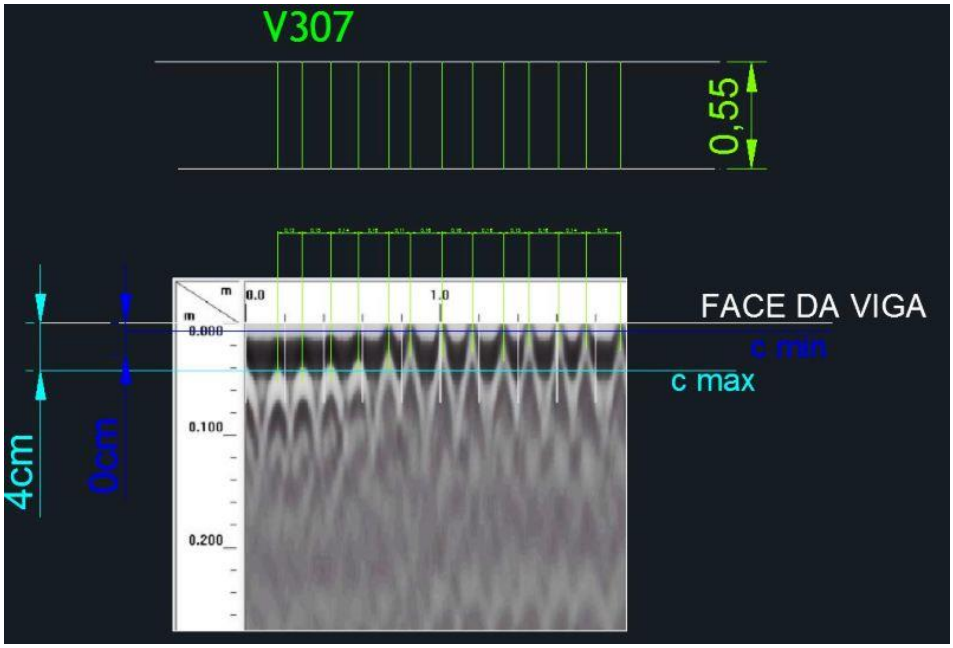


Figura 15 – Vista da armadura exposta na viga V307.

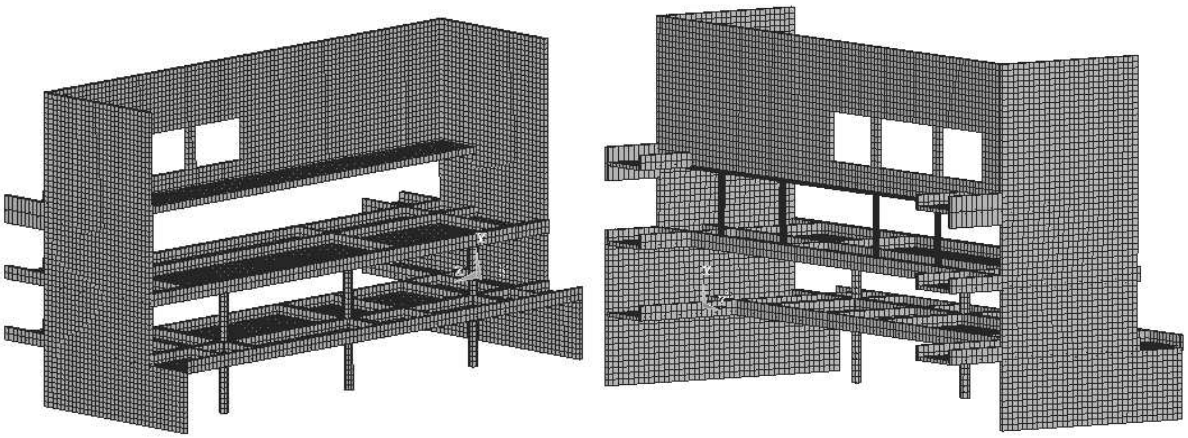

Figura 16 – Vista da armadura exposta na viga V307.

4. ANÁLISE NUMÉRICA

O objetivo deste item é apresentar o modelo em elementos finitos desenvolvido para analisar os deslocamentos e as distribuições de tensões que ocorrem na estrutura de concreto do Prédio de acesso. A estrutura do edifício foi modelada numericamente no programa computacional Ansys, cujas lajes, paredes e vigas paredes foram discretizadas por meio de elementos finitos

