



ANÁLISE E MODELAGEM NUMÉRICA DE REFORÇO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA.

Thiago Araujo Macedo

Matheus Nunes Reis

Jocinez Nogueira Lima

thiagoaramac@gmail.com

matheusnreis95@gmail.com

jocinez.lima@uniceub.br

Centro Universitário de Brasília - UniCEUB

SEPN, 707/907, Via W 5 Norte - Asa Norte, Brasília - DF, 70790-075, Brasil.

Resumo. O edifício do BRB existente no Setor de Indústrias e Abastecimento de Brasília-DF é uma edificação de dois pavimentos, em concreto armado, contendo uma marquise na fachada frontal. Sob carregamento de serviço usual, apresentou deformações excessivas e abertura de fissuras em sua estrutura, além de corrosão nas armaduras. Este trabalho tem como objetivo descrever o projeto de reforço que visa reverter os danos existentes, além de garantir que novas patologias não se instalem. O projeto de reforço proposto será comparado utilizando modelos numéricos tridimensionais, considerando-se as cargas atuais, o funcionamento estrutural e os dados obtidos através de inspeções. A comparação visa identificar a nova redistribuição de esforços decorrente do acréscimo de rigidez em determinadas seções da marquise, além de estimar as flechas máximas da estrutura reforçada.

Palavras-Chave: Inspeção, Reforço, Concreto Armado, Modelagem Numérica, Análise

Abstract. The BRB building, located on SIA (Brasília – DF) is a reinforced concrete, two floor construction, and has a marquee on its façade. Under usual service loads, it presented excessive deformations and cracking openings, besides steel corrosion. This paper aims to describe the reinforcement built to revert the existent damage. The design of the reinforcement is compared using 3-dimensional numerical models, considering the actual load, the structural behavior and the data obtained in loco. The comparison identifies the new stresses redistribution due to stiffness increase in the marquee sections, and estimate the reinforced structure displacement.

Keywords: Inspection, Reinforcement, Reinforced Concrete, Numerical Modelling, Analyses

INTRODUÇÃO

Marquises são elementos constitutivos de fachadas de edificações que avançam sobre o logradouro público. Sua estrutura caracteriza-se como balanços engastados no plano da fachada.

Segundo Jordy (2006), o esquema estrutural das marquises pode ser definido em longitudinal, quando existem lajes vinculadas a vigas contínuas, ou transversal, quando existem vigas consolos. Devido à sua natureza isostática, a perda de vinculação por quaisquer furtivos pode ser condição suficiente para ocorrência de instabilidades, ou até mesmo a ruína.

1 PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM MARQUISES

As principais manifestações patológicas em marquises, segundo MEDEIROS (2008), estão relacionadas a deficiências de projeto, mal posicionamento das armaduras, corrosão das armaduras e sobrecarga excessiva.

1.1 Deficiência de projeto, mal posicionamento de armaduras e sobrecargas excessivas.

A falta de ancoragem de armaduras, ou deficiência de armaduras negativas pode acarretar em problemas estruturais. Como foi o caso do Restaurante da Tijuca, Rio de Janeiro, em 1992, onde foi verificado que o projeto estrutural estava incorreto. (MEDEIROS, 2008)

A aplicação de carregamentos não previstos em projeto é comum em lajes e marquises antigas, podendo corroborar com o surgimento de fissuras. A causa mais comum para tal sobrecarga é a manutenção incorreta do sistema de impermeabilização (Fig. 1), onde empresas sobrepõem camadas de argamassa, sem remover a camada antiga.

Outras fontes de sobrecargas consideráveis é o acúmulo de água por drenagem insuficiente, instalação de condensadoras de ar condicionado e alteração de utilização do ambiente.



Figura 1. Exemplo de camadas impermeabilizantes sobrepostas. (Fonte: Medeiros, 2008)

1.2 Corrosão de Armaduras

O surgimento de fissuras na parte superior de marquises pode se originar nas diferentes fases do processo construtivo (projeto, construção, uso e manutenção). Tais fissuras formam meios não estanques, favorecendo a percolação de agentes agressivos no concreto, como cloretos, CO_2 e águas de lavagem.

Conforme descrita por Helene (1994), o processo de corrosão em barras tracionadas é mais rápido que o convencional. A armadura é fragilizada localmente na seção da fissura e rompe sem aviso por perda de seção de aço.

Na Fig. 2 é mostrada uma barra corroída na marquise objeto de estudo deste artigo.



