https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.083

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

ANÁLISE E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO MISTA EM CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL, CONSIDERANDO O FASEAMENTO CONSTRUTIVO E O EFEITO ARCO

Mainara Ridiani Palcikoski[1], Almir Barros da S. Santos Neto[2]*; André Lübeck[3]
*Autor de contato: almir.neto@ufsm.br (marcado com um asterisco entre os autores)

[1] Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
[2] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
[3] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de caso de um edifício multifamiliar localizado na cidade de Santa Maria/RS, que apresenta manifestações patológicas, deformações excessivas e intensa fissuração nas vigas do pavimento de transição concreto-alvenaria, especialmente fissuras de cisalhamento nas ligações viga-pilar. A estrutura é mista, possuindo um pavimento de subsolo em concreto armado e quatro pavimentos em alvenaria estrutural. Foram realizadas vistorias para avaliação e registro das manifestações patológicas, conferência das dimensões dos elementos, além extração de testemunhos para determinação da resistência à compressão do concreto e sondagem por pacometria para conferência das armaduras. Esse levantamento forneceu subsídios para o recálculo da estrutura. Em um primeiro momento foi realizada uma análise elástico linear da estrutura, considerando as alvenarias como carregamento, utilizando o programa Eberick V21. Nessa análise não foi possível reproduzir os valores de esforços que justificassem as regiões fissuradas observadas *in loco*. Os resultados indicavam que as vigas romperiam à flexão e não cisalhamento. Na sequência, uma segunda análise foi realizada, utilizando o programa SAP2000 V18, e modelando a estrutura de alvenaria e de concreto em conjunto, considerando ainda o efeito construtivo. Nessa segunda análise, observou-se a redistribuição dos esforços, com formação do efeito arco nas alvenarias e concentração de carregamentos nas regiões próximas aos pilares, justificando o panorama de fissuração observado *in loco*. Avaliando o projeto estrutural original, constatou-se a falta de armadura de cisalhamento em algumas vigas, nas regiões fissuradas.
Palavras-chave: Patologias das estruturas, Concreto Armado, Alvenaria estrutural, Efeito arco, Efeito construtivo.

ABSTRACT

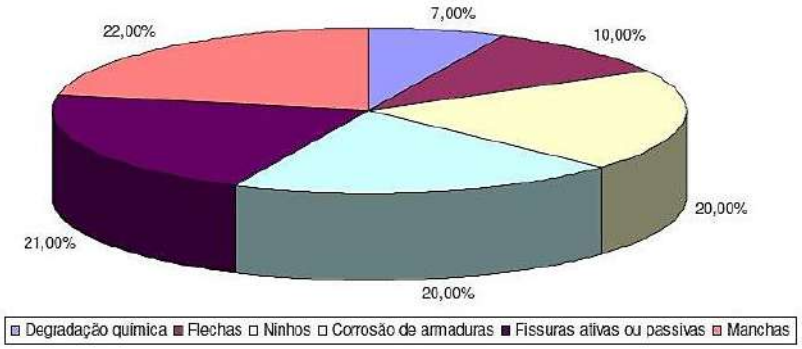
This work presents the case study of a multifamily building located in the city of Santa Maria/RS. Its structure is of the mixed type, having a basement floor in reinforced concrete and four floors in structural masonry. It is noteworthy that its structure presents a series of pathological manifestations such as concreting nests in the pillars, excessive deformations, and, mainly, generalized cracking in the reinforced concrete beams of the ground floor. Thus, this study is intended for structural analysis through the modeling of the structure in Eberick V21 and SAP2000 V18 softwares, whose final objective was to verify the design of the beams regarding the USL and SLS. It is noteworthy that for the modeling, frame elements were defined for the structural part in reinforced concrete (beams and pillars) and, shell elements for the slabs and walls in structural masonry, still, the structure was divided into groups in order to consider constructive phasing. Through the modeling results, the shear forces and bending moments were obtained in the beams that have typical shear cracks in almost their entirety. From this, it was compared with design values, noting that most of the cracked regions overlap those with shears greater than the design ones, even revealing regions with strut failure. Furthermore, the reinforcement areas and displacements were verified, comparing them to the normative limits. Subsequently, an incremental analysis was carried out, whose verification resulted in the addition of regions with considerable efforts, greater than those of the original project. Thus, it was possible to prove the efficiency of the methods used, as well as to assume the results as satisfactory.
Keywords: Pathologies, Reinforced Concrete, Masonry, Arch effect, Construction sequence loads.

