



STRUCTURAL SYSTEM'S ANALYSIS OF THE ATTORNEY'S GENERAL'S BLOCK "A" OF THE BRAZILIAN REPUBLIC

Stefano Galimi

stefanogalimi.arch@gmail.com

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil

Márcio Augusto Roma Buzar

marcio.buzar@gmail.com

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil

Marco Aurélio Bessa

bessamarco@yahoo.com.br

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil

Leonardo Inojosa

leonardo@inojosa.com.br

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil

Resumo. *A relação entre a forma e a estrutura da Procuradoria Geral da República do Brasil, projetada pelo arquiteto Óscar Niemeyer, define o enquadramento do desenho arquitetônico. As formas geométricas deste conjunto, formadas por dois edifícios principais, são realizadas por duas tecnologias construtivas e diferentes soluções estruturais. O sistema de construção predominante usado para a construção do bloco "A", é o concreto protendido com um sistema suspenso por cabos de aço. Todo o peso do edifício é transferido para o núcleo rígido central, que o descarrega para as fundações. Considerando o sistema estrutural reforçado, foram utilizados pilares metálicos para a concretagem da laje do primeiro andar, permitindo o suporte temporário do edifício. José Carlos Süssekind foi o engenheiro responsável pelo projeto estrutural do complexo arquitetônico. Através de uma análise computacional realizada através do programa SAP2000, foi possível identificar os modelos estruturais do edifício para obter dados numéricos que representam os esforços e as*

CILAMCE 2017

tensões que coexistem nesta obra prima. Para a análise estrutural, foram consideradas três hipóteses de carga: Carga Permanente (G), Carga Acidental (Q) e carga de Vento (V).

Palavras-chave: *Estrutura, Análise estrutural, Análise computacional, Oscar Niemeyer, Procuradoria Geral da República.*

1. INTRODUÇÃO

A arquitetura do Niemeyer, que se destaca dos padrões convencionais pela plasticidade e sinuosidade das suas curvas, é considerada uma verdadeira simbiose entre a estrutura resistente e às formas (MÜLLER, 2003).

A relação com as estruturas marcou o trabalho do Niemeyer desde o começo da sua carreira de arquiteto, desenvolvendo para cada projeto novas soluções tecnológicas.

Como explica Müller (2003), Oscar Niemeyer estava à procura constante de concisão e pureza para estabelecer um “real comprometimento entre forma e estrutura”.

É importante lembrar que, a estrutura resistente de uma obra de arquitetura do Oscar, não está somente determinada por noções de estática, mas também por razões de origem simbólica e pela vontade de proporcionar profundidade e variedade de apreciação ao observador.

Essa sua maneira de projetar o “plasticismo simbólico”, recebeu várias críticas movidas por parte de profissionais arquitetos e engenheiros, interessados somente na forma estrutural e no valor arquitetônico das suas obras.

O objeto de estudo a ser analisado nessa dissertação de mestrado, a Procuradoria Geral da República (PGR), um dos símbolos principais do poder jurídico no Brasil, consta em uma obra arquitetônica de autoria de Oscar Niemeyer, localizada na capital federal, projetada em 1996 e executada em 2002 (UCHIGASAKI, 2006).



Figura 1. Procuradoria Geral da República, Brasília, DF; Fonte: Daniel Zukko

O estudo dessa obra, que foi fruto de uma mente inovadora seja do ponto de vista arquitetônico que da inovação tecnológica, quer demonstrar a possibilidade de conceber duas edificações de igual forma e volumetria através de duas soluções estruturais diferentes, exaltando o valor simbólico:

“...Os monumentos públicos propiciam uma teatralização social de valores, uma que, consagram as imagens da memória coletiva para além da temporalidade da vida cotidiana”.

1.1 Justificativa

A produção artística e arquitetônica do Oscar Niemeyer na capital federal do Brasil, descrita e analisada por várias figuras em nível tanto nacional quanto internacional, ainda não tem muitos estudos sobre as soluções tecnológicas adotadas pelo arquiteto brasileiro (FONSECA, 2007).

