



IMPLANTAÇÃO DE SOLUÇÃO ESTRUTURAL DE MEZANINOS METÁLICOS EM BALANÇO EM EDIFICAÇÃO EXISTENTE VIA MODELAGEM NUMÉRICA.

Fontes Filho, José Carlos de Carvalho

Martinatti, Yago Wilton Pacheco

Pedroza, Carolina Tarrago Jaques

jcarlosfilho02@gmail.com

yagomartinatti@gmail.com

caraolinaptjaques@gmail.com

Centro Universitário de Brasília - UNICEUB

SEPN 707/907 - Asa Norte, 70790-075, Distrito Federal, Brasil

Pantoja, João da Costa

joaocpantoja@gmail.com

Universidade de Brasília – UnB

Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte, 70910-900, Distrito Federal, Brasil

Abstract. *This article discusses the need for intervention in a reinforced concrete structure due to its need to adapt to his new role. This is the evaluation of structural conditions of a place that, in future, would be the Fun House CLUB HOG, where two mezzanines would be installed to increase its service area. Then, an assessment of the influence of these mezzanines in bearing capacity of the existing concrete structure was made, and the best option was chosen. In addition, the structural reinforcement necessary was calculated. Finally, the structural design of this deployment was carried out.*

Keywords: *Reforço Estrutural, Mezanino, Estrutura Metálica.*

1 INTRODUÇÃO

É bastante comum que uma edificação que tenha sido projetada e construída para uma determinada atividade tenha essa função alterada, exigindo adaptações e, em alguns casos, reforços estruturais. Reforço estrutural consiste na alteração das características da estrutura existente buscando a recomposição da capacidade inicial de projeto e/ou adequá-la a novos parâmetros devido a mudança e/ou aumento das cargas atuantes.

Em algumas situações, a utilização de elementos metálicos no reforço de estruturas é a solução adequada. Esse ato requer a utilização de softwares especializados e de profissionais capacitados.

Esse artigo tem por finalidade mostrar o trabalho realizado para a Casa de Diversões Hog Club, localizada no térreo do Bloco A do Centro Empresarial Brasil XXI no Setor Hoteleiro Sul de Brasília (DF). O trabalho, primeiramente, consistiu na elaboração de um laudo técnico para determinar se a estrutura existente no local estava em condições apropriadas e, posteriormente, na elaboração de um projeto estrutural de reforço e na instalação de mezaninos metálicos.

A Figura 01 mostra a planta baixa do local na edificação. Esse centro empresarial teve a sua estrutura projetada e construída no início dos anos 2000, com uma estrutura mista de concreto armado, protendido e estruturas metálicas, e possui 200.000 m² de área construída.

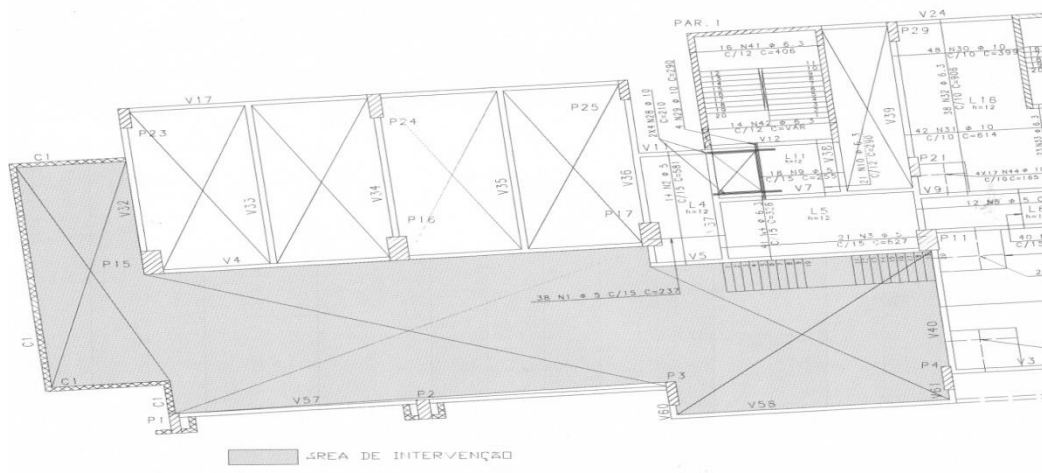


Figura 1. Localização do Hog Club no Centro Empresarial Brasil XXI.

A princípio, na área existia apenas a laje protendida do piso e do teto com um pé-direito duplo. As paredes são feitas em alvenaria, além das vigas de fechamento lateral executadas em um nível intermediário dos pavimentos, conforme é mostrado nas Figuras 02 e 03.

Com o objetivo de servir como camarotes e, conseqüentemente, aumentar a área útil do empreendimento, fora solicitado que dois mezaninos metálicos fossem instalados.



Figura 02. Local antes da intervenção.



Figura 03. Local antes da intervenção.

2 VISTORIA

Antes de começar a estudar as possibilidades existentes para a instalação dos mezaninos desejados, uma vistoria foi realizada.

Através de uma análise visual e de uma consulta sucinta aos projetos estruturais e arquitetônicos existentes, pode-se chegar às seguintes observações:

- O aço empregado foi o CA 50, com tensão resistente à tração característica de 500 MPa;
- As cordoalhas engraxadas utilizadas na estrutura foram do tipo CP 190 – RB;

- A resistência característica à compressão do concreto foi de 30 MPa para pilares, vigas e lajes;
- Não existem fissuras ou trincas visíveis nas fachadas, nem no interior do prédio.

Portanto, pode-se afirmar que a estrutura encontrava-se em um ótimo estado, sem sintomas de carga excessiva ou de desgaste de quaisquer de suas peças, estando preparada para receber o reforço.

Observou-se também que as vigas de concreto armado existentes para travamento lateral têm as seguintes características:

Altura (A) = 50 cm;

Base (B) = 20 cm;

Seção (S) = 1000 cm²;

Momento de inércia vertical (I_x) = 208.333,3 cm⁴;

Módulo de resistência à flexão (W_x) = 8.333,33 cm³;

Módulo de elasticidade do aço (E) = 210 GPa.