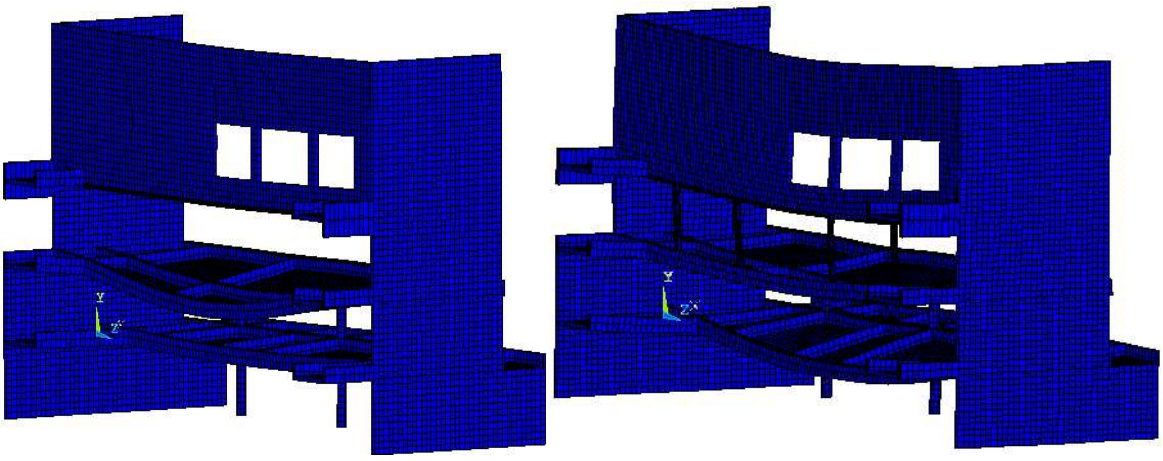
de casca Shell181, e os pilares e vigas através de elementos finitos de barra Beam189. No modelo numérico, a resistência a compressão do concreto foi adotada igual a 30 MPa, conforme dados apresentados em projeto. O módulo de elasticidade secante do concreto foi calculado conforme o item 8.2.8 da NBR 6118:2007. O peso específico do concreto armado foi considerado conforme o item 8.2.2 da NBR 6118:2007 (2500 Kgf./m³). A não linearidade física dos materiais foi considerada conforme o item 15.7.3 da NBR 6118:2007. Foram realizados dois modelos, considerando apenas a ação do peso próprio da estrutura, procurando representar a forma como foi construída a estrutura – i.e., estrutura "as-built". O primeiro modelo (Modelo A), sem a presença dos tirantes, já que os chumbadores foram inadequados e também sem os pilares metálicos. O segundo modelo (Modelo B) com os tirantes metálicos e sem a presença dos pilares metálicos no térreo. A Figura 17 mostra a geometria dos modelos A e B realizados – a qual obedece as dimensões e as condições de contorno estabelecidas em projeto.

A Figura 18 mostra a configuração deformada (ampliada) para os modelos A e B. Para o modelo A, obteve-se uma flecha vertical máxima de 11,4 cm na viga V326 (1º pavimento) e 3.0 cm na viga V228 (térreo). No modelo B, a flecha vertical máxima foi de 1,8 cm na viga V326 (1º pavimento) e 3,3 cm na viga V228 (térreo). É importante ressaltar que para nenhum dos dois modelos foi considerada a fluência do material. Com relação as tensões tangenciais na parede Par118d para o modelo A, estas variaram de –2.5MPa (compressão) a +5.0MPa (tração). Para o modelo B os valores das tensões variaram de –2.9MPa (compressão) a +6.3MPa (tração).Essa elevada concentração de tensões de tração justifica a presença de trincas nesta região da estrutura executada (Figura 11). A Figura 19 mostra a distribuição das tensões tangenciais no lado interno da viga parede Par118d para o modelo B.



Modelo A **Modelo B**

Figura 17 – Vista da geometria do modelo.



Modelo A **Modelo B**

Figura 18 –Configuração deformada.

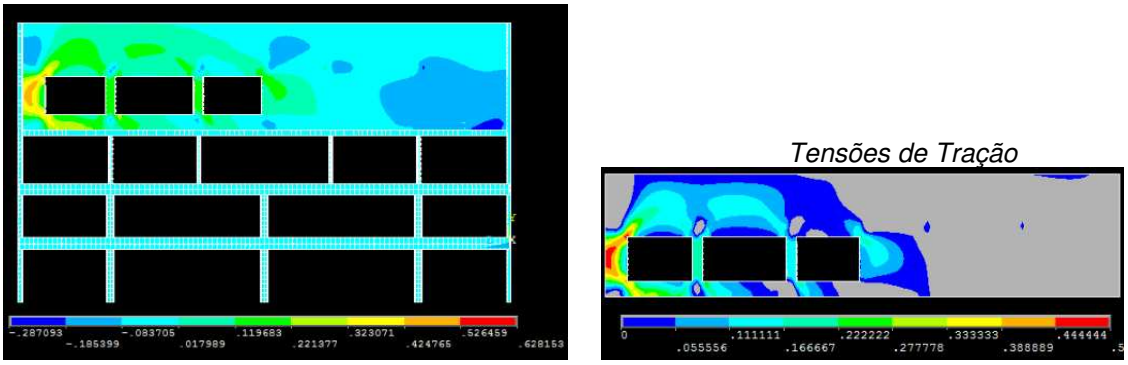


Figura 19 – Modelo B: tensões de cisalhamento (kN/cm2).