1. INTRODUÇÃO

De modo geral, os principais problemas que acometem as edificações, diminuindo sua vida útil, são as manifestações patológicas, tais como as falhas e danos estruturais, sendo essas, objeto de estudo do presente trabalho. Edificações em uso, com manifestações patológicas estruturais, necessitam de recuperação de maneira a garantir a segurança dos usuários.

De acordo com Helene (1992), as manifestações patológicas, danos, lesões, ou ainda, defeitos, orientam o diagnóstico da situação. A análise dos sintomas que a estrutura apresenta permitiria intuir quais as causas daquelas manifestações e orientar a análise decorrente. Como ilustrado na Figura 1, os sintomas com maior incidência nas estruturas de concreto são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas no concreto aparente, a corrosão de armaduras e os ninhos de concretagem (segregação dos materiais constituintes do concreto).

Figura 1. Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto expostas.



Apesar dos textos normativos serem rigorosos em relação a qualidade e desempenho demandados em relação às edificações, ainda são comuns as manifestações patológicas em estruturas, sejam por problemas de projeto e/ou executivos. Em especial em estruturas de concreto e alvenaria, com baixo nível de industrialização, onde a qualidade na execução é primordial para um resultado final adequado.

Souza e Ripper (1998) afirmam que mesmo durante a execução, descuidos básicos podem resultar em desempenho inadequado. O método de concretagem, por exemplo, com as falhas no transporte, de lançamento ou de adensamento do concreto, pode provocar a segregação entre o agregado graúdo e a argamassa, além da formação de ninhos de concretagem e de cavidades no concreto.

Ainda, Helene (1992) relata o dimensionamento inadequado ou o não atingimento da resistência demandada do concreto, pode resultar na formação de fissuras na estrutura, especialmente as de flexão e as de cisalhamento. Souza e Ripper (1998), em especial, associam as fissuras de cisalhamento à presença de esforços cortantes superiores aos projetados, ou ao emprego de quantidade de estribos inferior à necessária ou ao não atingimento da resistência projetada para o concreto.

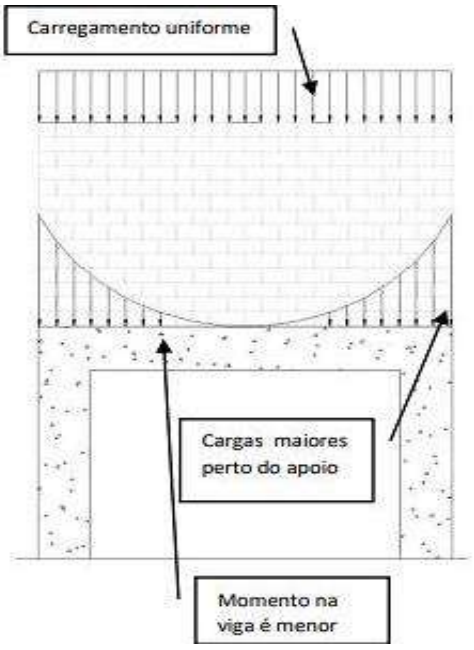
As deformações excessivas podem ser consideradas, também, uma manifestação patológica, mesmo que não representem dano, indicam que o funcionamento da estrutura é inadequado.

Marcelli (2007) afirma que as deformações excessivas quando associadas às trincas, indicam situações de perigo potencial, indicando a necessidade de realizar estudos específicos que avaliem as causas e a necessidade ou não de recuperação da estrutura.

Na região de Santa Maria/RS, são comuns as edificações de pequeno porte, executadas em estrutura mista, com um ou mais pavimentos de garagens em concreto armado e os demais pavimentos superiores em alvenaria estrutural. Nessas edificações, as deformações das vigas de suporte da alvenaria tendem a influenciar a distribuição dos carregamentos, pela formação do efeito arco, Ramalho e Correa (2003).

Segundo Parsekian (2017), a transmissão do carregamento vertical de uma parede sobre um pórtico formado por uma viga apoiada em pilares ocorre com encaminhamento dos esforços em direção aos apoios. Esse efeito, chamado de efeito arco, ocorre com o surgimento de esforços de tração (especialmente na base da parede, formando um tirante) e com concentração de esforços de compressão nas extremidades da parede. Desta forma, um carregamento suposto uniformemente distribuído sobre a parede, será distribuído sobre a viga de apoio não uniformemente, mas com valores maiores próximos aos apoios, diminuindo assim a flexão da viga, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Esforços produzidos no efeito arco.