Esse aspecto que condiciona esse tipo de “discriminação” sobre o histórico da engenharia estrutural das obras de Brasília, produzida por Niemeyer, é encarado por Vasconcelos no seu livro que valoriza e ressalta a importância que deveria ter em um patamar internacional.

Além disso, outro fator preocupante sobre esse assunto, consta no fato que não tem documentação oficial de cálculos estruturais, análises e detalhes sobre as maiorias dos prédios históricos de Brasília.

Como a obra do arquiteto se caracteriza essencialmente por utilizar formas elementares, isoladamente ou em conjunto, o papel do observador é simplificado, não importa a matriz cultural pela qual ele provém.

Aí reside a segunda razão da aceitação universal das obras do Oscar Niemeyer em um nível de consideração internacional.



Figura 2. Complexo da Procuradoria Geral da República, Brasília, DF; Fonte: Daniel Zukko

Se a obra possui as qualidades necessárias para ser eternizada, se faz parte de uma corrente cultural moderna e se continua se erguendo através de um desempenho estrutural satisfatório, o nosso interesse deve se estender para todo o panorama da arte moderna brasileira e internacional como reminiscência secular na história da arquitetura (GALIMI, 2016).

A categoria dos profissionais da área de engenharia civil, incluindo profissionais (engenheiros e arquitetos), mestres de obras e funcionários especializados, está cada vez mais focado na busca de novas tecnologias e métodos construtivos para realizar obras que sejam compatíveis com as exigências do mercado moderno. Para garantir um nível de excelência nas edificações residenciais e não, é necessário estabelecer um rigor ético e profissional em todas as fases de vida do projeto, desde a concepção arquitetônica / estrutural.

O desempenho de uma edificação, conhecido como o comportamento em uso de uma determinada estrutura, abrange as condições mínimas de habitabilidade necessárias para os usuários.

A NBR 15575:2013 estabelece 12 critérios de desempenho para edificações residenciais (conforme a tabela 1), baseados e adaptados a partir da normativa internacional ISO 6241:1984.

2. O BLOCO A

O bloco A, sem dúvidas, é um objeto arquitetônico que demandou soluções tecnológicas de alta complexidade na área estrutural e nas instalações prediais. Erguido sem pilares aparentes de sustentação, a edificação transmite ao observador uma sensação de leveza, como se o volume esteja flutuando.

Graças à ajuda do engenheiro responsável pelo departamento de Execução de Obras da PGR, Frederico Scheidt Paulino, que disponibilizou material técnico dos blocos do objeto de estudo, foi analisado o sistema estrutural do edifício A. Constando de um diâmetro de 60 metros e de uma altura de 48,3 metros, o volume do bloco A possui forma cilíndrica e fachada totalmente envidraçada.

A tipologia de vidro utilizada para o acabamento externo é de tipo reflexivo, funcionando como “espelho” para remeter ao skyline do céu de Brasília. O bloco A possui oito pavimentos. O térreo, constituído pela planta do núcleo rígido, e o mezanino, de planta reduzida, abrigam funções de circulação vertical e recepção para os gabinetes dos procuradores.