5. CONCLUSÕES

Com base nas vistorias e investigações realizadas no prédio anexo e nas análises numéricas apresentadas, pode-se concluir que a execução da obra comprometeu significativamente o comportamento da estrutura. A presença de vários vícios de construção (por exemplo, desalinhamento de formas, desrespeito ao cobrimento da armadura, falhas de concretagem etc.), muitos deles têm sua origem na baixa qualidade da mão de obra empregada. A não execução dos pilares metálicos PM1 e PM2 provocou grandes deslocamentos na estrutura do piso térreo e o aparecimento de fissuras exageradas em várias vigas. A utilização de chumbadores inadequados para os tirantes metálicos não resistiram o peso próprio da estrutura, após a retirada dos escoramentos, o que ocasionou grandes deslocamentos e fissuras nas lajes e vigas do primeiro piso.

A partir das conclusões obtidas, recomendam-se as seguintes intervenções no prédio anexo:

- Macaqueamento dos pavimentos que sofreram grandes deslocamentos, para alivio do peso próprio suportado por outros elementos, quando da redistribuição dos esforços;
- Execução de quatro colunas circulares apoiadas em blocos de fundação sobre estacas, para suportar e reforçar a viga parede Par118d (Figura 20);
- Execução de quatro colunas circulares apoiadas em blocos de fundação sobre estacas, para suportar e reforçar a viga V228 (Figura 20);
- Reforço com fibras de carbono na região fissurada da viga parede Par118d;
- Reforço com fibras de carbono em vigas do térreo e do primeiro pavimento, em especial as vigas V228 e V326.

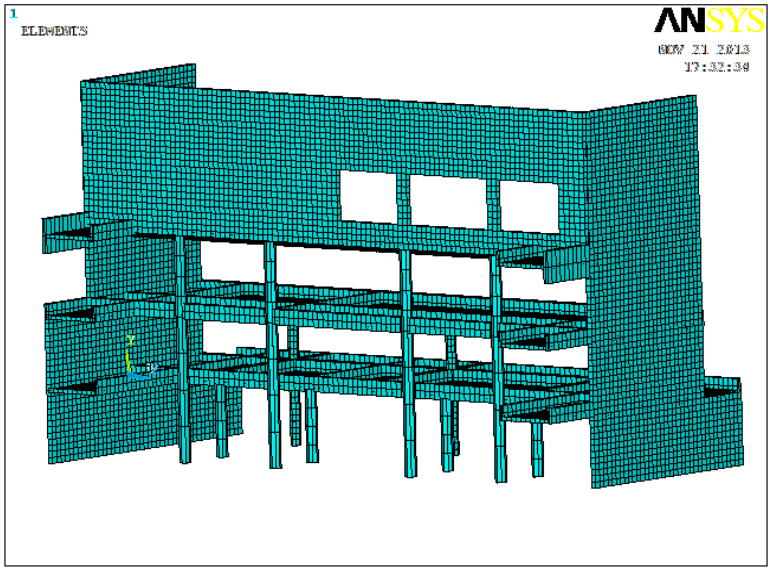


Figura 20 – Modelo numérico da solução proposta para recuperação da estrutura.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118:2007. Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro.

AZEVEDO, H. **O edifício até sua cobertura**, 2ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997.

CÁNOVAS, Manuel F. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução de M. Celeste Marcondes, Beatriz Cannabrava. São Paulo: PINI, 1988.

CARMO, Paulo Obregon do. **Patologia das Construções**. In: Programa de Atualização Profissional. UFSM. Santa Maria: CREA-RS, 2003

DÓREA, Sandra C.; SILVA, Laércio F. **Estudo sobre índices da patologia das construções paralelo entre a situação mundial e a Brasileira**. In: V Congresso Iberoamericano da patologia de las construciones – CONPAT 99. Montevideo – Uruguai. p. 609-616.

HELENE, Paulo R. L. **Manual para Reparo, reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ª ed. – São Paulo: PINI, 1992. 213 p.

SOUZA, Vicente Custódio de & Ripper, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo: Pini, 2005.

SWANSON ANALYSIS SYSTEMS (2010), **Ansys Reference Manual** (version 13).