3 MEZANINOS E PROPOSTAS ESTRUTURAIS

A instalação dos dois mezaninos metálicos foi requerida para aumentar a área útil do estabelecimento, comportando os camarotes e banheiros da casa de diversões. Um deles está localizado na entrada do ambiente, que é o Mezanino 1. O Mezanino 2 fica virado para o salão principal. Eles estão representados na Figura 4.

Para que a estrutura estivesse apta a receber esses mezaninos, reforços estruturais foram necessários nos elementos estruturais que receberam os esforços dos mezaninos. Esses elementos são as vigas C1, V4, V32 e os pilares P15, P16 e P17, que estão em destaque na Figura 4.

O mezanino 2 foi o mais crítico de ser feito, pois possuía o maior balanço e receberia a maior carga. Para ele, foram apresentadas três possíveis soluções estruturais a serem analisadas. Foram essas:

Proposta 1: os apoios principais seriam fixados através de dois perfis nos pilares de concreto armados existentes (P15, P16 e P17);

Proposta 2: os apoios principais seriam engastados nas vigas laterais (V4);

Proposta 3: as fixações seriam feitas via três pórticos planos que seriam fixados aos pilares existentes.

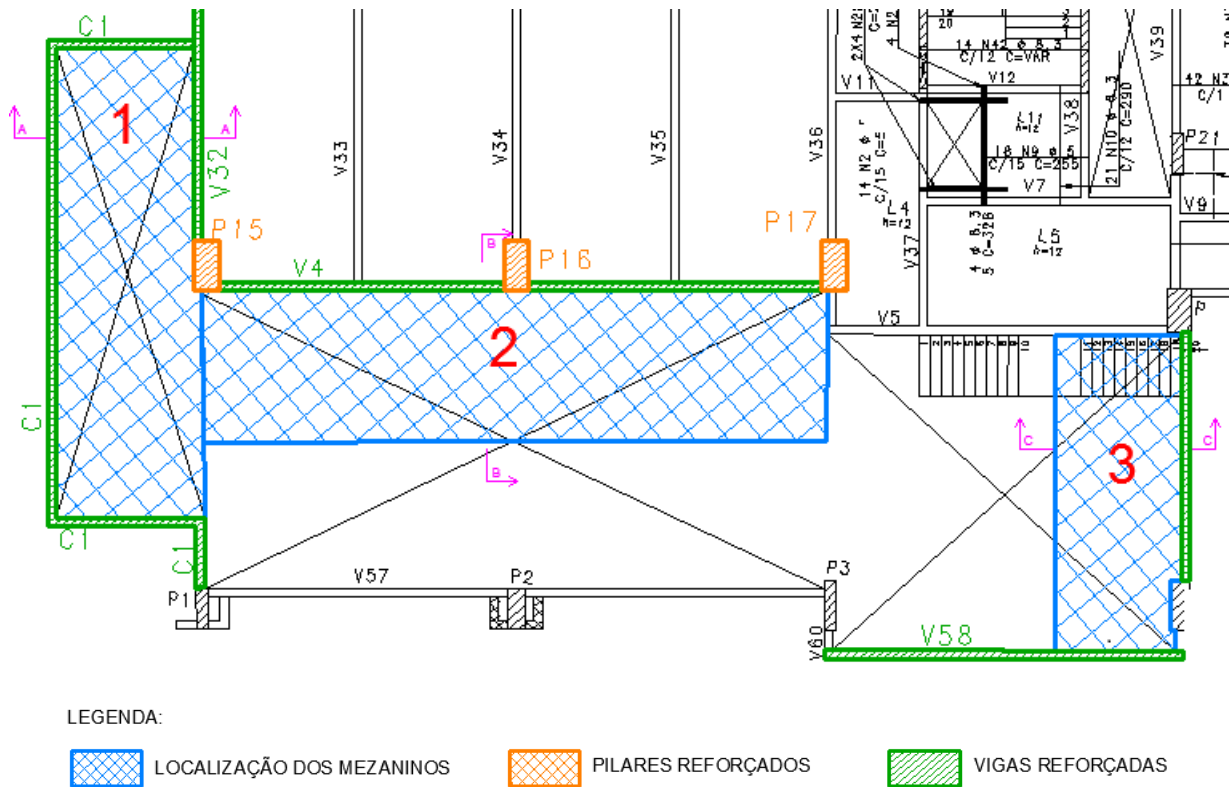


Figura 04. Localização dos mezaninos instalados.

4 METODOLOGIA DE ANÁLISE

Os seguintes documentos foram analisados para efetuar a implantação do mezanino:

- Projeto estrutural que indica as posições e dimensões das vigas e pilares existentes e suas armações;
- Projeto estrutural de estrutura metálica dos mezaninos, com as três opções propostas, possibilitando avaliar os pontos onde as cargas adicionais irão influir;
- Projeto arquitetônico do HOG CLUB, para que fosse feita a compatibilidade com a estrutura e cargas atuantes sobre lajes e vigas.

Com base nesses documentos, as seguintes avaliações foram realizadas:

- Levantamento do peso total das alvenarias e lajes existentes;
- Identificação dos pilares e pontos de fundação afetados pelo acréscimo da carga dos mezaninos;
- Verificação do percentual de acréscimo de carga decorrente da implantação dos mezaninos e análise de suas consequências;
- Identificação das vigas que receberam os acréscimos de carga mais significativos e de suas dimensões;
- Verificação das vigas mais carregadas considerando a situação antes e após a execução dos mezaninos, quanto aos Estados Limites Últimos e análise dos resultados.

Para verificar a influência das novas cargas em um prédio já construído, a rigor, ter-se-ia que recalcular toda a estrutura. No entanto, essa solução apresenta dificuldades e inconvenientes, dentre os quais se destacam:

- A dificuldade de se adotar, no recálculo, as mesmas hipóteses e critérios de carregamento, cálculos de esforços e dimensionamentos adotados pelo projetista original, tornando a comparação duvidosa;
- O custo de se recalcular a estrutura seria equivalente à elaboração de um novo projeto estrutural.

Portanto, a solução adotada foi a de identificar as partes ou peças que serão efetivamente afetadas pela nova situação de carga, verificando-as isoladamente. Para isso, algumas hipóteses de cálculo foram adotadas:

1ª Hipótese: as vigas de concreto existentes funcionam apoiadas ou semi-engastadas nos pilares da estrutura.

