

Recuperação e Replicação na Relação

Estrutura – Arquitetura

Por um Patrimônio Mundial Baseado na Simulação Digital

Iberê Pinheiro de Oliveira

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

Jéssica Brandão

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

João da Costa Pantoja

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

Aline M. C. Santoro

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

Received: 04 Sept 2017 _____ / Accepted: 18 Sept 2017 _____ / Published: 27 Nov 2017 _____.

Abstract: This paper discusses the possibility of designing strategies for the recovery of architectural works by means of computational simulations. A case study was done on the Dom Bosco Sanctuary. In order to recuperate Sanctuary's architectural design (which cannot be found), detailed researches were conducted, as well as measurements *in locus*, so that it was feasible to digitally recreate both the design and the construction process. Starting from digital simulations, the authors were able to analyse the interrelation between Sanctuary's conceptual process and its physical structure, from which the elements themselves are used to create architecture and to decorate it.

Key words: structure as architecture; digital simulation; modernist movement; exposed structure.

1. Introdução

1.1 Estruturas Aparentes

Sabe-se, há muito tempo, que a apreensão da arquitetura está intimamente ligada à apreciação da estrutura arquitetônica. Conforme já dizia Vitruvius

Autora correspondente: Aline M. C. Santoro, arquiteta, áreas de pesquisa: estruturas em concreto armado. E-mail: alinemcsantoro@gmail.com.

[1], são componentes básicos da arquitetura a “comodidade”, a “beleza” e a “firmeza”, sendo esta a primordial. Enquanto a “comodidade” se refere a aspectos funcionais e a “beleza” a sensibilidades estéticas, a “firmeza” se baseia na habilidade arquitetônica de manter a integridade física por determinado tempo, em determinado ambiente e, assim sendo, o elemento principal desse componente é a estrutura. A ação de projetar edificações, portanto, caminha em paralelo com a ação de projetar estruturas, seja esta intencional ou não.

Muito arquitetos, ao longo da história, defenderam o ideal de que a estrutura deve ser

necessariamente definidora da forma arquitetônica. Como disse Viollet-le-Duc [2], ao se referir à arquitetura gótica do século XVIII, “Imponha-me um sistema estrutural e naturalmente encontrarei as formas que devem resultar. Mas, se você mudar a estrutura, serei obrigado a mudar as formas”. Apesar de sua proposição se referir especificamente a materiais construtivos de sua época, que se faziam, pelo tamanho e peso, mais expressivos nas obras, a sua máxima perdeu; e continua a ser um importante elemento formativo em inúmeras obras.

Ainda nos tempos modernos, Nervi [3] reconhece a fusão dos aspectos estéticos, estáticos e construtivos. Segundo o autor, há, nas obras do passado, conexão estreita e indissolúvel da expressividade estética com a sustentação estrutural. Torna-se, dessa forma, difícil identificar se na origem de tais feitos arquitetônicos estava a abstrata inspiração estética ou a intuição estático-construtiva. Dizia ele, ainda, que o caráter da construção não depende das silhuetas das molduras, das dimensões das esquadrias, ou qualquer elemento decorativo, mas sim do relacionamento entre a forma, o volume e as características da estrutura portante, ou seja, os elementos que definem o esqueleto do organismo estrutural. E prosseguia:

A mais alta prioridade do artista é a de sintetizar naturalmente, e até involuntariamente, sentimentos característicos de seu tempo e traduzi-los de forma eloquente para todos. (...) O projetista deve estudar cuidadosamente, com desenhos, ou melhor, com modelos físicos, cada nó importante, procurando compreender a forma com que o fluxo das forças se distribui entre a armadura e o conglomerado, buscando dispor os elementos de modo que essa distribuição seja a mais simples e espontânea possível. [3]. (livre tradução dos autores).

Macdonald, ao tratar da relação entre arquitetura e estrutura, distingue cinco maneiras em que a

arquitetura pode ser influenciada pela solução estrutural: ornamentação da estrutura; estrutura como enfeite; estrutura como arquitetura; estrutura como geradora da forma; e estrutura ignorada. Na “ornamentação da estrutura”, edifícios consistem em pouco mais que a forma estrutural, esta última sendo minimamente ajustada para efeitos visuais, como nos templos gregos e catedrais góticas. Em contrapartida, na “estrutura como enfeite”, a manipulação de elementos estruturais é puramente estética e simbólica, muitas vezes dando origem a estruturas pouco eficientes. As soluções estruturais são escolhidas pela aparência e não pela eficiência.