Figura 2. Corrosão de Armaduras

2 ESTUDO DE CASO

2.1 Localização

A edificação em estudo é um empreendimento comercial, onde está situado uma agência do banco BRB – Banco de Brasília, no endereço SIA trecho 3/4, Brasília – DF. A Fig. 3 apresenta uma imagem da localização da edificação.



Figura 3. Localização da Edificação

2.2 Descrição da edificação

A edificação é composta de dois pavimentos, um térreo e outro subterrâneo, onde se encontra em funcionamento uma agência do Banco BRB – Banco de Brasília. A Fig. 4 ilustra a fachada frontal da edificação, onde pode ser observado a marquise objeto de estudo do trabalho.



Figura 4. Fachada frontal

No local demarcado em amarelo na Fig. 4, passou por processo de recuperação do sistema de impermeabilização. Já a região da marquise, demarcada em vermelha passou pelo processo de reforço estrutural.

2.3 Projeto de Reforço Estrutural

Para a elaboração do projeto foi seguido as recomendações técnicas da ABNT NBR 6118-2014 – Projetos de Estruturas de Concreto.

De acordo com o projeto proposto, as lajes que foram reforçadas são denominadas de LC1 a LC12, com comprimento total de 31.5 metros. Nessas lajes efetuaram-se o escoramento e nivelamento para se iniciar os trabalhos de reforços.

No processo de recuperação das lajes, o f_{ck} mínimo do concreto tipo graute utilizado é de 30MPa e as barras de aço (positivas e negativas) coladas com resina epoxídica.

Foram executadas vigas escoradas parcialmente nas lajes. Após escoramento, as superfícies escarificadas até as barras de aço existentes, criando ponte de aderência para colagem das novas barras de aço longitudinais e estribos com resina epoxídica. As Fig. 5 e 6 apresentam as regiões reforçadas.



Figura 5. Armaduras em estado de deterioração



Figura 6. Novas vigas e armadura de solidarização

2.4 Modelos Estruturais

Para elaboração do projeto de reforço foram utilizados os resultados do *Eberick v10*, mas para o estudo das deformações e tensões foram desenvolvidos modelos numéricos tanto no *Eberick* quanto no *TQS v19*, e seus resultados foram então comparados. Na Fig. 7 está representada a planta de formas da marquise sem reforço, enquanto na Fig. 8, com reforço.

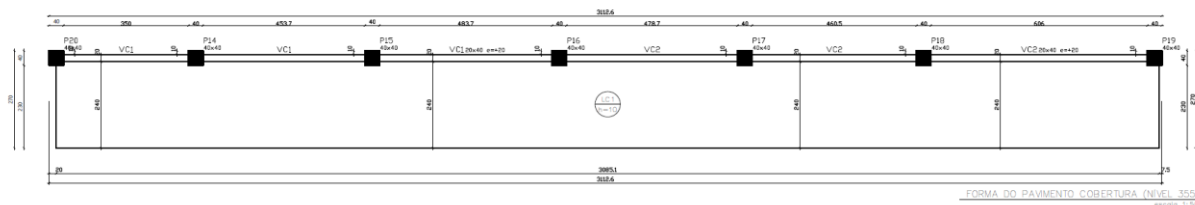


Figura 7. Formas da marquise sem reforço

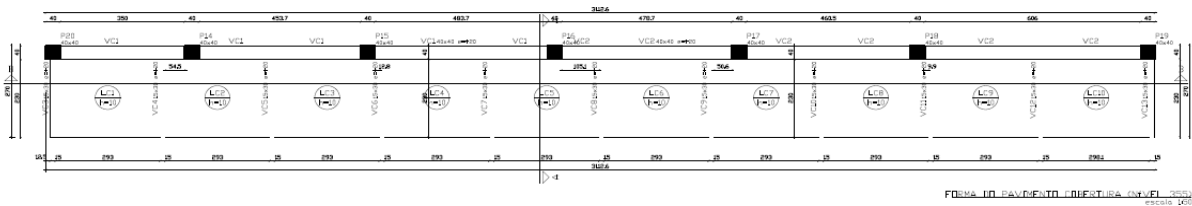


Figura 8. Formas da marquise com reforço

A laje possui 2.5 m de balanço, 31 m de extensão e 0.1 m de espessura. Estava originalmente apoiada em uma viga 0.20 x 0.40 m e em pilares 0.40 x 0.40 m. Nas simulações foram consideradas peso próprio, revestimento de 1 KN/m² e cargas acidentais de 2 KN/m², todas permitidas segundo a NBR 6120/80.