2ª Hipótese: foram desconsideradas as contribuições das paredes estruturais de apoio existentes. Isso foi feito de forma a compatibilizar a estrutura modelada com as hipóteses de estrutura original, acarretando numa reserva de segurança aos Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS).

3ª Hipótese: a estrutura original cumpre todos os requisitos para qual foi projetada. Nenhum ensaio ou verificação foi executado para essa confirmação.

4ª Hipótese: devido à baixa influência dos esforços envolvidos na implantação dos mezaninos, não houve necessidade de verificar os pontos de fundações existentes.

5ª Hipótese: as cargas resultantes dos mezaninos recairiam diretamente sobre os pilares e vigas transversais na forma de cargas concentradas e distribuídas.

Assim, pode-se constatar que a Proposta 2 geraria excessivos esforços de torção nas vigas, sendo a pior opção. A Proposta 1 também foi descartada pois leva a um sistema menos seguro e com maior probabilidade de falha ao transferir grandes esforços aos pilares de concreto existentes. Sendo assim, a Proposta 3 foi a escolhida, pois um sistema de pórticos distribui os carregamentos de uma maneira mais eficiente, sem sobrecarregar os pilares.

Uma vez escolhida a Proposta 3, foi analisado o efeito que os novos carregamentos teriam sobre as vigas existentes. A Tabela 1 apresenta os valores de esforços e áreas de aço positivas antes e após a instalação dos mezaninos. É possível observar um acréscimo percentual bastante considerável nos valores dos esforços e nas correspondentes áreas de aço. Esse fato mostra claramente a necessidade de reforço nas vigas laterais.

Tabela 1. Efeitos dos carregamentos nas vigas existentes

Viga		V4	C1	V32
Momento Positivo Máximo (kn.m)	Antes	142,5	62,1	75,6
	Após	187	105,1	118,8
Área de Aço Positiva (cm ²)	Antes	11,42	4,51	5,57
	Após	15,98	8,02	9,22
Aumento Percentual		33,93	77,83	65,53
Momento Negativo Máximo (kn.m)	Antes	199,2	--	--
	Após	280,9	--	--
Área de Aço Positiva (cm ²)	Antes	16,87	--	--
	Após	22,85	--	--
Aumento Percentual		33,45	--	--
Cortante Positivo Máximo (kN)	Antes	219,7	30,3	40,6
	Após	316,5	50,5	60,3
Área de Aço Positiva (cm ²)	Antes	3,97	2,33	2,33
	Após	7,65	2,33	2,33
Aumento Percentual		92,7	0	0

5 PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL

O reforço estrutural escolhido para o mezanino 2 foi o da Proposta 3, que é constituído por um sistema com três pórticos metálicos. Para esses cálculos, não se considerou o trabalho conjunto dos pilares e vigas existentes, o que alivia consideravelmente as tensões existentes e tem efeito principalmente na redução das deformações (flechas). Esse aspecto age como um coeficiente de segurança extra para a estrutura.

Primeiramente foi feito um projeto de reforço a cisalhamento e flexão nas vigas de apoio de concreto armado (V4, C1 e V32). A Figura 5 apresenta o desenho mostrando o esquema do reforço utilizando a chapa metálica USI 300 utilizada para reforçar as vigas citadas.

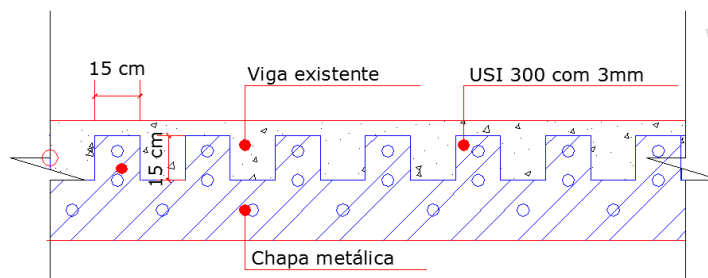


Figura 5. Viga reforçada com chapas metálicas.

A figura 6 apresenta uma foto do reforço *in loco*.



Figura 6. Foto da viga reforçada com chapas metálicas.

Para o projeto de reforço, foi adotado o uso de pórticos fixados nos pilares da estrutura de concreto armado (P15, P16 e P17) como apoio principal para o mezanino, o que levou a um sistema de fixação com mais pontos, diminuindo a probabilidade de falha do sistema estrutural. Também acarretou em um aumento da rigidez do mezanino, ajudando na verificação dos Estados Limites de Serviço (ELS) relacionados à vibrações e deformações.

Para facilitar a visualização do projeto, foi realizada uma modelagem 3D no programa SketchUp. A Figura 7 mostra uma vista isométrica dos mezaninos 1 e 2 e a estrutura de concreto existente.

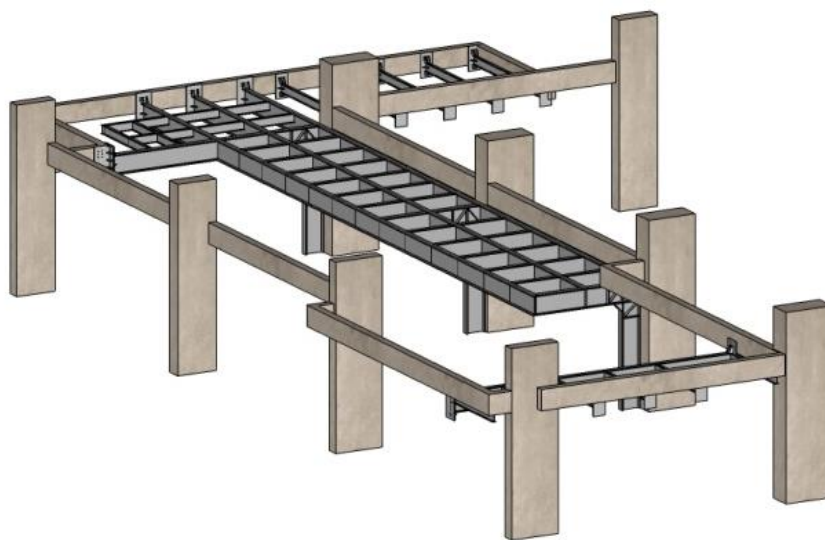


Figura 7. Modelo 3D dos mezaninos 1 e 2.

A análise estrutural do projeto de reforço foi elaborada utilizando como ferramenta o programa SAP 2000. A Figura 8 exibe o esquema estrutural desses mesmos mezaninos citados.