A “estrutura como arquitetura” refere-se a edificações formadas pela estrutura pura, ou “estrutura sem ornamento”. Sua forma é determinada somente pelo critério técnico e o encanto arquitetônico se dá por meio da valoração da forma estrutural pura. Dessa forma, a solução estrutural atribuída a desafios arquitetônicos, como grandes vãos ou grande alturas, se torna uma forma de arte. Por outro lado, a “estrutura como geradora da forma” refere-se a edificações em que a arquitetura segue a forma estrutural, porém esta não necessariamente é exposta, ou seja, a estrutura não é glorificada, como na “estrutura como arquitetura”, mas aceita e explorada. Princípio gerador do vocabulário visual da arquitetura moderna, influenciou em grande parte a arquitetura de Le Corbusier, em que a forma estrutural favorecida – a laje plana de concreto armado – é fortemente explorada para gerar a forma arquitetônica.

1.2 Brasília: considerações gerais

Sobre Brasília, foi Rossetti quem nos trouxe uma pequena joia memorial, que vale a pena ser transcrita:

Pensar em Brasília é pensar em arquitetura. Pensar em Brasília é pensar na cidade que foi erguida num território vazio e que se definiu como imagem, como

lugar e como símbolo através da arquitetura. As fotografias da construção, as filmagens dos canteiros de obras, as memórias dos candangos, o ritmo frenético do processo construtivo, a inauguração mítica, os palácios transparentes e o imenso horizonte aberto do cerrado, tudo isso se funde e constrói uma percepção complexa do que a cidade-capital representa hoje através de sua arquitetura. [4]

De acordo com o autor, Brasília, cidade-capital, nasceu lado a lado com a arquitetura. Tanto sua concepção, com o concurso ganho por Lúcio Costa, quanto sua execução, pelo arquiteto Oscar Niemeyer, foram enraizados nos princípios e ideais do movimento arquitetônico modernista. Observa-se, portanto, nas principais edificações da cidade, certa dominância da planta livre – onde a vedação independe da estrutura –; dos grandes vãos; da arquitetura escultural; da estrutura aparente. Muitos edifícios eram caracterizados pela própria estrutura, assim como disse Niemeyer [5]: “incorporei a arquitetura ao sistema estrutural, permitindo que, terminada uma estrutura, ela também estivesse presente [...]. Integrava-a na técnica mais avançada, no vão maior, nos balanços imensos, nela caracterizando o apuro do concreto armado.”

Niemeyer, então, conferiu à cidade a sua essência, compartilhando, com outros arquitetos, a missão de conduzi-la. Eis que, de 1963 a 1970, o arquiteto Carlos Alberto Naves projetou e construiu o Santuário Dom Bosco (visto na Figura 1) em homenagem ao Padroeiro da cidade São João Belchior Bosco. Iniciativa da Congregação Salesiana em parceria com o Governo Federal, situa-se na Quadra 702 Sul do Plano Piloto, todo de concreto aparente. A sua concepção estrutural e construtiva, entretanto, foi perdida e, por esse motivo, fizeram-se necessários, vistorias, levantamentos *in loco* e simulações computacionais para recuperar seu acervo e analisá-lo

de forma a melhor compreender a influência da estrutura na arquitetura.



Figura 1: Vista noturna do Santuário Dom Bosco.

Fonte: acervo particular dos autores.

A recuperação do acervo documental do Santuário tem como objetivo auxiliar no tombamento isolado por integrantes de Sítio Histórico Urbano Nacional - SHUN, de Conjunto Urbano de Monumentos Nacionais - CUMN, e respectivas vizinhanças e, dessa forma, os projetos deverão atender as recomendações estabelecidas pelo IPHAN e receber a prévia aprovação dos Projetos de Intervenção em Bens do Patrimônio Cultural, em conformidade com as disposições do Decreto Lei nº 25, de 30/11/1937. Para este fim, fizeram-se necessários: o conhecimento do bem, e do seu significado atual e ao longo do tempo; o conhecimento da sua evolução e, principalmente, dos valores pelos quais foi reconhecido como patrimônio cultural. O primeiro tem o objetivo de conhecer e analisar a edificação sob os aspectos históricos, estéticos, artísticos, formais e técnicos, enquanto que o segundo focaliza uma pesquisa histórica que vise sistematizar as informações obtidas por meio de pesquisas arquivísticas, bibliográficas e de fontes orais, objetivando conhecer e situar a edificação no

tempo, identificando sua origem e o seu percurso histórico.