Após o reforço, a viga de apoio foi aumentada para 0.40 x 0.40 m, e foram adicionadas vigas consolos a cada 3 metros, como mostrado na Figura 06. A Fig. 9 mostra o modelo tridimensional sem reforço gerado no *TQS*, à esquerda na imagem, e no *Eberick*, à direita.

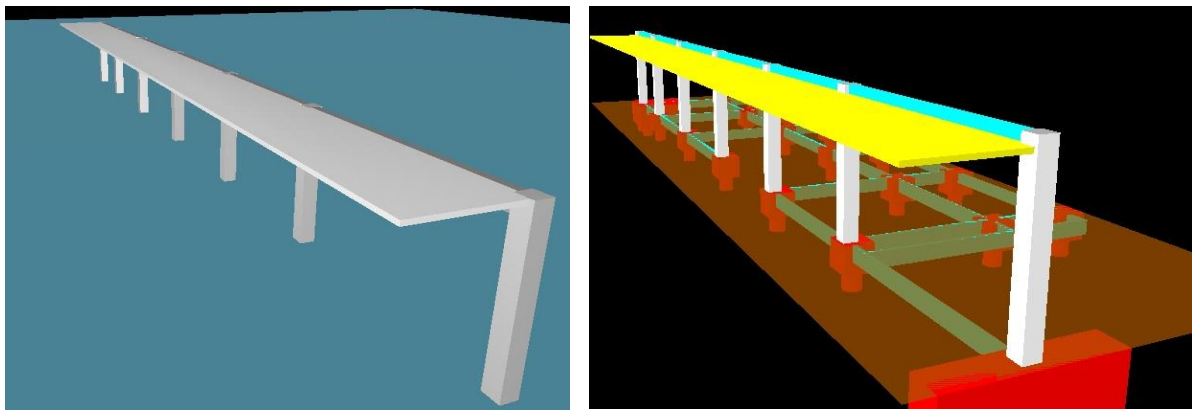


Figura 9. Modelos tridimensionais da laje sem reforço no *TQS* (esquerda) e *Eberick* (direita)

Para a laje sem reforço, o *TQS* calculou a flecha máxima como 0.2 m, enquanto o *Eberick* retornou o valor de 0.05 m. Tal diferença é devida ao procedimento de verificação não-linear de flechas que o *TQS* possui integrado. Vale ressaltar que em nenhum dos *softwares* a laje passou nas verificações de norma.

A Fig. 10 apresenta a distribuição de flechas em ambos modelos do *TQS* (esquerda) e *Eberick* (direita). As maiores deformações ocorrem na extremidade livre direita, mostradas na cor vermelha, e as outras mais brandas, porém, também consideráveis, ocorrem nas demais partes da extremidade em balanço, em amarelo.

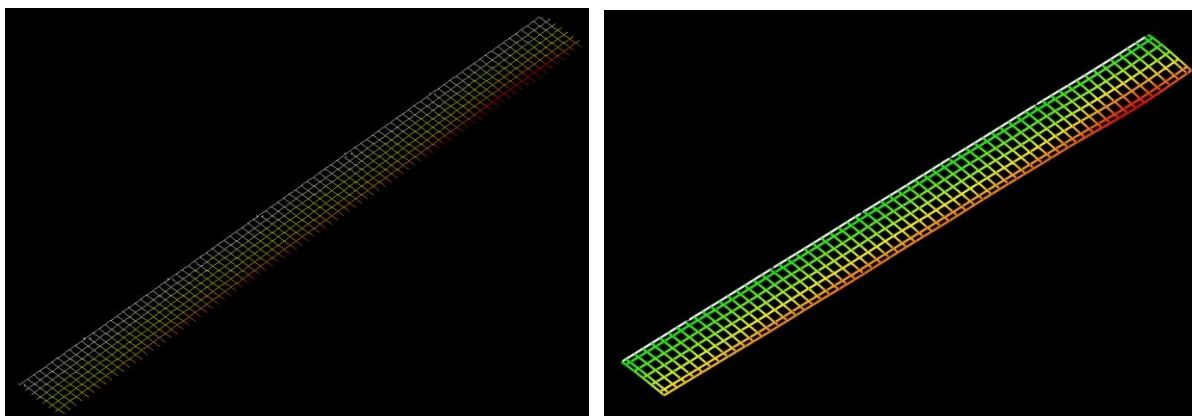


Figura 10. Flechas calculadas para laje sem reforço no TQS (esquerda) e Eberick (direita)