Também, conforme Parsekian (2017), este efeito se pronuncia mais quando a rigidez da viga é comparativamente menor que a rigidez da parede. No caso de parede sobre uma viga muito rígida não há formação do efeito arco. De maneira oposta, caso a viga de base não tenha rigidez suficiente, só seria possível vencer o vão com alvenaria em forma de arco.

Apesar de reconhecido na bibliografia técnica, o efeito arco é de difícil consideração em softwares comerciais de dimensionamento estrutural, especialmente quando a análise é realizada de maneira elástica linear e monotônica. Uma das técnicas buscadas para contornar essa análise, é a realização de análises lineares incrementais. A chamada análise incremental construtiva é justamente esse tipo de consideração.

Conforme Fagundes (2017), na análise convencional (AC) de edifícios, parte-se do pressuposto que os diversos carregamentos são aplicados simultaneamente na estrutura pronta. Já na análise incremental construtiva (AIC) os carregamentos verticais são aplicados conforme o cronograma de construção, ou seja, as ações são aplicadas de forma incremental, quando os elementos que recebem os carregamentos já foram influenciados pela deformação dos elementos carregados nos incrementos anteriores. Assim, o modelo que considera a AIC faz uma simulação aproximada do que realmente ocorre durante o processo de construção da estrutura de um edifício.

Farias (2018), em uma análise convencional, os carregamentos são processados em uma única etapa, o que não representa a realidade. Em função disso, o carregamento permanente passa a solicitar a estrutura à medida que a mesma vai sendo construída, diferentemente em uma análise convencional, com todo o carregamento permanente agindo de modo instantâneo na estrutura. Assim, contemplar a sequência construtiva é um tipo de análise mais acurada do que a convencional, que aproxima a resposta do modelo estrutural ao modelo real.

Kripka (1990) ressalta que a grande diferença entre a AC e a AIC está na consideração da ocorrência dos deslocamentos. Na AIC o sistema de referência é variável, só havendo deslocamento de um andar após o mesmo ter sido construído. Segundo o autor, na AC acumulam-se os deslocamentos dos nós da estrutura em relação a um referencial global fixo e, portanto, seus deslocamentos são calculados desde a posição inicialmente prevista para a sua construção até a posição final. Dessa forma, na AC, os deslocamentos estariam sendo erroneamente computados na estrutura.

Ferreira (2017) analisou a influência das etapas de construção em estruturas de concreto armado com 15 pavimentos, concluindo que a análise tradicional apresenta um comportamento acumulativo, conduzindo para as maiores diferenças no que diz respeito aos esforços e deslocamentos, entre os pavimentos do topo e da base. Sendo que, a análise que considera o processo construtivo, além de apresentar variação menor nos valores entre os pavimentos, indica que a diferença máxima está localizada entre a meia altura e as extremidades da estrutura. Já Prado (1999) constatou que a conveniência de se adotar uma análise tipo incremental alia-se à necessidade de levar em conta os carregamentos prematuros, não só os referentes ao peso próprio, mas também, todos aqueles inerentes ao processo de construção de edifícios, inferindo que, carregamentos prematuros provocam aumento das deformações, além de colocar em risco a segurança estrutural.

Este estudo de caso descreve as etapas de recuperação de um edifício misto com manifestações patológicas na estrutura de concreto armado, localizado na cidade de Santa Maria/RS. A edificação foi vistoriada, submetida a ensaios de caracterização dos materiais, recalculada de diferentes formas e, por fim, projetado um reforço estrutural que está em fase de execução.

2. AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA *IN LOCO*

O edifício em estudo é de uso residencial, multifamiliar, com cinco pavimentos, um pavimento de garagens, semienterrado, executado em concreto armado, e quatro pavimentos em alvenaria estrutural, com planta aproximadamente retangular, com aproximadamente 40 metros de comprimento e 7 metros de largura. Há uma junta de dilatação na região central, dividindo a estrutura em dois blocos independentes. A edificação foi concluída e ocupada no ano de 2012.