2. Metodologia

Para o trabalho em questão, foi feito um estudo bibliográfico sobre a influência da estrutura na arquitetura e sobre esse fenômeno na cidade-capital, Brasília. Foi feito, ainda, um levantamento da documentação existente sobre o Santuário na sua secretaria, no Acervo Público de Brasília e na Gerencia de Aprovação de Projetos do GDF. Posteriormente, realizaram-se vistorias *in loco*, execução de registro fotográfico, análise dos sistemas estruturais envolvidos e sua relação com a forma arquitetônica. Possibilitou-se, dessa forma, a execução do projeto no software AutoCAD e sua posterior modelagem em programas de desenho tridimensionais assistidos por computador, como o Sketchup, o Revit e o Rhinoceros.

3. Resultados e Discussões

Ao analisar as relações da arquitetura com a estrutura no Santuário Dom Bosco, percebe-se uma interligação dos conceitos apresentados por Macdonald [1]. Ao mesmo tempo em que a estrutura configura tanto a forma quanto a própria arquitetura, pode-se observar, ademais, a estrutura como elemento decorativo. A edificação é formada essencialmente por quatro blocos independentes de pórticos finalizados em arcos ogivais, dispostos perpendicularmente de forma a criar quatro fachadas quase idênticas (Figura 2). Enquanto essa estrutura compõe a arquitetura da igreja, e, em conjunto com as treliças internas, ordena a sua forma, o uso dos arcos remete simbolicamente à reinterpretção modernista de elementos do catolicismo – a arquitetura gótica.



Figura 2: Foto da vista externa – sem identificação de data. Fonte: acervo do SDB.

3.1 Sobre as fachadas

Com base nos levantamentos e medições verificou-se que os pórticos são compostos por colunas com 20 metros de altura unidas ao alto em arcos ogivais. O conjunto de colunas forma um quadrado de 40x40 metros. Os pilares de concreto possuem seção de 230x30cm, e sua altura, em conjunto com a esbeltez dos pórticos, dá leveza ao edifício. Com essas informações, foi feita uma recomposição do cronograma executivo da obra, com a finalidade de observar cuidadosamente as etapas de concretagem e o sequenciamento construtivo, para então entender as questões de estabilidade nas diferentes fases executivas da estrutura final, conforme idealizado no projeto arquitetônico. Observa-se ainda que o efeito do acabamento em concreto aparente exigiu do construtor um controle primoroso das formas e um rígido controle tecnológico de propriedades do concreto como fluidez e *slump*.

De acordo com as fotos históricas localizadas, pode-se perceber que a concretagem dos pilares que compõem a fachada foi executada em três estágios, face a complexidade do modelo arquitetônico e a esbeltez do elemento estrutural conforme ilustra a Figura 3. Essa figura ilustra até onde foi cada fase da

concretagem da obra com uma linha vermelha. Observa-se, então, que no primeiro estágio de concretagem foram montadas as faces dos pilares e as laterais dos arcos; no segundo estágio executou-se o preenchimento dos pilares e dos arcos; no terceiro, a concretagem da laje.

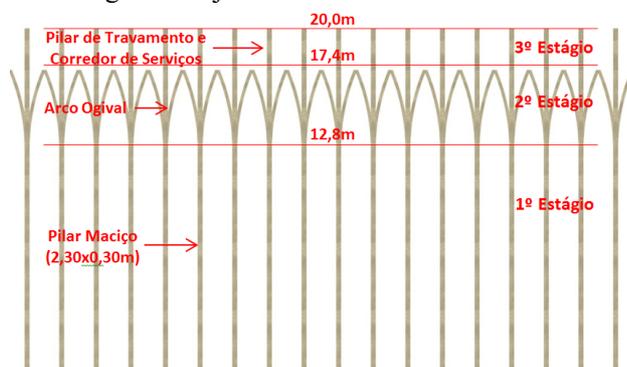


Figura 3: Croquis indicando os estágios de concretagem. Fonte: acervo particular dos autores.