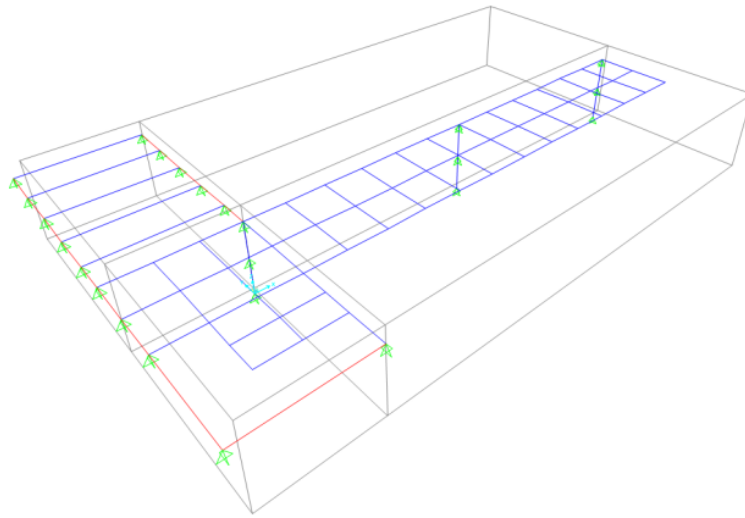


Figura 8. Esquema estrutural dos mezaninos 1 e 2.

5.1 Análise estrutural via SAP 2000

A análise estrutural do projeto foi realizada utilizando como ferramenta de apoio o programa SAP 2000, plataforma que utiliza o método dos elementos finitos para o cálculo de estruturas de qualquer tipo e oferece uma interface de fácil compreensão. Os resultados oferecidos pelo programa são principalmente valores de deslocamentos, esforços normais, de cortante, flexão e torção, campos de tensões e análise modal, entre outros. O programa simula as estruturas 1D como vigas e pilares através de barras as quais serão atribuídas as características de material e seção. As estruturas 2D como lajes e cascas são simuladas normalmente com elementos tipo shell.

A Figura 9 exibe o esquema de barras dos mezaninos 1 e 2. Nela é possível identificar os pórticos que foram utilizados para garantir a estabilidade e transmissão de esforços do mezanino 2 para os pilares de concreto armado.

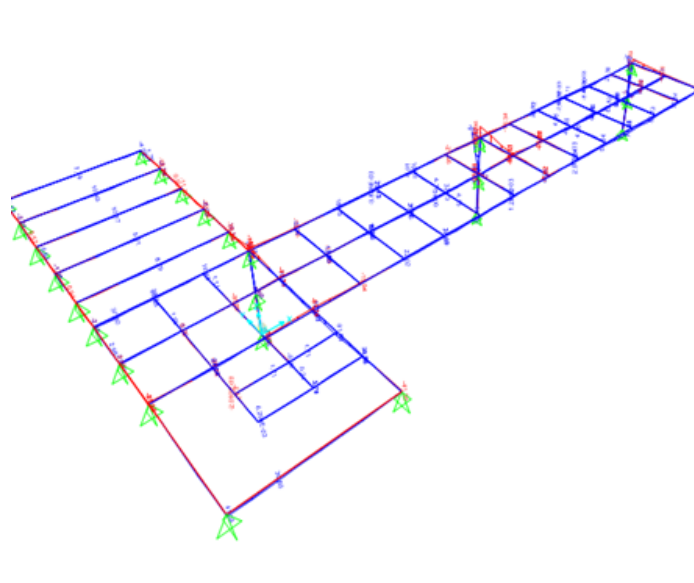


Figura 9. Barras dos mezaninos 1 e 2.

O programa SAP 2000 oferece a possibilidade de criar combinações de carga para cada projeto. Neste caso foram usadas as combinações citadas na norma NBR 8800:2008. A Figura 10 mostra os tipos de carregamentos usados.

Load Cases	
Load Case Name	Load Case Type
Permanente	Linear Static
MODAL	Modal
ACC	Linear Static

Figura 10. combinações utilizadas.

A Figura 11 apresenta o mezanino 1 com os carregamentos distribuídos aplicados que são permanentes e acidentais.

Várias tentativas de análise dos mezaninos foram realizadas modificando os perfis estruturais e os tipos de apoio. Para o mezanino 1 a alternativa escolhida está representada na Figura 11, na qual os apoios articulados representam a ligação das vigas bi apoiadas com as vigas de concreto existentes. Cargas em quilonewtons (kN)

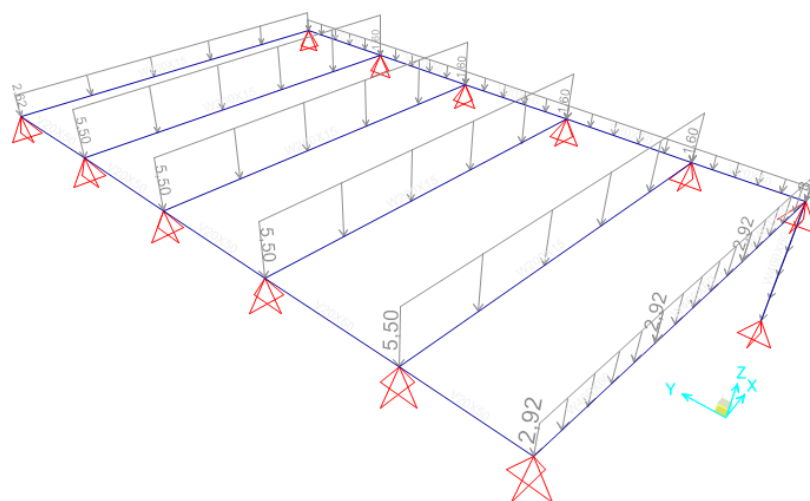


Figura 11. Carregamentos no mezanino 1.

O mezanino 2 foi o mais complexo de ser analisado, uma vez que ele não podia estar ancorado na viga V4, pois isso causaria uma grande torção e traria prejuízos à estrutura do local. Além disso, os pórticos não podiam se apoiar na laje do nível inferior pois esta é protendida. Para este mezanino os perfis selecionados foram W460 x 60 kgf/m, os quais formam os pórticos como mostrado na Figura 11. Os três apoios na Figura 12 representam as ligações com os pilares existentes através de chapas metálicas.