No intuito de avaliar as manifestações patológicas foram realizadas vistorias técnicas *in loco* na edificação para mapear as manifestações patológicas, medir os elementos estruturais a fim de confrontar o executado em relação ao projeto estrutural original e avaliar a resistência dos

materiais. Na avaliação, foram extraídos testemunhos de concreto armado de maneira a determinar a resistência à compressão do concreto da estrutura e avaliação das quantidades, diâmetros e disposição das armaduras das peças de concreto.

Na vistoria identificou-se a presença de fissuração generalizada nas vigas do teto da garagem, pavimento de transição entre a estrutura de concreto e a de alvenaria estrutural. Essas fissuras estão principalmente localizadas na ligação das vigas com os pilares, inclinadas a 45º, apresentando-se nas duas faces laterais das vigas, e vão desde o topo até a base das vigas, junto aos pilares. A Figura 3 exemplifica o panorama de fissuração observado nas vigas.

Figura 3. Panorama de fissuração das vigas.

(a)



(b)



(c)



(d)



Foi também observado durante as vistorias a acentuada deformação de algumas das vigas, como exemplificado na Figura 4.

Figura 4. Vigas do teto da garagem com deslocamentos visíveis.



A excessiva deformação das vigas, resultou na redistribuição dos esforços na alvenaria estrutural dos pavimentos superiores resultando, inclusive, no esmagamento de uma das paredes do pavimento térreo (Figura 5).

Figura 5. Esmagamento da alvenaria no pavimento térreo.



Em uma análise inicial, tomando a estrutura como indeformada, os carregamentos atuantes e tensões resultantes nas alvenarias do pavimento térreo não seriam suficientes para superar a resistência das paredes provocando o observado na Figura 5, indicando que houve a redistribuição de esforços e a concentração dos carregamentos nas regiões mais rígidas da alvenaria.

Ainda, foram realizados ensaios destrutivos e não destrutivos de maneira a caracterizar a estrutura. Foram retirados testemunhos de concreto de pilares e vigas para a determinação da resistência à compressão do concreto. Os pilares e vigas foram inspecionados com auxílio de um pacômetro para a conferência da disposição das armaduras. Na Figura 6 são demonstradas as peças sendo avaliadas.

Figura 6. (a) Extração de testemunho de concreto e (b) avaliação por pacometria.

(a) (b)



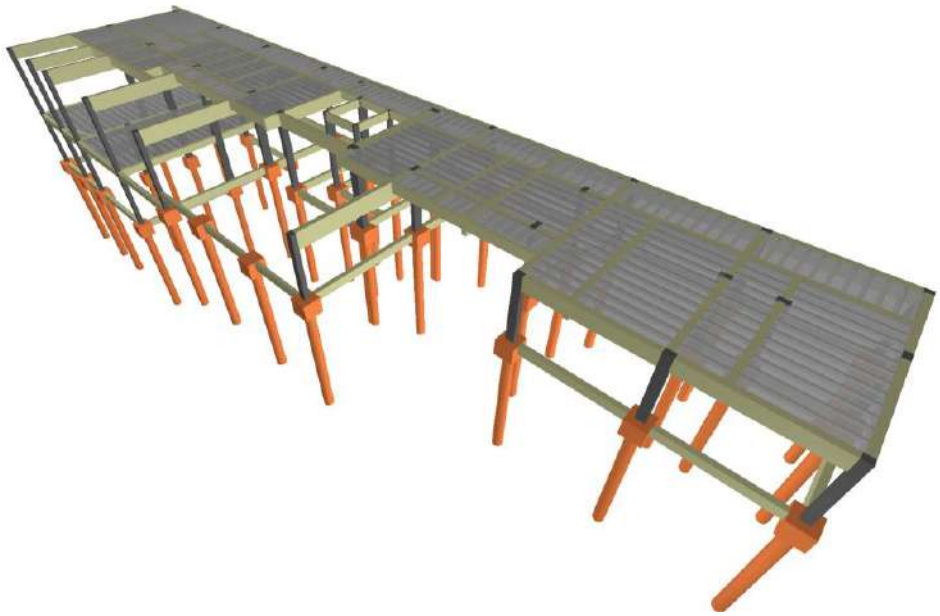


3. ANÁLISE NUMÉRICA

A estrutura foi analisada em duas etapas considerando as prescrições normativas presentes nas normas, NBR 6118 (ABNT, 2003), NBR 15812-1 (ABNT, 2010) e NBR 6120 (ABNT, 1980), vigentes da época do projeto e construção da edificação.