Em seguida, foram calculadas as flechas para a laje reforçada. Para a laje com reforço, o acréscimo de rigidez fez com que a flecha máxima fosse reduzida para 0.04 m no TQS e para 0.02 m no Eberick. De acordo com a NBR 6118/2014, o limite para deslocamento relacionado à aceitabilidade sensorial é $L/250$, sendo L o menor vão de superfície, a considerar o dobro do comprimento quando faz-se verificação em balanços. Para a marquise em questão, de 2.5 m de balanço, tem-se então o valor limite de 0.02 m, indicando que o resultado no Eberick para a laje reforçada encontra-se conforme a delimitação da norma.

Na Fig. 11 estão os modelos tridimensionais gerados no TQS, à esquerda e no Eberick, à direita, enquanto na Fig 12 estão representadas as respectivas deformadas. Nestas, verifica-se a melhor distribuição das deformações ao longo da extremidade em balanço, não sendo mais concentrada em uma única parte.

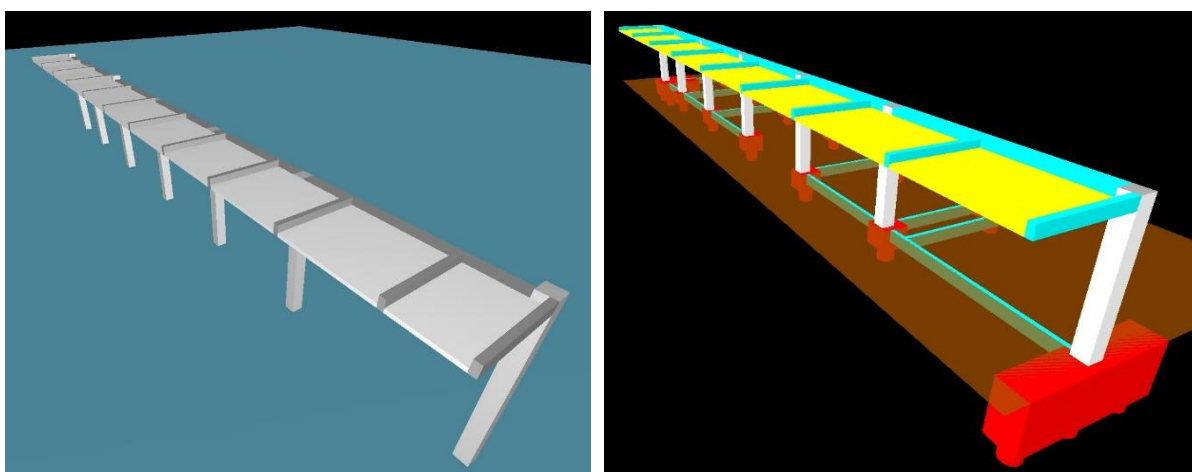


Figura 11. Modelos tridimensionais da laje com reforço no TQS (esquerda) e Eberick (direita)

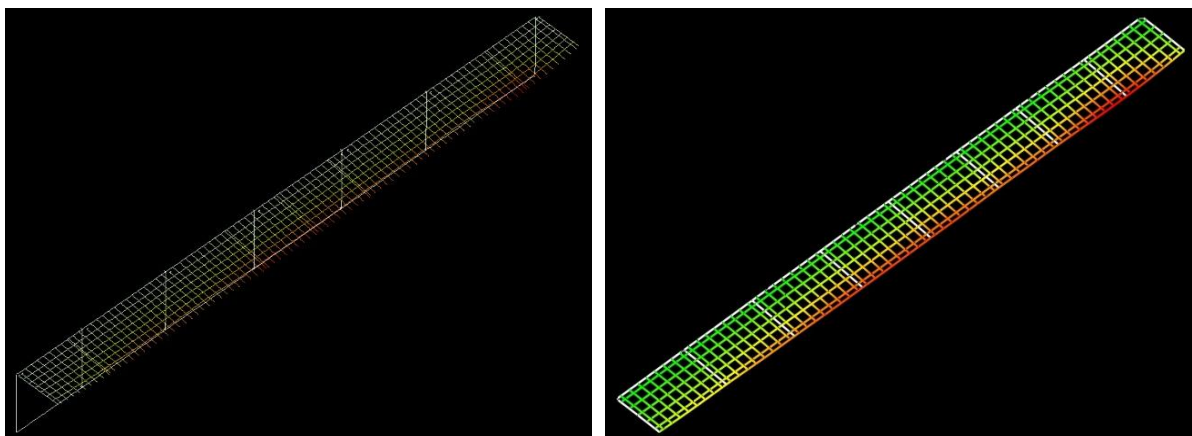


Figura 12. Flechas calculadas para laje com reforço no TQS (esquerda) e Eberick (direita)