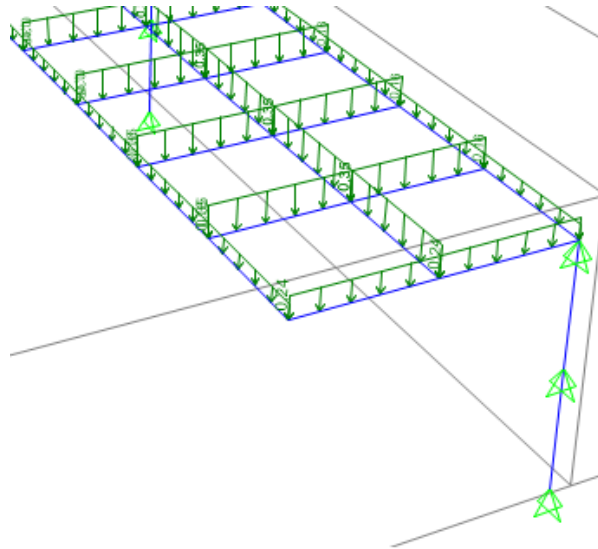


Figura 12. Estrutura 3D do mezanino 2.

No caso do mezanino 3, uma carga adicional foi inserida, que representa o carregamento da escada metálica, que foi instalada no local.

5.2 Análise de resultados SAP 2000

Os resultados obtidos no programa são principalmente os deslocamentos máximos, como mostrados na Figura 13, e os esforços máximos das peças metálicas

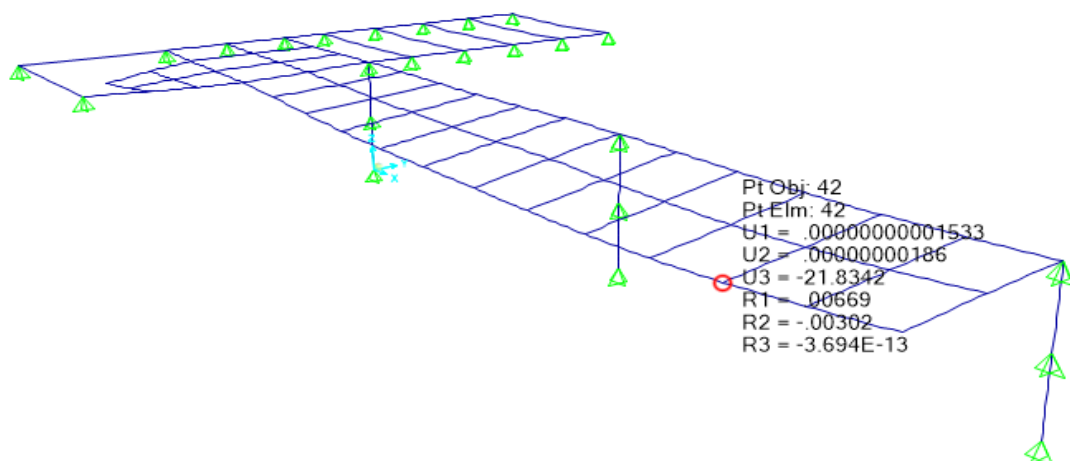


Figura 13. Deslocamentos máximos e esforços das peças metálicas.

Os resultados dos esforços de cortante, momento e deflexão máxima para cada peça aparecem no formato da Figura 14.

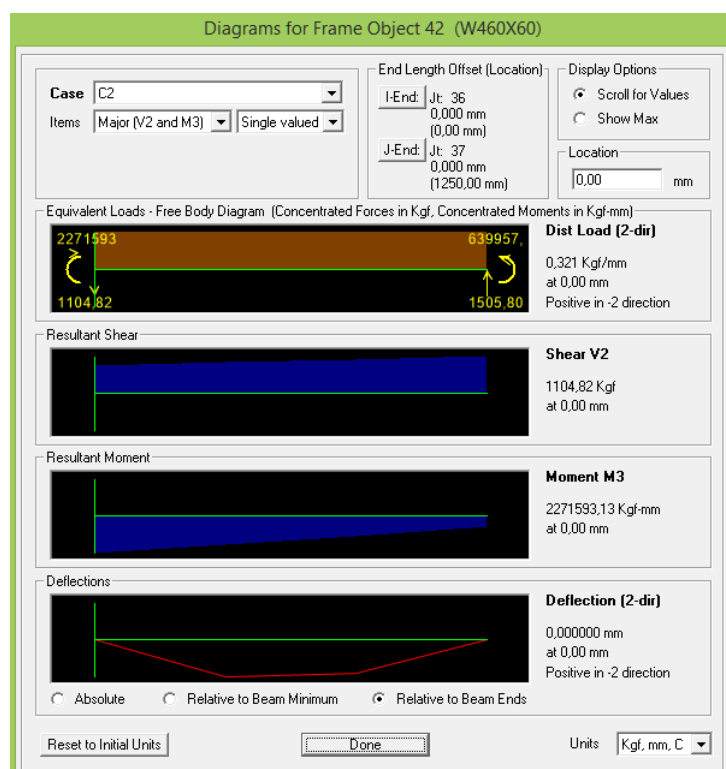


Figura 14. Resultados dos esforços para cada peça.

Os resultados dos esforços de cortante, momento e deflexão máxima para cada peça aparecem no formato da Figura 14.

5.3 Detalhamento dos mezaninos metálicos

Uma vez realizada a análise e definidos as seções transversais dos elementos estruturais, foram executados os detalhamentos, os quais incluem desenhos em planta, corte dos mezaninos e cálculo das ligações.

- **Mezanino 1**

Após a análise realizada no programa SAP 2000 concluiu-se que o mezanino 1 devia ser composto por vigas bi apoiadas de perfis metálicos W 200 x 15. A sua ligação com a viga C1 foi feita com chapas metálica de 400x860x16 com alhetas.

Já com a viga V32, por possuir uma altura diferente da C1, essa ligação foi feita com chapas metálicas de 300x651x16 que também possuíam alhetas para deixar essa ligação rígida. A Figura 15 mostra o esquema das vigas do Mezanino 1 e suas respectivas chapas.