A Figura 4 expõe nitidamente o primeiro estágio, onde foram montadas as faces interna e externa dos pilares e as laterais dos arcos já com os nichos para posicionamento futuro das treliças metálicas.

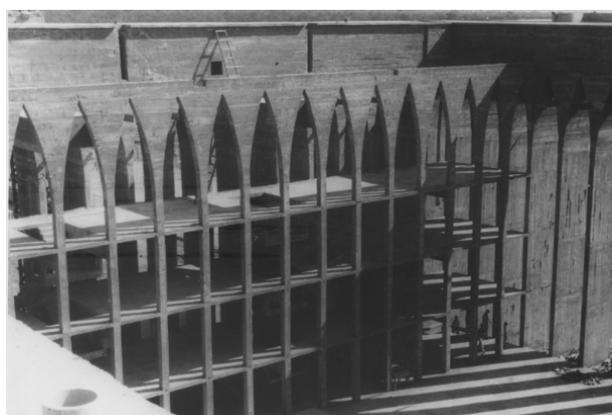


Figura 4: Vista interna da construção – sem identificação de data. Fonte: acervo do SDB.

Neste estágio, foi executado o travamento dos pilares ao longo de sua altura para evitar o colapso dos elementos por flambagem, conforme demonstrado no

esquema isométrico a seguir (Figura 5). Evidenciaram-se, nessa etapa, solicitações nas fundações na forma de momentos fletores, gerando a necessidade de engastá-las.

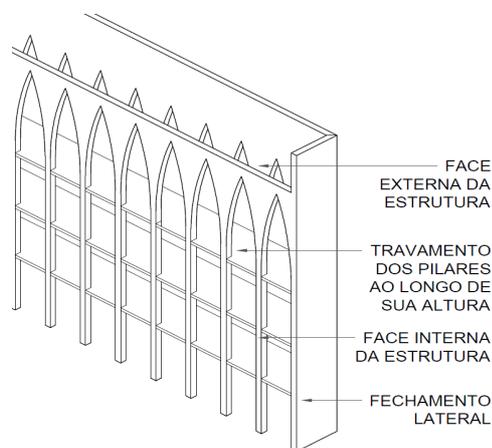


Figura 5: Isométrico do conjunto de arcos ogivais: primeira etapa de concretagem. Fonte: acervo particular dos autores.

No segundo estágio, os pilares e arcos foram preenchidos unindo todos os pilares construídos no primeiro estágio e fornecendo mais rigidez ao pórtico que configura a fachada da edificação, conforme a Figura 6.

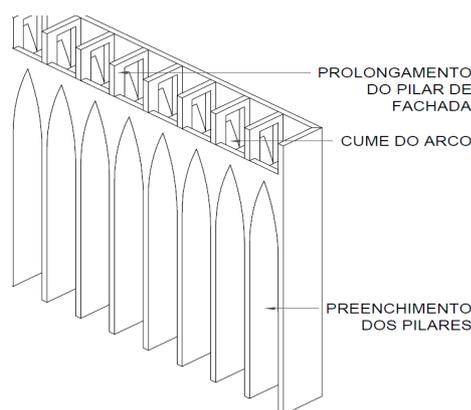


Figura 6: Isométrico do conjunto de arcos ogivais: segunda etapa de concretagem. Fonte: acervo particular dos autores.

Pode-se perceber esta sequência, ainda, analisando uma foto tirada na parte interna do corredor de serviços (Figura 7).



Figura 7: Vista da parte interna do corredor de serviço. Fonte: acervo particular dos autores.

No terceiro estágio - concretagem da laje do corredor de serviços – percebeu-se que os elementos da platibanda em conjunto com a laje do corredor de serviços fazem o travamento final do pórtico.

3.2 Encaixes e apoios das treliças

Com as fachadas montadas e os pórticos de concreto estabilizados, as treliças metálicas foram encaixadas nos nichos deixados na parte interna do corredor de serviços, conforme a Figura 8.