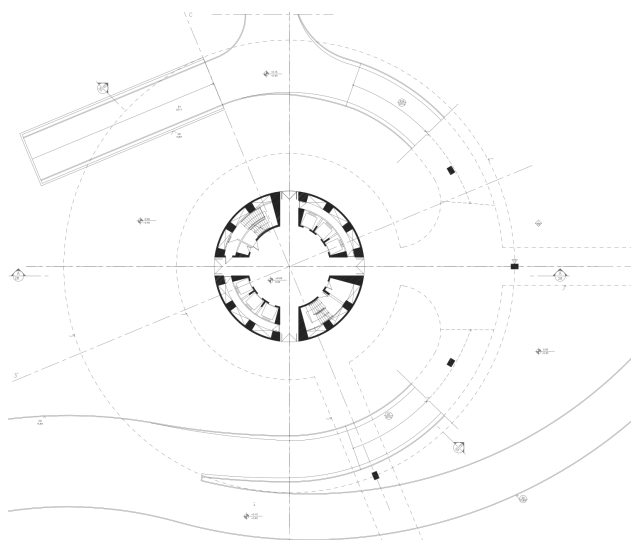


Figura 3. Planta do térreo, bloco A; Fonte: Arquivo da PGR

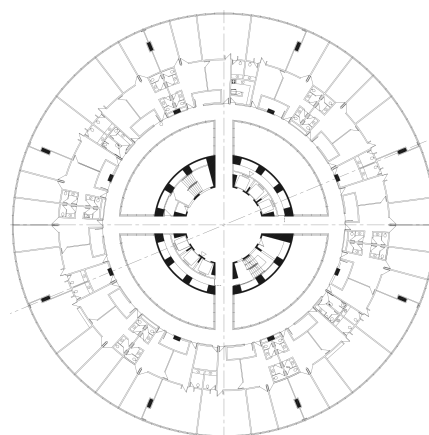


Figura 4. Planta do pavimento tipo, bloco A; Fonte: Arquivo da PGR

O sistema construtivo predominante utilizado para a execução dessa edificação é o concreto protendido junto aos tirantes em aço.

As estruturas transmitem as cargas ao solo através das suas fundações. Para situações em que o terreno superficial apresenta características mecânicas adequadas de resistência, o sistema de fundação pode ser superficial (1/2 metros de profundidade), constituído por sapatas de concreto assentadas no terreno (SANTOS, 2008).

Às vezes, quando o solo apresenta características geotécnicas diferentes daquelas descritas, é indicado utilizar estacas compridas até se atingir um terreno compatível.

No caso do Bloco A, devido ao terreno argiloso, foram previstas estacas moldadas no local, de 42,00 metros de profundidade, para alcançar uma resistência lateral razoável.

A construção do bloco A foi permitida através de pilares provisórios, medindo 10,00 metros de altura.

Considerado o sistema estrutural atirantado, foram utilizados pilares metálicos para a concretagem da laje do primeiro pavimento, assim permitindo a sustentação provisória do edifício. Esses pilares permitiram que as partes da edificação fossem concretadas.

Após a protensão dos tirantes de aço, os pilares metálicos provisionais foram retirados com extrema cautela para não comprometer o sistema estrutural global da edificação.

Desta forma, Oscar Niemeyer conferiu ao prédio uma aparência de leveza que determinou o próprio rumo da concepção arquitetônica de projeto.



Figura 5. Pilares provisórios, bloco A; Fonte: Arquivo da PGR



Figura 6. Pilares provisórios no canteiro de obra, bloco A; Fonte: Arquivo da PGR

José Carlos Sússekkind foi o engenheiro responsável pelo projeto estrutural do complexo arquitetônico da PGR.

A sustentação dessa edificação é garantida por uma estrutura de concreto protendido em forma de estrela de oito pontas no topo do prédio. Pela estrela saem tirantes de aço que sustentam os pavimentos do prédio. Todo o peso do edifício é transferido ao núcleo rígido central, que o descarrega para as fundações.

A estrela de concreto é, de fato, um conjunto estrutural formado por vigas de seção variável com formato trapezoidal.

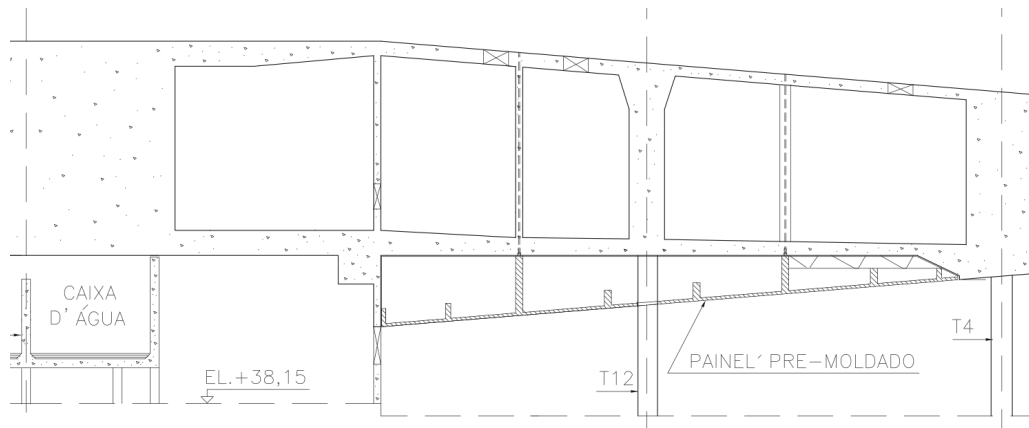


Figura 7. Detalhe em corte de uma pétala das vigas protendidas, bloco A; Fonte: Arquivo da PGR