Em uma primeira, foi realizada uma análise elástica linear monotônica com auxílio do software AltoQi Eberick V21. A estrutura de concreto armada foi modelada no software e as alvenarias foram tratadas como carregamentos, ou seja, não houve interação entre a estrutura de concreto, com suas deformações, e os efeitos de redistribuição de esforços nas alvenarias. Na Figura 7 apresenta-se o modelo lançado no software Eberick.

Figura 7. Modelo da estrutura de concreto lançada no Eberick.

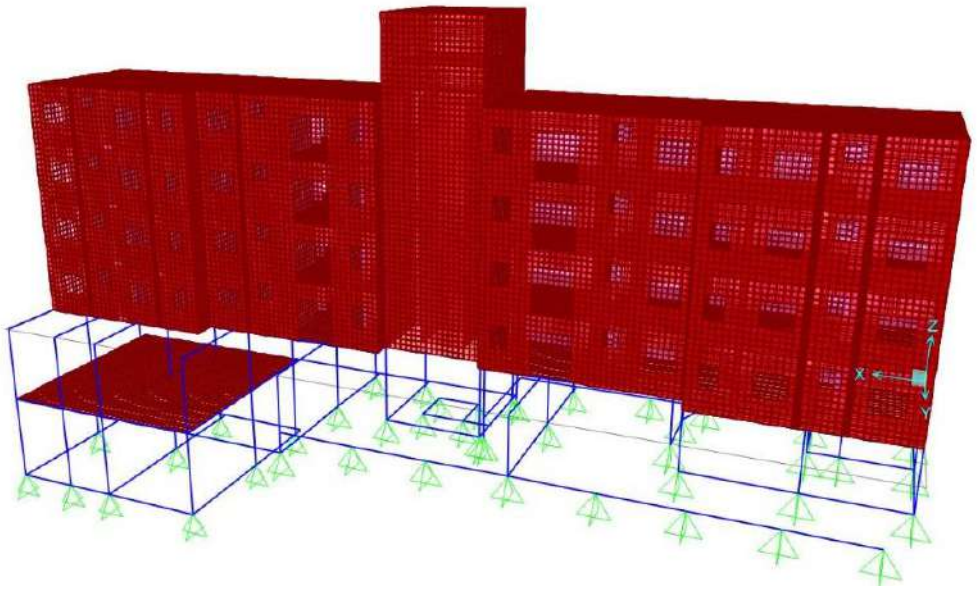


Nas análises realizadas, a resistência à compressão do concreto foi considerada como sendo a medida a partir dos testemunhos de concreto (f_{ck} de 20 MPa) e as dimensões e armaduras foram consideradas como levantadas *in loco*.

Fazendo uma retro-análise para estabelecer os esforços resistentes de flexão e cisalhamento das vigas a partir das dimensões das peças e disposição de armaduras presentes, o modelo inicialmente avaliado indicou que a situação mais comum de não atendimento das solicitações seria a flexão das vigas de suporte das alvenarias, contudo, o panorama de fissuração observado in loco, não resultou na observação de fissuras de flexão e, sim, fissuras de cisalhamento nas chegadas das vigas nos pilares.

Dessa forma, uma segunda análise foi realizada, com auxílio do software de análise via método dos elementos finitos, o SAP2000 V18. As alvenarias e lajes foram modeladas como elementos planos de casca, com dimensões de 25 cm x 25 cm, e os pilares e vigas foram modelados como elementos de barra. Os pontos de graute tanto nas paredes, quanto nas cintas de amarração, foram modelados com as dimensões equivalentes indicadas no projeto. As fundações em estacas singelas foram substituídas por apoios simples no modelo. Na Figura 8 apresenta-se a estrutura modelada no SAP2000.

Figura 8. Vista tridimensional do modelo estrutural da edificação.



A análise no SAP2000 foi realizada duas vezes. Uma primeira sem o efeito incremental construtivo e outra com esse efeito. Para a análise incremental, dividiu-se a estrutura em seis estágios, sendo considerado como um estágio cada um dos pavimentos. As sobrecargas de uso foram aplicadas ao modelo apenas após aplicados todos os estágios construtivos, ou seja, as deformações foram consideradas apenas sob o efeito do peso próprio e demais cargas permanentes atuantes.

Nas Tabelas 1 e 2, são apresentados os dados adotados no dimensionamento dos elementos de concreto e alvenaria, respectivamente.