As Fig 13 e 14 mostram a distribuição dos esforços cortantes gerados nas marquises antes e após o reforço, respectivamente. Para a laje com reforço, o acréscimo das vigas consolos fez com que o cortante máximo decaísse de 136 kN, no TQS, para 48 kN após o reforço, enquanto no Eberick o valor máximo antes da reforma, de 114.1 kN, decaiu para 35.5 kN. As medidas mais significativas de cortantes antes do reforço se concentram nas regiões dos pilares. Posterior à alteração da estrutura, os esforços passam a se redistribuírem mais na viga inicial de apoio, não mais concentrando-se apenas nas regiões dos pilares.

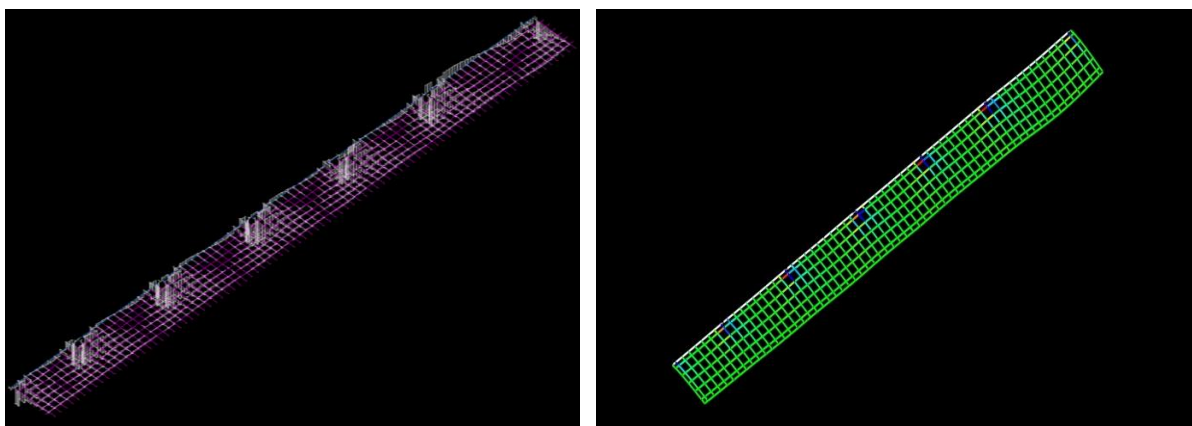


Figura 13. Esforços cortantes calculados para laje sem reforço no TQS (esquerda) e Eberick (direita)

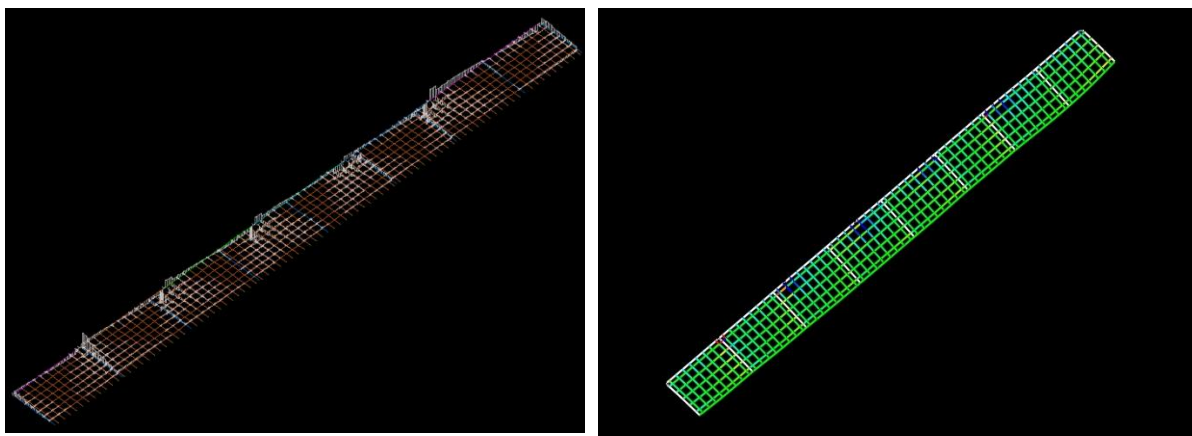


Figura 14. Esforços cortantes calculados para laje com reforço no TQS (esquerda) e Eberick (direita)