O concreto utilizado para todos os elementos estruturais tem as seguintes Resistências Características:

Vigas, $f_{ck} \geq 50$ MPa;

Lajes, $f_{ck} \geq 35$ MPa;

Paredes, $f_{ck} \geq 35$ MPa;

Caixas d'água, $f_{ck} \geq 35$ MPa;

O cálculo das vigas estruturais da estrela de oito pontas foi feito em nove diferentes versões por Sússekkind, até se poder alcançar a melhor forma construtiva possível.

A ferragem da metade inferior das vigas já sustentava o peso próprio da estrutura de concreto. Além disso, o peso dos elementos superiores para aliviar o escoramento (que resultava muito caro).

Primeiramente foi concretada a base da estrela, em seguida as vigas constituintes a estrutura e as partes da estrela, determinando-se uma operação de construção altamente complexa.

Os tirantes protendidos, que se originam nas oito pontas da estrela, estão colocados dentro de bainhas de 100 milímetros de diâmetro, as quais contêm sete cabos de protensão (de 16 milímetros cada).

Essas bainhas (com injeção de vaselina para proteger os cabos entre eles) são tubos metálicos.

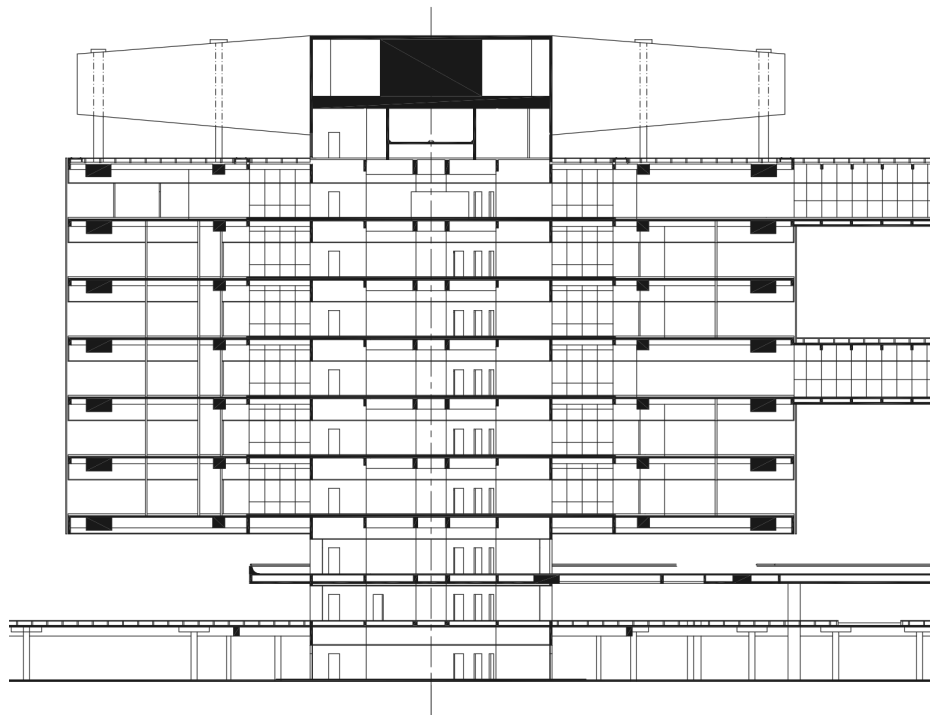


Figura 8. Corte AA, bloco A; Fonte: Arquivo da PGR

3. ANÁLISE DO SISTEMA ESTRUTURAL DO BLOCO A

Para executar a análise estrutural qualitativa do bloco A da Procuradoria Geral da República, foram utilizados os arquivos de plantas, cortes e detalhes estruturais para obter as dimensões de todos os elementos participantes do sistema estrutural, fornecidos pelo Departamento de Engenharia da PGR. Portanto, a partir das plantas estruturais foram extraídas as medidas referentes às seções de tirantes, pilares, vigas, paredes e lajes.