Nessa etapa de montagem, denominada terceiro estágio, o projeto arquitetônico e estrutural convergiu, possibilitando uma execução segura e ágil da obra. Parte da treliça metálica pode ficar apoiada sobre a fachada estruturada rigidamente, sem necessidade de grande volume de andaimes ou apoios.



Figura 8: Vista da montagem das treliças do telhado. Fonte: acervo do SDB.

Os apoios da treliça sobre a parte interna do corredor de serviços estão inacessíveis, mas um modelo virtual do Santuário Dom Bosco foi criado com auxílio do *software* SketchUp, com a finalidade de representar os apoios. Nesse modelo foram levadas em conta condições de apoio simples, sem transmissão de esforços de momento fletor. A treliça do telhado, na condição final da estrutura, trabalha como uma viga bi-apoiada nos pórticos de concreto que compõem as fachadas. As Figuras 9 e 10 abaixo exibem esse apoio. O elemento estrutural treliça permanece apoiado no nicho de concreto existente.



Figura 9: Detalhe do apoio da treliça metálica *in loco*.
Fonte: acervo particular dos autores.

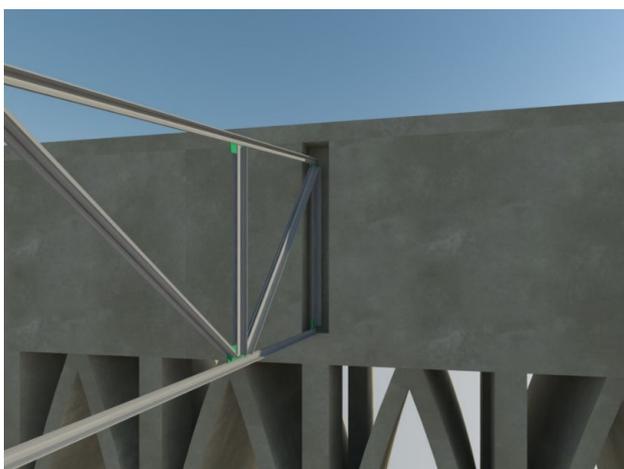


Figura 10: Detalhe do apoio da treliça metálica no modelo virtual. Fonte: acervo particular dos autores.

Para garantir a sustentação do grandioso lustre e do forro (Figura 11), dois modelos de treliças metálicas foram elaborados e dispostos perpendiculares entre si conforme visto anteriormente na Figura 8.



Figura 11: Vista interna da edificação – sobrecarga de utilização forro e lustre. Fonte: acervo do SDB.

Ambos os modelos de treliça foram elaborados em cantoneiras laminadas que se cruzam perpendicularmente (Figura 12).

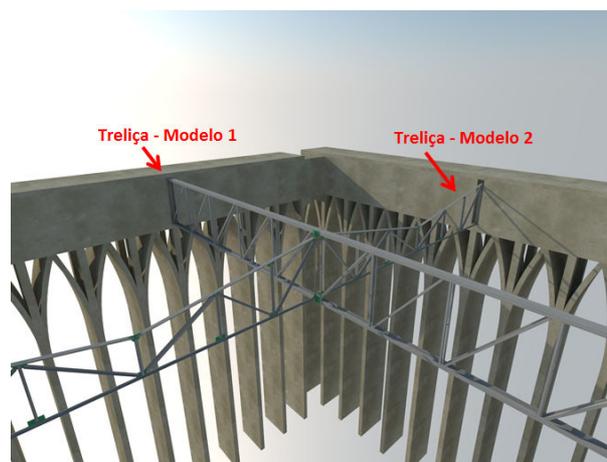


Figura 12: Modelo digital – vista dos dois modelos de treliça. Fonte: acervo particular dos autores.

Apesar do vão interno ser um quadrado de 40 x 40 metros, a treliça modelo 1 atende aos esforços principais, possuindo inércia única (Figura 13 e Figura 14).



Figura 13: Tipologia da Treliça Modelo 1. Fonte: acervo particular dos autores.

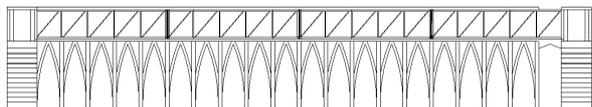


Figura 14: Treliça Modelo 1. Fonte: acervo particular dos autores.