Para a laje sem reforço, o TQS chega ao momento fletor máximo de 53.39 KN.m, enquanto o Eberick traz o valor de 65.02 KN.m. Já para a marquise reforçada, o primeiro *software* gera um resultado máximo de 24.80 KN.m, ao passo que o segundo demonstrou um valor reduzido para 24.97 KN.m. Semelhante ao que ocorre com os esforços cortantes, os momentos fletores redistribuem-se melhor ao longo da viga principal de apoio e das vigas consolos após execução do reforço, deixando as regiões apoiadas nos pilares com menor concentração de tensão. As Fig 15 e 16 mostram a distribuição dos momentos fletores resultantes nas marquises antes e após o reforço, respectivamente.

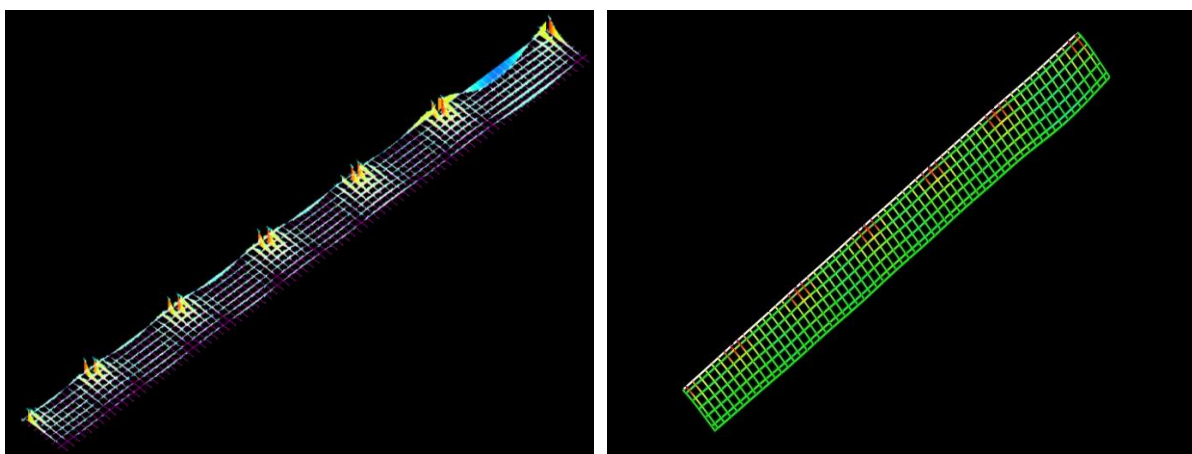


Figura 15. Momentos fletores calculados para laje sem reforço no TQS (esquerda) e Eberick (direita)

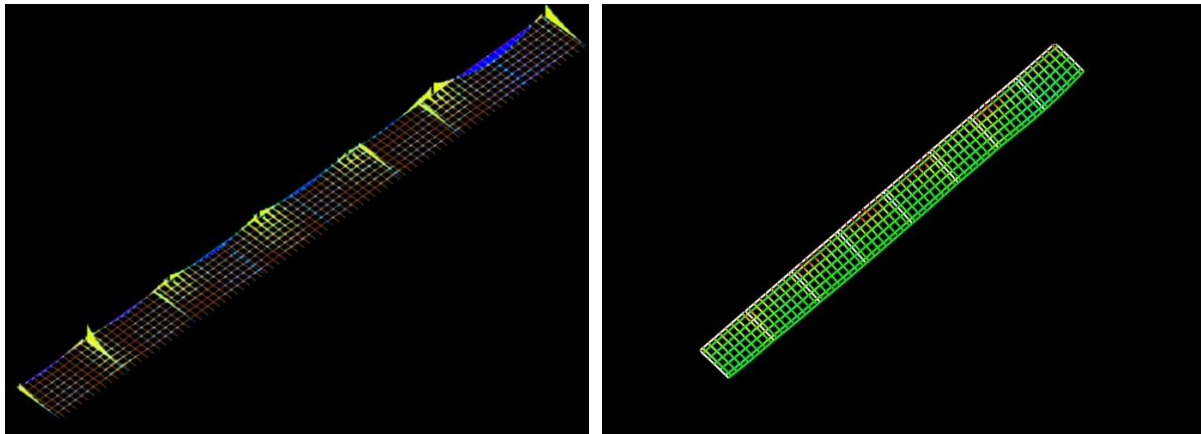


Figura 16. Momentos fletores calculados para laje com reforço no TQS (esquerda) e Eberick (direita)