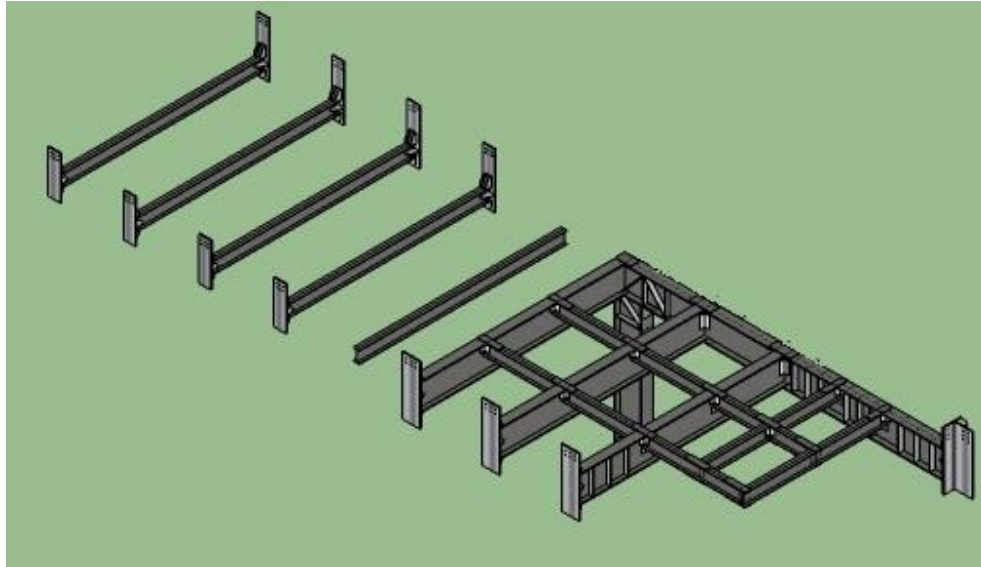


Figura 15. Vigas e chapas do mezanino 1.

A figura 16 mostra o corte com o detalhamento do mezanino 1.

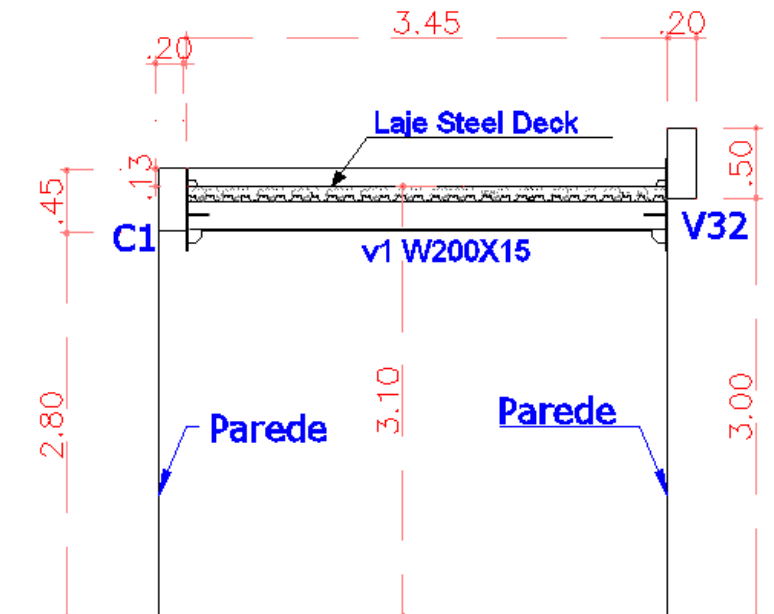


Figura 16. Corte mezanino 1.

- **Mezanino 2**

Segundo o estudo feito no SAP 2000 a solução encontrada para esse mezanino foi a de se fazer um pórtico constituído de vigas metálicas com perfil W 460 x 60 kgf/me três pilares metálicos que possuem o mesmo perfil das vigas.

Esses pilares metálicos estão ancorados aos três pilares de concreto armado previamente existentes (P15, P16 e P17) e não estão apoiados na laje do pavimento inferior, uma vez que ela é protendida e não poderia ser perfurada. As ligações entre os pilares metálicos e os de concreto foram realizadas usando chapas metálicas de 391 x 400 x 16 com alhetas.

A Figura 17 exhibe a distribuição das vigas metálicas do Mezanino 2.

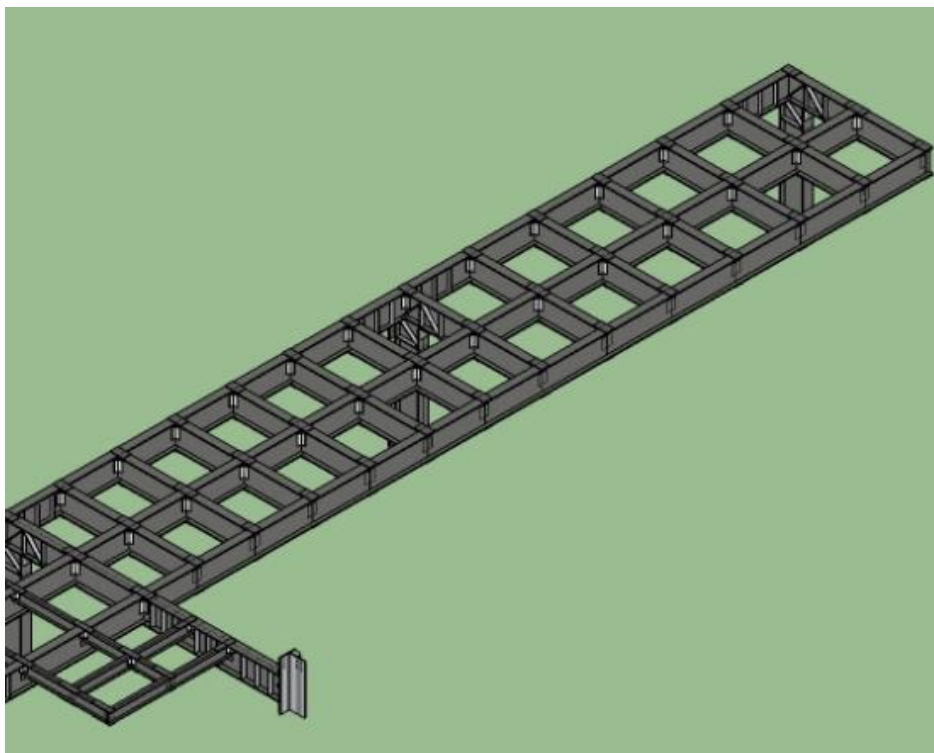


Figura 17. Distribuição das vigas metálicas do mezanino 2.