A treliça modelo 2, tem inércia variável para atender a inclinação do forro e das telhas que tem suas calhas posicionadas nas partes mais baixas da mesma (Figura 15 e Figura 16).



Figura 15: Tipologia da Treliça Modelo 2. Fonte: acervo particular dos autores.

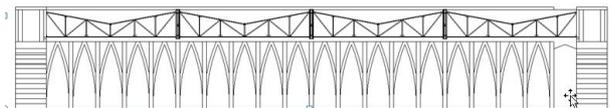


Figura 16: Treliça Modelo 2. Fonte: acervo particular dos autores.

No local, é possível aferir a montagem dos dois modelos de treliças citados conforme exibe a imagem abaixo.



Figura 17: Vista atual do telhado, treliça modelo 1 e treliça modelo 2 cruzadas perpendicularmente. Fonte: acervo particular dos autores.

As ligações foram divididas em dois tipos: soldagem direta sobre placas de ligação e aparafusadas, para atender ao processo de montagem (Figura 18, Figura 19 e Figura 20).



Figura 18: Ligação através de soldagem direta *in loco*. Fonte: acervo particular dos autores.



Figura 19: Ligação através de soldagem direta no modelo virtual. Fonte: acervo particular dos autores.

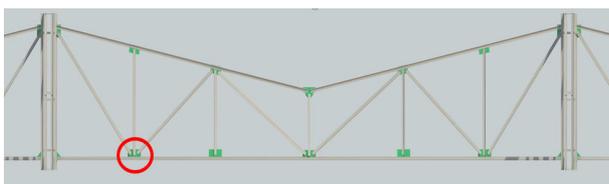


Figura 20: Sequência de análises para modelar a ligação soldada com chama #3/16". Fonte: acervo particular dos autores.

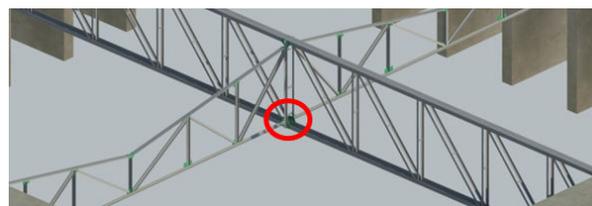


Figura 23: Ligação parafusada com chapa #3/16" - detalhe para os parafusos de 1/2" e 3/8". Fonte: acervo particular dos autores.

As ligações aparafusadas foram utilizadas para facilitar a montagem, e podem ser vistas no modelo digital e na inspeção feita no local (Figura 21, Figura 22, e Figura 23).



Figura 21: Ligação aparafusada *in loco*. Fonte: acervo particular dos autores.

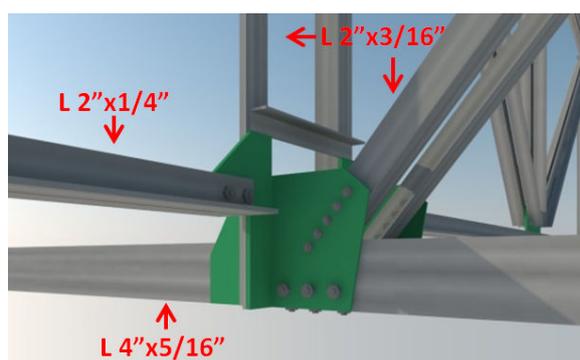


Figura 22: Ligação aparafusada no modelo virtual. Fonte: acervo particular dos autores.

O lustre central é o maior elemento decorativo instalado na parte interior do edifício e também a maior sobrecarga pontual. Composto por três círculos concêntricos possui 5 metros de largura (diâmetro maior) e 3 metros de altura. Possui ainda 9.000 copos de vidro de Murano e 435 lâmpadas, resultando numa sobrecarga final de 2000 Kgf (Figura 24, Figura 25, Figura 26 e Figura 27)