As Fig 17 e 18 mostram a distribuição das torções reproduzidas nas marquises antes e após o reforço estrutural, respectivamente. Para a laje com reforço, o acréscimo das vigas consolos resultou numa queda de 9.58 KN.m, no TQS, para 2.65 KN.m após o reforço, enquanto no *Eberick* o valor máximo antes das modificações, de 8.68 KN.m, foi minimizado para 2.80 KN. As medidas mais significativas de torções antes do reforço se concentram nas regiões dos pilares. Com a alteração da estrutura, os esforços passam a se redistribuírem um pouco mais, concentrando valores não muito significativos nas laterais, principalmente à direita.

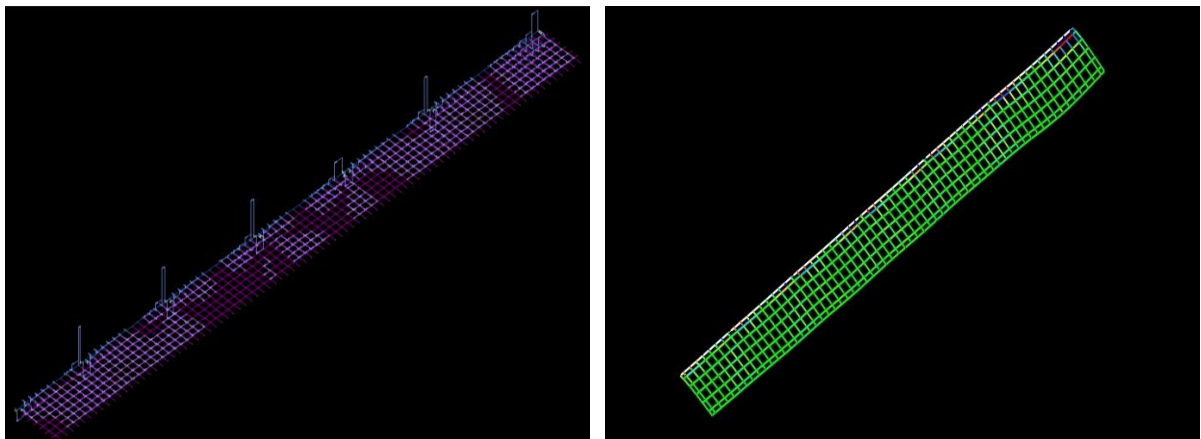


Figura 17. Torções calculadas para laje sem reforço no TQS (esquerda) e Eberick (direita)

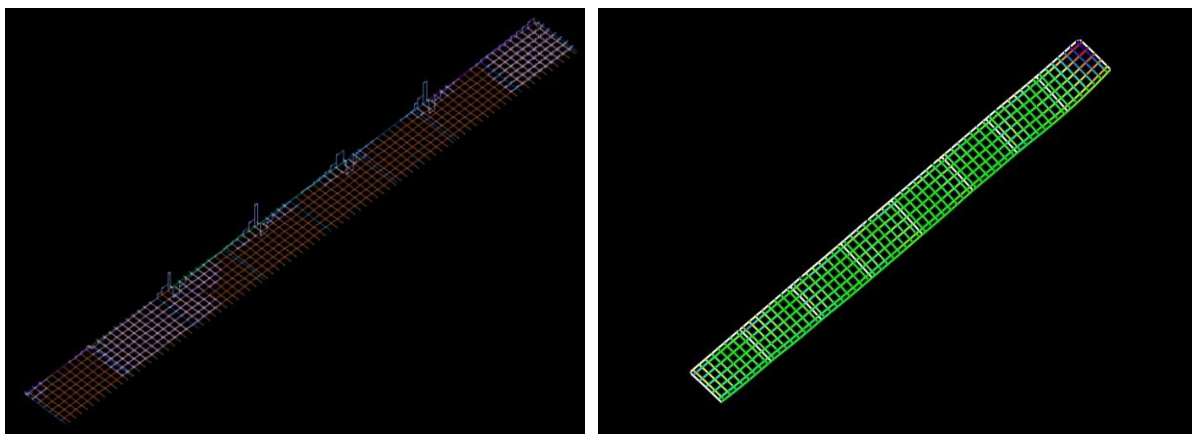


Figura 18. Torções calculadas para laje com reforço no TQS (esquerda) e Eberick (direita)

Os esforços axiais na análise resultam em valores nulos, devido as considerações de peso próprio, revestimento e cargas acidentais, que atuam no sentido vertical.