Tabela 1. Propriedades mecânicas do concreto armado.

Propriedade	Valor	Unidade
f_{ck}	20	MPa
E_{ci}	25000	MPa
E_{cs}	21250	MPa
ν (Poisson)	0,2	-
γ (peso específico)	25	kN/m³

Tabela 2. Propriedades mecânicas da alvenaria estrutural.

Propriedade	Valor	Unidade
f_k	1,53	MPa
f_{prk}	2,2	MPa
f_{bk}	5,0	MPa
E	2,4	GPa
ν (Poisson)	0,15	-
γ (peso específico)	20	kN/m³

Além dos carregamentos de peso próprio aplicados diretamente nos elementos modelados, sobre as lajes foram aplicadas as cargas que constam na Tabela 3. Ainda, ressalta-se que os pesos dos revestimentos das paredes já foram considerados no peso específico desses elementos.

Tabela 3. Carregamento das lajes.

Pavimento	Carregamento	Carga (kN/m²)
Cobertura	Impermeabilização	0,5
	Uso	2,0
Tipo e Térreo (apartamentos)	Contrapiso + revestimento	1,2
	Uso	1,5
Tipo e Térreo (circulação)	Contrapiso + revestimento	1,2
	Uso	3,0
Reservatório	Impermeabilização	0,5
	Água	4,6
Cobertura do reservatório	Impermeabilização	0,5

Nos modelos avaliados, não foi aplicado o carregamento devido a ação do vento pelo efeito transitório do mesmo.

Nas análises, em especial, na avaliação do Estado Limite Último (ELU), foi considerado um coeficiente de majoração único, tanto para as cargas permanentes quanto de uso, igual a 1,4.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com os resultados das análises no SAP2000 V18 foi possível observar a ocorrência de esforços axiais significativos nas vigas (da ordem de até 100 kN), com a consequente redução dos momentos fletores, confirmando a ação do efeito arco, como previsto por Pereira (2015). Na Figura 9 é exemplificada a distribuição de tensões em um painel de paredes onde fica evidenciada a concentração de tensões junto aos pilares, região mais rígida.

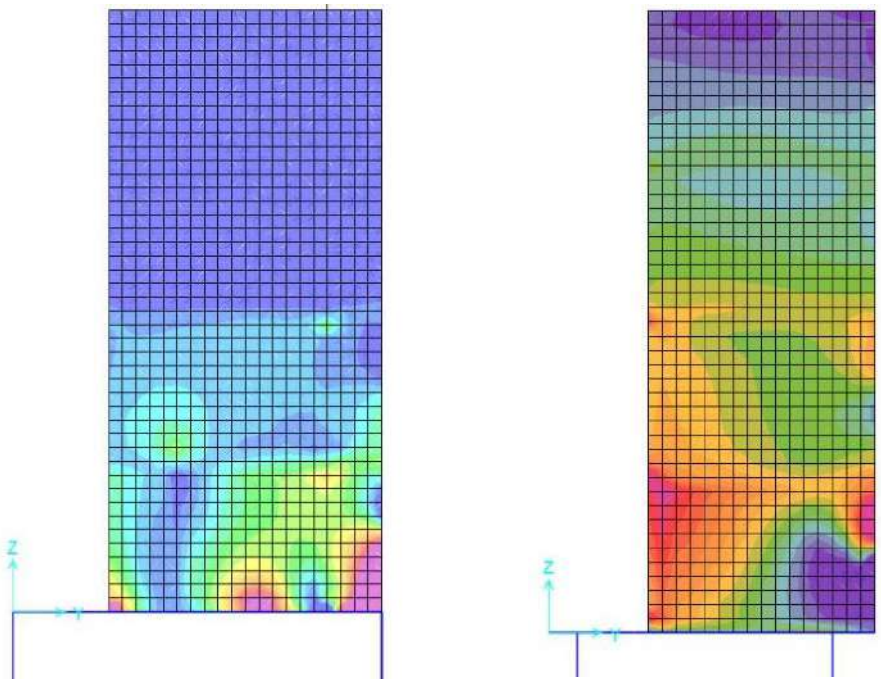


Figura 9. Distribuição de tensões normais no painel de alvenaria.

