

## **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DAS VIGAS DE COBERTURA DO EDIFÍCIO SG 12 DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**Samara Dourado de Souza**

*samara02dourado@gmail.com*

*FAU-UnB, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília - UnB.*

*Campus Universitário Darcy Ribeiro. Brasília - DF, CEP 70842-970.*

**Professor Dr. Carlos Eduardo Luna de Melo**

**Professor Dr. Luis Alejandro Pérez Peña**

*carlosluna@unb.br*

*alejandrop@unb.br*

*PPG-FAU-UnB, Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília - UnB, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Departamento de Tecnologia em Arquitetura e Urbanismo. Brasília – DF, CEP 70904-97*

**Resumo.** Projetado em 1962 pelo arquiteto João da Gama Filgueiras Lima, o Lelé, e executado pela construtora Rabello S.A, o edifício SG 12 tinha como objetivo abrigar funções temporárias e de apoio da Universidade de Brasília, sendo parte do conjunto de Galpões de Serviços Gerais com mesma concepção estrutural da Universidade de Brasília, formado pelos edifícios SG 9, SG 11 e SG 12. O edifício SG 12 abrigou até a década de 1972 a Biblioteca Central, e hoje abriga os programas de Pós-graduação de Geotecnia, Transporte, Estruturas e Construção Civil e Recursos Hídricos. O edifício SG 12 foi construído com estrutura pré-moldada de concreto armado, conta com subsolo, térreo, mezanino e cobertura, possuindo uma área construída de 5.437 m<sup>2</sup>. Uma característica marcante da estrutura é que o pavimento mezanino é atirantado às vigas da cobertura, o que permite flexibilidade de uso ao edifício. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise do comportamento estrutural das vigas da cobertura do edifício, a partir da modelagem estrutural em elementos finitos, utilizando o programa SAP2000. São apresentados os esforços atuantes nas vigas, bem como verificações de estado-limite de deformações excessivas (ELS-DEF) e de vibrações excessivas (ELS-VE), conforme a ABNT NBR 6118: 2014.

**Palavras-chave:** Análise estrutural; Concreto armado; Concreto pré-moldado.

## 1 Introdução

O edifício SG 12 se localiza na Universidade de Brasília e está entre as construções pioneiras no campus Darcy Ribeiro. O edifício foi construído com estrutura pré-moldada de concreto armado, que é baseado na repetição de elementos estruturais, resultando assim, em uma maior rapidez na construção. Dessa forma, a UnB foi uma experiência pioneira do uso do pré-moldado, com os arquitetos João da Gama Filgueiras Lima e Oscar Niemeyer. E de acordo com Derntil [1], os Galpões de Serviços Gerais foram um dos primeiros projetos do Lelé empregando o pré-moldado de concreto entre as décadas de 1962 e 1963.

## 2 Sistema Estrutural

O arranjo estrutural que Lelé propôs aspirando uma maior flexibilidade no uso dos espaços, foi uma estrutura pendurada, ou seja, um mezanino atirantado nos vigamentos de cobertura, resultando assim, em um grande vão livre no térreo. Devido a versatilidade do edifício, havia a possibilidade de diminuir, aumentar ou até mesmo desmontar todo o mezanino, mas devido ao crescimento das atividades da Universidade, o mezanino cresceu e antes, onde era um pé direito duplo, deu lugar à expansão do mezanino.

De acordo com Schlee [2], o sistema estrutural apresentado foi um conjunto de pilares de concreto localizados a cada 8 metros no sentido longitudinal e afastados, 11 m, 4 m e 11 m no sentido transversal. Sobre os pilares periféricos foram apoiadas vigas longarinas (de 35 cm x 95 cm) com 8 metros de vão e sobre os pilares centrais duplos, vigas-calhas (de 35 cm x 95 cm).

Feitas com concreto, as vigas de cobertura são biapoiadas, paralelas e com seção retangular de 15 cm x 60 cm. Intercaladas a cada 1 m no sentido longitudinal por folha de alumínio e manta protetora impermeável, possui 15 metros de comprimento e vencem vãos de 11 m, totalizando 152 vigas. Desse modo, elas estão sendo sustentadas pelas vigas longitudinais. Além disso, as vigas de cobertura seguram barras verticais, ou seja, tirantes de aço do tipo MR 250 que estão sujeitos à força solicitante de tração. E estes seguram as vigas metálicas em perfil I do mezanino (Figs. 1 e 2). Sendo assim, os tirantes ficam embutidos na alma dessas vigas e soldados nas laterais das mesmas e devido ao fato da estrutura do SG 12 ser mais flexível que as usuais, os tirantes apresentam vibrações que podem causar sensação de instabilidade e desconforto nos usuários. Há dois perfis de tirantes presentes no edifício SG 12, o mais recente é de chapa dobrada e o mais antigo é de barra redonda rosqueada. Com o objetivo de dividir os espaços internos em sala de professores, salas de aula e laboratórios, os tirantes foram recobertos por chapas para o encaixe de placas de amianto e Eucatex.