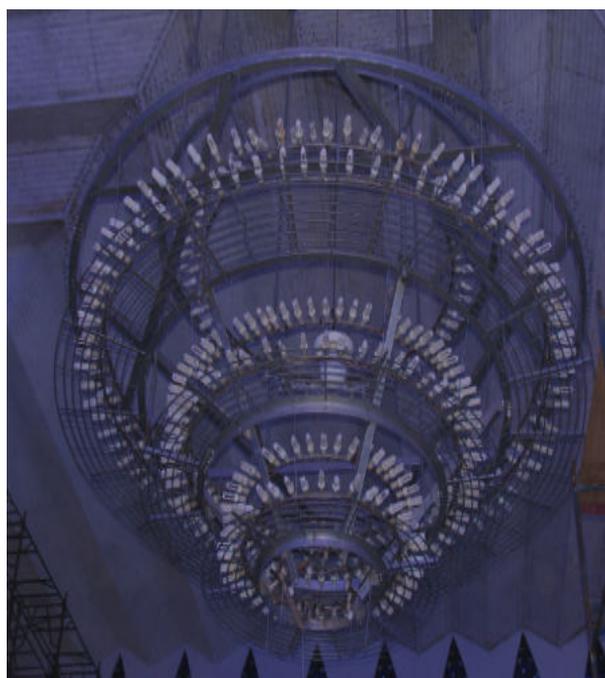


Figura 24: Detalhes da estrutura do lustre. Fonte: acervo do SDB.



Figura 7: Lustre montado. Fonte: acervo do SDB.



Figura 7: Detalhe do copo de vidro. Fonte: acervo do SDB.

4. Conclusões

As vistorias e medições *in loco*, a análise documental e os modelos físico e computacional não só possibilitaram a recuperação do acervo histórico do Santuário Dom Bosco, como contribuíram para o entendimento do relacionamento entre estrutura e arquitetura em Brasília. O Santuário foi projetado conforme a tradição estabelecida pelos criadores da cidade – planta livre, grandes vãos, arquitetura escultural e estrutura aparente. A solução estrutural, portanto, domina a construção, criando, de certa forma, todos os seus espaços: as fachadas são compostas de

nada mais que pórticos em arcos ogivais de concreto aparente; sua planta, totalmente livre, só é possível por causa das treliças metálicas que, apesar de escondidas, dominam sua forma.

Arquiteticamente e estruturalmente é um edifício que impressiona por sua grandeza e ao mesmo tempo leveza. Percebe-se ainda, na remontagem do cronograma de etapas e da sequência de execução da obra, que a esta pode ser coordenada de forma simples e eficiente. Seu sistema estrutural é simples, leve e apresenta boa estabilidade estrutural.

O Santuário à primeira vista parece um enorme bloco de concreto. No entanto, internamente ele revela um espaço surpreendente, preenchido pela luz natural que atravessa os vitrais em 12 tonalidades de azul; essa luz ilumina o salão a qualquer hora do dia. Já à noite, o espaço é iluminado por meio do grande lustre central que possui, com 435 lâmpadas.

Pode-se perceber que a estrutura foi pensada não apenas como um sustentador de cargas, mas também como parte funcional e estética do edifício, trazendo o simbolismo de elementos católicos – arquitetura gótica – para o modernismo. Toda solução estrutural exigida para sustentar o vão central pode ser vista como composição rica e detalhada de uma arquitetura moderna. A união dos conhecimentos estéticos aos elementos de sustentação e técnicas de cálculo estrutural possibilitou detalhes minimalistas descrevendo as linhas esbeltas e simples da arquitetura apresentada. Conclui-se, portanto, que o Santuário Dom Bosco pode ser caracterizado como um edifício de estrutura aparente tanto internamente quanto externamente. Seu aspecto estrutural deixa clara a função arquitetônica que traz enriquecimento para o próprio edifício e para o seu entorno.



6. Referências

- [1] Macdonald, A. 2001. *Structure and Architecture*. 2nd ed., Architectural Press, Department of Architecture, University of Edinburgh, Edinburgh.
- [2] Charleson, A. 2009. *A Estrutura Aparente: Em Elemento de Composição em Arquitetura*. Tradução de Alexandre Salvaterra, Bookman, Porto Alegre.
- [3] Nervi, P. 2010. *Costruire Correttamente*. 2a ed., Ulrico Hoepli Editore, Milano.
- [4] Rossetti, E. 2012. *Arquiteturas de Brasília*. Instituto Terceiro Setor, Brasília.
- [5] Niemeyer, O. 1978. *A Forma na Arquitetura*. Editora Revan, Rio de Janeiro.