A Figura 18 apresenta o corte no mezanino 2 mostrando a sua ligação com o pilar de concreto.

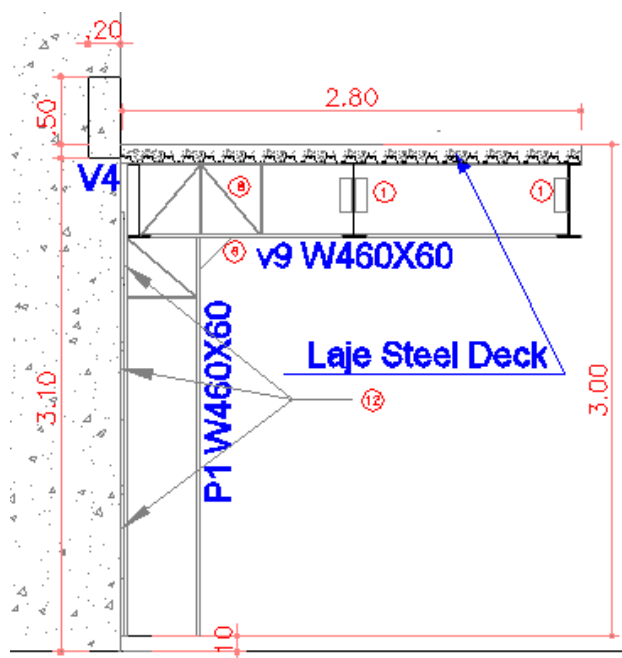


Figura 18. Corte mezanino 2.

- Lajes

As lajes dos mezaninos foram realizadas utilizando o sistema steel deck METFORM – MF 50 (Figura 19), com uma espessura de 110 mm incluindo a camada de concreto. Foi utilizada uma malha eletrosoldada Q-75, $\phi 3,8 \times \phi 3,8 - 150 \times 150$.

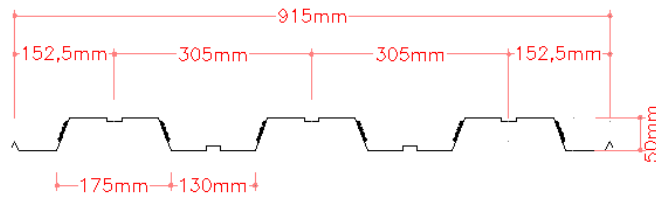


Figura 19. Laje steel deck.

Foram empregados também pinos conectores de cortante com diâmetro de 19 mm e comprimento de 80 mm, para fixação da laje. A Figura 20 abaixo mostra um corte de como foi utilizada a laje.

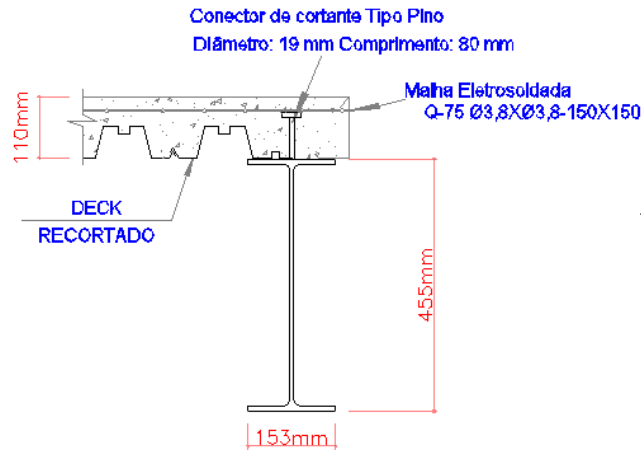


Figura 20. Laje steel deck utilizada.

6 LIGAÇÕES

As ligações desta estrutura foram realizadas utilizando chapas USI 300, conforme a Figura 21.

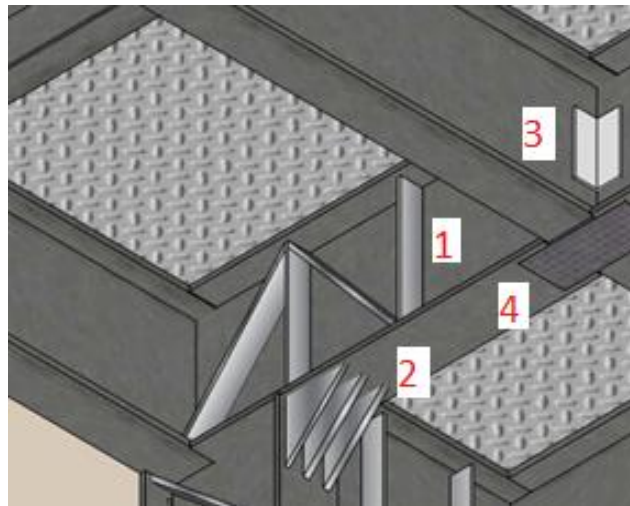


Figura 21. Esquema de ligações entre os perfis.

Na Figura 22, são destacados alguns elementos estruturais auxiliares. São estes:

1: Enrijecedor para a viga na ligação com o pilar;

- 2: Alheta de reforço à flexão;
- 3: Cantoneira de ligação entre vigas
4. Chapa de reforço de ligação entre vigas perpendiculares entre si.

Uma das principais ligações do sistema estrutural são as chapas de ligação do pilar metálico com o de concreto.

Para efetuar o cálculo dessas chapas, foi necessário conhecer os esforços transmitidos pelos pórticos para os pilares de concreto existentes. A Figura 21 exibe os esforços de cisalhamento calculados no programa SAP 2000 em Kgf.

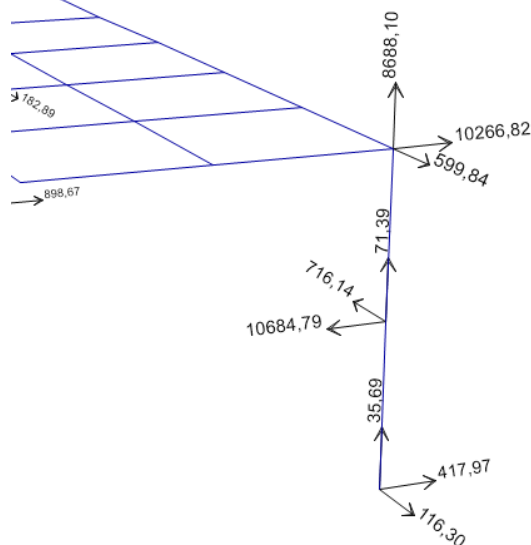


Figura 22. Esforços de cisalhamento.