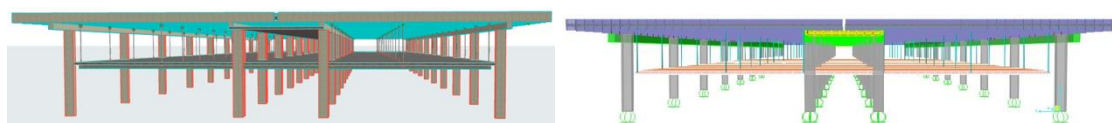


Figura 1 e 2. Modelagem estrutural do SG 12.- Archicad e SAP2000. (Fonte: Autoral).

## 3 Modelo Numérico

Com o objetivo de analisar o comportamento estrutural das vigas de cobertura do edifício SG 12, foi realizado um modelo numérico, utilizando o programa computacional SAP2000, que consiste na modelagem estrutural por elementos finitos. Sendo assim, são apresentados os esforços atuantes e as verificações do estado-limite de deformações excessivas (ELS-DEF) e de vibrações excessivas (ELS-VE), conforme à ABNT NBR 6118:2014 [3]. Para a modelagem da estrutura do SG 12 no SAP2000 foram utilizadas as plantas do SG 12 assim como a planta de formas. No programa, foram utilizados os elementos *frame* e *shell*. O primeiro elemento utiliza-se para simular as vigas, pilares e tirantes. Já o elemento *shell* é utilizado para representar os elementos de superfície tais como as lajes. Além disso, as dimensões e especificações dos materiais de cada elemento também foram definidos no programa.

Devido ao fato de que o valor da resistência à compressão do concreto do SG 12 ser desconhecida, neste trabalho o valor considerado foi  $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$ .

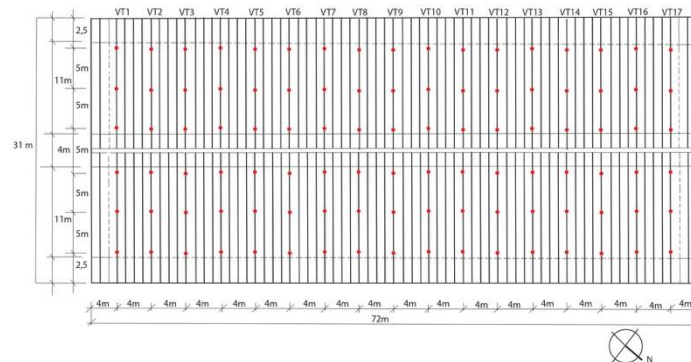


Figura 3. Esquematização das vigas de cobertura, destacando a localização dos tirantes. (Fonte: Autoral).

### 3.1 Casos de Carregamento

Os casos de carregamentos aplicados no mezanino para as cargas permanentes e acidentais, foram definidos de acordo com o histórico de uso dos espaços do edifício SG 12, e de acordo com ABNT NBR 6120:1980 [4]. Nesse sentido, foram considerados 11 casos de carregamento, que foram distribuídos uniformemente nas lajes. Devido ao fato de o SG 12 já ter abrigado uma biblioteca, as cargas consideradas para o pavimento mezanino foram as seguintes: sala de leitura ( $2,5 \text{ kN/m}^2$ ), estante de livros ( $6,0 \text{ kN/m}^2$ ), depósito de livros ( $4,0 \text{ kN/m}^2$ ) e escritório ( $2,0 \text{ kN/m}^2$ ).

As cargas no pavimento mezanino foram aplicadas conforme os esquemas mostrados na Fig. 4, onde, para o primeiro e o segundo caso, foi utilizado 100% da área do mezanino com carga acidental de escritório e leitura. Já nos demais casos, a área foi fatiada no sentido longitudinal com porcentagens diferentes, dessa maneira, cada fatia representa uma carga diferente.



Figura 4. Esquemas de casos de carregamento das cargas acidentais, por porcentagem de área. (Fonte: Autoral).

### 3.2 Combinação de ações

Segundo a norma 8681:2003 [5], todas as combinações de ações devem ser levadas em conta em um edifício para que todos os efeitos que possam causar danos na estrutura sejam considerados. Nesse âmbito, as combinações podem ser classificadas em combinações últimas e de serviço. A primeira se refere a qualquer dano na estrutura que possa causar suspensão do uso dela e a segunda se refere à durabilidade da estrutura. Desse modo, as combinações de serviço utilizadas na análise da estrutura do SG 12 foram as quase permanentes (CQP) e frequentes (CF). A primeira é fundamental na análise do estado limite de deformações excessivas (ELS-DEF) e a segunda na análise do estado limite de vibrações excessivas (ELS-VE). Sendo assim, para cada uma dessas foram feitas 11 combinações.