Em especial, demonstrando parte da análise dos esforços cortantes, na Tabela 4 são mostrados os esforços em duas vigas com vários tramos. Essa análise foi realizada em todas as vigas do pavimento, tanto para flexão quanto para o esforço cortante, além dos pilares. Percebe-se da

comparação dos esforços resistentes (Vrd) com os esforços solicitantes (Vsd) que algumas seções não resistem aos esforços demandados, justificando as fissuras observadas e indicando a necessidade de reforço.

Tabela 4. Esforços cortantes nas vigas V21 entre P32 e P1 e V25.

Viga	Tramo	Vrd Proj. Estr. (kN)	Vsd Sem efeito constr. (kN)	Vsd Com efeito constr. (kN)
V21 Entre P32 e P1	1º	151	339	571
	2º	285	299	519
	3º	208	174	324
	4º	285	233	510
	5º	151	27	52
V25	1º	126	521	521
	2º	194	236	236
	3º	126	99	99
	4º	194	295	295
	5º	142	295	295

A avaliação do não atendimento das vigas quanto ao esforço cortante deu-se segundo o item 17.4.2.1 da NBR 6118 (ABNT, 2003), ou seja, avaliou-se tanto o esmagamento da biela comprimida quanto a taxa de armaduras disposta nos elementos.

5. REFORÇO ESTRUTURAL

Após a análise dos esforços da estrutura e a constatação dos elementos e regiões que não atendiam os esforços solicitantes, fez-se uma proposta de reforço estrutural utilizando, na maioria dos elementos malha de fibra de carbono colada. O dimensionamento do reforço foi realizado segundo a norma americana ACI 440-2R (2017). As fibras foram padronizadas com camadas de espessura de 0,168 mm e largura de 20 cm, gramatura de 300 g/m², resistência à tração de 4300 MPa e módulo de deformação de 240 GPa. A quantidade de camadas e espaçamento entre elas foi determinado a partir da resistência ao cisalhamento necessária.

Antes da aplicação das fibras, as fissuras foram tratadas. Foi realizada a abertura das fissuras com espátula de metal e realizado o preenchimento com resina epóxi de baixa fluidez. Além das vigas, três pilares do edifício precisaram ser reforçados. A solução adotada foi o confinamento da seção com fibra de carbono. Na Figura 10 são mostradas algumas das vigas reforçadas e os pilares sendo preparados para receber o reforço.

Figura 10. Elementos reforçados com fibra de carbono.



6. CONCLUSÕES

Este trabalho descreveu um estudo de caso de analise estrutural de uma edificação que apresentava manifestações patológicas estruturais com o intuito de descrever as causas das manifestações e projetar o reforço da estrutura.

Demonstrou-se que em as manifestações patológicas identificadas na estrutura devem-se à deformabilidade da estrutura de concreto e consequente redistribuição dos esforços na alvenaria estrutural, com formação do efeito arco e concentração de esforços junto aos pilares, elementos mais rígidos.

Essa situação resultou em um panorama de fissuração nas vigas que indicavam a falha por falta de resistência ao esforço cortante.

A análise estrutural precisou ser integrada entre os elementos de concreto e os de alvenaria estrutural, incorporando as deformações da estrutura através de uma análise incremental por fases (efeito construtivo). Assim, conseguiu-se reproduzir um arranjo de esforços que justificava as manifestações patológicas observadas.

Determinados os esforços solicitantes, foi possível dimensionar os reforços estruturais com o intuito de reestabelecer a segurança e permitir o uso da estrutura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil:** Causas e soluções para danos e prejuízos em obras. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2007.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios em alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

PARSEKIAN, G. A. **Alvenaria Estrutural.** 121.088 – Turmas A & B. São Paulo: EdUFSCar, 2017. 92p.

FAGUNDES, R. M. C. **Análise incremental construtiva em estruturas de aço considerando a interação solo-estrutura**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Eng. Civil (PPGEC). Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

FARIAS, R. S. **Análise estrutural de edifícios de paredes de concreto com a incorporação da interação solo-estrutura e das ações evolutivas**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

KRIPKA, M. **Análise incremental construtiva de edificações**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

FERREIRA, W. E. R. **Influência das etapas de construção na Análise de estruturas de múltiplos andares de concreto armado**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Eng. Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

PRADO, J. F. M. A. **Estruturas de edifícios em concreto armado submetidas a ações de construção**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15812-1: **Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos. Parte 1: Projetos**. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

PEREIRA, José Luiz. **Alvenaria Estrutural – Cálculo, Detalhamento e Comportamento**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2015.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**, ACI 440-2R, 2017.