As Tabelas 1 e 2 compilam os dados de deformação e tensões das lajes com e sem reforço nos diferentes *softwares* estudados.

Tabela 1. Flechas e tensões máximas calculadas para laje com e sem reforço no TQS e as diferenças dos resultados pós reforço

Modelo de Laje (TQS)	Flecha (m)	Axial (KN)	Cortante (KN)	Momento (KN.m)	Torção (KN.m)
Sem reforço	0.2	0	136	53.39	9.58
Com reforço	0.04	0	48	24.80	2.65
Variação	-80%	-	-64.71%	-53.55%	-72.34%

Tabela 2. Flechas e tensões máximas calculadas para laje com e sem reforço no *Eberick* e as diferenças dos resultados pós reforço

Modelo de Laje (Eberick)	Flecha (m)	Axial (KN)	Cortante (KN)	Momento (KN.m)	Torção (KN.m)
Sem reforço	0.05	0	114.1	65.02	8.68
Com reforço	0.02	0	35.5	24.97	2.80
Variação	-60%	-	-68.89%	-61.60%	-67.74%

Após o reforço, os cálculos realizados no *TQS* resultaram numa queda de 80% na flecha máxima. Os esforços cortante, Momento e torção máximos tiveram reduções de 64.71%, 53.55% e 72.34%, respectivamente. No *software Eberick* a atenuação da flecha máxima chegou a 60%, enquanto os esforços cortante, momento e torção máximos foram reduzidos em 68.89%, 61.60% e 67.74% respectivamente.

As porcentagens de ambos os *softwares* mostram a eficiência do reforço, mostrando uma significativa melhora do sistema estrutural em questão. Importante destacar que a marquise reforçada encontra-se em conformidade com a verificação de flecha da NBR 6118, referente ao resultado do *Eberick*.

3 CONCLUSÕES

Inicialmente, considerando a estrutura sem reforço, todos os esforços eram distribuídos diretamente para a única viga de apoio pré-existente, transformando a marquise num grande balanço. Isso, junto à provável falta de consideração das devidas sobrecargas de projeto, manutenção incorreta e má impermeabilização da marquise, tanto na sua composição geral quanto na região dos apoios, acarretou em fissuras e deformações ao ponto de alarmar usuários quanto ao risco de ruína estrutural.

Com as novas vigas de reforço e recuperação do sistema de impermeabilização, os esforços da laje passaram a serem distribuídos não mais diretamente para a viga principal de borda. A laje maciça foi dividida em painéis de lajes com vãos reduzidos, minimizando as flechas, dando maior conforto visual aos usuários, e promovendo também um alívio de tensões, pois passaram a contar com apoios em três bordos, como mostrado na análise do presente estudo, comprovando a otimização da estrutura da marquise.

Vale ressaltar também a constatação dos métodos utilizados pelos softwares e qual finalidade de sua utilização para melhor interpretação de resultados e confiança nas conclusões. A consideração de cargas acidentais acima das estabelecidas por norma, definidas no projeto para maior segurança, pode ter contribuído para os consideráveis valores de flechas determinados nas análises, principalmente no TQS, que, além de tudo, considera também a não linearidade dos elementos. Apesar das diferenças entre os resultados dos softwares escolhidos, devido a diferença no processo de cálculo, os resultados obtidos corroboraram com sucesso na demonstração da eficiência do reforço executado.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao suporte prestado pela Universidade de Brasília, o UniCEUB e à coordenação de engenharia civil.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014. *NBR 6118:2014: Projeto de Estruturas de concreto – Procedimento*, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*, Rio de Janeiro, 1980.
- HELENE, P. R. L., 1994. *Contribuição à normalização: a resistência sob carga mantida e a idade de estimativa da resistência característica*. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto armado. São Paulo (Monografias EPUSP).
- JORDY, J.C. & MENDES, L.C., 2006. *Análise e procedimentos construtivos de estruturas de marquises com propostas de recuperação estrutural*. Dissertação (Doutorado) Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.

MEDEIROS, M. H. F. & GROCHOSKI, M., 2008. *Marquises: por que algumas caem?* V International Aci/Canmet Conference on High Performance Concrete Structures and Materials, pp. 95 – 103, Manaus, Brasil.