No caso da combinação última, foi considerado o pior caso de carregamento na estrutura. O vento foi desconsiderado por se tratar apenas da análise das vigas pré-moldadas da cobertura. Logo, a combinação ELU foi feita da seguinte forma:

$$ELU 1 : 1,4 (CP) + 1,4 (SC). \quad (1)$$

Dado que CP representa a carga permanente e SC a sobrecarga.

## 4 Resultados e Análises

Mediante modelagem da estrutura do edifício no SAP2000, obteve-se os resultados dos momentos fletores máximos, das flechas e vibrações das vigas de cobertura com base nas combinações últimas e de serviço. Além disso, a análise do sistema estrutural do edifício SG 12 foi outro fator fundamental para a obtenção dos resultados.

### 4.1 Momentos fletores

Para apresentar os momentos máximos positivos e negativos foi considerada a envoltória do carregamento do estado limite último (ENV. ELU). Assim, dentre todas as vigas de cobertura com tirantes, a VT1 foi a que apresentou os maiores momentos fletores. Além disso, é possível observar que há uma maior concentração de força no centro do vão da viga esquerda e no balanço da viga direita.



Figura 5. Diagrama de momentos fletores máximos (+) e mínimos (-) da viga de cobertura VT1-SAP 2000. (ENV. ELU). (Fonte: Autoral).

### 4.2 Flechas

Para obter o maior valor de flecha nas vigas da cobertura, foram consideradas 11 combinações quase permanentes (CQP) em cada viga. Logo, depois da análise de todas as vigas de cobertura com tirante, a que apresentou as maiores flechas foi a VT9 para a combinação quase permanente 9 (CQP 9). Além disso, é possível observar que elas estão concentradas no centro dos vãos. Desse modo, a flecha máxima para a combinação 9, na viga 9, foi 2,70 cm no vão da esquerda e 2,0 cm no da direita. O valor da flecha está dentro do limite para utilização estabelecido pela norma, sendo:

$$\frac{l}{250} = 4,43 \text{ cm} \quad (2)$$



Figura 6: Flechas na viga de cobertura VT9 – SAP 2000. (CQP 9). (Fonte: Autoral).

### 4.3 Vibrações

O estudo das vibrações em pisos induzidas por atividades humanas nas estruturas civis têm sido cada vez mais frequente nos dias atuais, no entanto, este assunto não é um problema recente. Segundo relatos de alunos, docentes e pessoas que frequentam o SG 12, o mezanino apresenta vibrações excessivas. Essa percepção e tolerância à vibração dependem do horário.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 [3], “para assegurar comportamento satisfatório das estruturas sujeitas a vibrações, deve-se afastar o máximo possível a frequência própria da estrutura da frequência crítica ( $f_{crit}$ ), que depende da destinação da respectiva edificação”. A  $f_{crit}$  é obtida da Tabela 23.1 dessa norma, onde a mínima frequência é 3,5 Hz (salas de concerto com cadeiras fixas).

Para obter a frequência própria da estrutura, foi feita uma análise dinâmica modal do modelo numérico da Fig. 2 no SAP2000. Destaca-se que na análise não foram consideradas as paredes nem as escadas e não foi feita uma atualização do modelo. Assim, o valor obtido foi de 1,06 Hz.

Ao comparar essas frequências, percebe-se que o mezanino não atende os requerimentos da norma, apresentando uma grande flexibilidade. Isto aqui demonstra a necessidade de estudar mais a fundo esse prédio, pois as vibrações afetam de diversas maneiras aos ocupantes do prédio, causando desconforto, problemas de saúde, diminuição da capacidade de concentração e eficiência no trabalho ou enjoo, no caso de vibrações de baixíssima frequência (ISO 2631 [6]).

## Agradecimentos

Agradeço aos professores Carlos Eduardo Luna de Melo e Luis Alejandro Pérez Peña pelo apoio, paciência e dedicação e a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo por proporcionar um ambiente adequado para o desenvolvimento deste trabalho.

## Referências

- [1] M. F. Derntl. A necessidade da racionalização in *Revista AU*, n 140; São Paulo: PINI, novembro de 2005. Disponível em: <<http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/140/a-necessidade-de-racionalizacao-22257-1.aspx>>. Acesso em: 07 jun. 2019.
- [2] A. R. Schlee. O Lelé na UnB (ou o Lelé da UnB). 2010. In: *Seminário em celebração ao Memorial Darcy Ribeiro na Universidade de Brasília*, 2010 - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto- Procedimento. Rio de Janeiro. ABNT, 2014.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6118: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro. ABNT, 1980.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6118: Ações e segurança nas estruturas- Procedimento. Rio de Janeiro. ABNT, 2003.
- [6] International Organization for Standardization, Mechanical vibration and shock—evaluation of human exposure to whole body vibration—part 1: general requirements, ISO 2631-1:1997, 1997.