Usando os resultados do programa SAP 2000 é possível calcular a área necessária para cada chapa e o número de parafusos a serem utilizados. Essas chapas estão representadas na Figura 23, sendo que a primeira representa a chapa ligada ao P16, e a segunda aos P15 e P17.

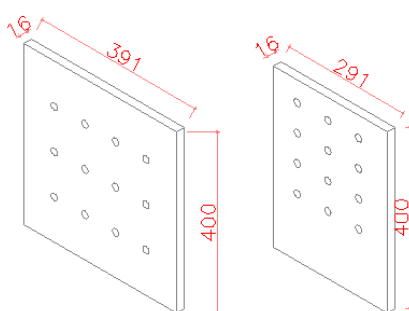


Figura 23. Chapas de ligação do pilar metálico ao concreto.

A Figura 24 apresenta a localização das chapas metálicas nos pilares.

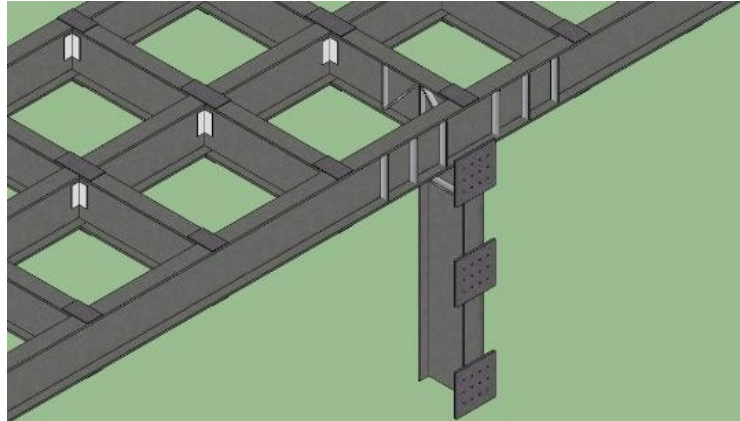


Figura 24. Localização das Chapas.

Outra ligação importante no projeto é a que se encontra ligando uma viga metálica do mezanino 1 com a viga de concreto C1. A Figura 25 mostra o ponto da ligação denominado detalhe de ligação.

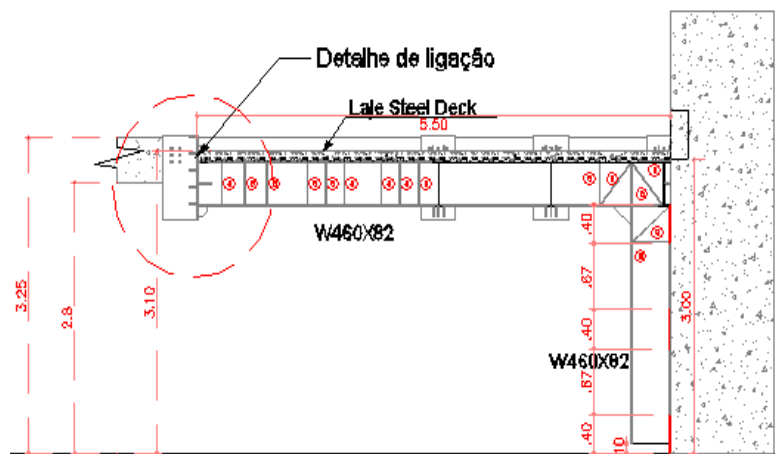


Figura 25. Ligação entre viga do mezanino 2 com de concreto.

A figura 26 apresenta maior detalhe dessa ligação.

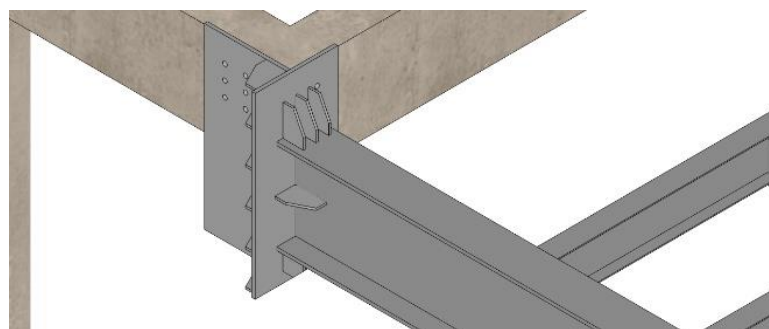


Figura 26. Ligação 3D.

7 CONCLUSÃO

Os dois mezaninos construídos tiveram as suas estruturas calculadas de forma que houvesse o melhor custo-benefício para o cliente. Para o mezanino 2, que era o mais complexo, três opções para a sua instalação foram analisadas.

A 1ª opção era a de fazer os apoios principais fixados através de dois perfis nos pilares de concreto armado. A segunda era a de fazer os apoios principais engastados nas vigas laterais. Enfim, a 3ª opção foi escolhida, que consistia em fazer fixações que seriam feitas via três pórticos planos que seriam fixados aos pilares de concreto armado já existentes.

Após calcular a estrutura, esses mezaninos foram executados e concretizados conforme o projeto arquitetônico. As Figuras 27 e 28 apresentam o resultado final da construção.



Figura 27. Vista Lateral Mezanino 2 já executado.



Figura 26. Mezanino 2 executado.

REFERENCES

Associação brasileira de normas técnicas. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios: NBR 8800. Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, L. S.; GERVÁSIO, H. Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas: Métodos Avançados. Ed. CMM – Associação Portuguesa de Construções Metálicas e Mista. 2007.

PINHEIRO, A. C. F. B.; Estruturas Metálicas – Cálculos, detalhes, exercícios e projetos. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2001.

CARVALHO, P. R. M.; GRIGOLETTI, G.; BARBOSA, G. D. Curso básico de perfis de aço formados a frio. 3ª Edição. Porto Alegre, 2014.