Tabela 1. Dimensões dos elementos estruturais do bloco A para análise estrutural

Elemento Estrutural - Estrela	A (m)	B (m)	Cor
1. Tirantes externos	1,25	0,55	
2. Tirantes internos	1,00	0,50	
3. Vigas laterais 1, seção variável 5,00~5,40	5,00/5,40	0,50/0,50	
4. Vigas laterais 2, seção variável 5,40~5,68	5,40/5,68	0,50/0,50	
5. Vigas laterais 3, seção variável 5,68~6,00	5,68/6,00	0,50/0,50	
6. Vigas laterais 4	0,70	6,00	
7. Vigas laterais 5	0,88	6,00	
8. Vigas laterais 6	1,4	6,00	
9. Vigas laterais 7	0,25	6,00	
10. Vigas transversais 1	2,00	5,00	
11. Vigas transversais 2	1,00	5,40	
12. Vigas transversais 3	0,20	5,68	
13. Vigas transversais 4	0,20	6,00	
14. Vigas transversais 5	0,25	6,00	
15. Pilares inferiores	1,40	1,00	

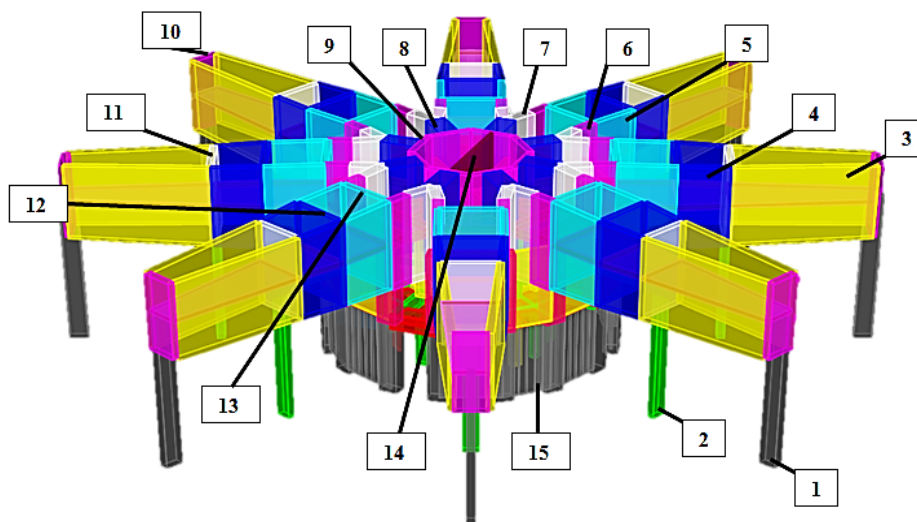


Figura 9. Elementos estruturais das vigas de cobertura modelados, bloco A; Fonte: os autores

Tabela 2. Dimensões dos elementos estruturais do bloco A para análise estrutural

Elemento Estrutural – Pavimento Tipo	A (m)	B (m)	Cor
16. Viga perimetral anel externo	0,15	0,60	
17. Viga radial externa (8x)	0,30	1,20	
18. Viga radial externa (40x)	0,15	0,60	
19. Viga perimetral variável (junção T ext.) 0,40~1,25	0,40/1,25	1,60/1,60	
20. Viga perimetral junção T ext.	0,40	1,60	
21. Viga radial média (8x)	0,30	2,00	
22. Viga radial média (40x)	0,15	1,00	
23. Viga perimetral variável (junção T int.) 0,40~1,20	0,40/1,20	1,00/1,00	
24. Viga perimetral junção T int.	0,40	1,00	
25. Viga radial interna (8x)	0,30	1,20	
26. Viga radial interna (40x)	0,15	0,60	
27. Viga perimetral anel interno	0,20	0,70	

28. Viga passarela	0,30	0,70	
29. Tirantes externos	1,25	0,55	
30. Tirantes internos	1,00	0,50	

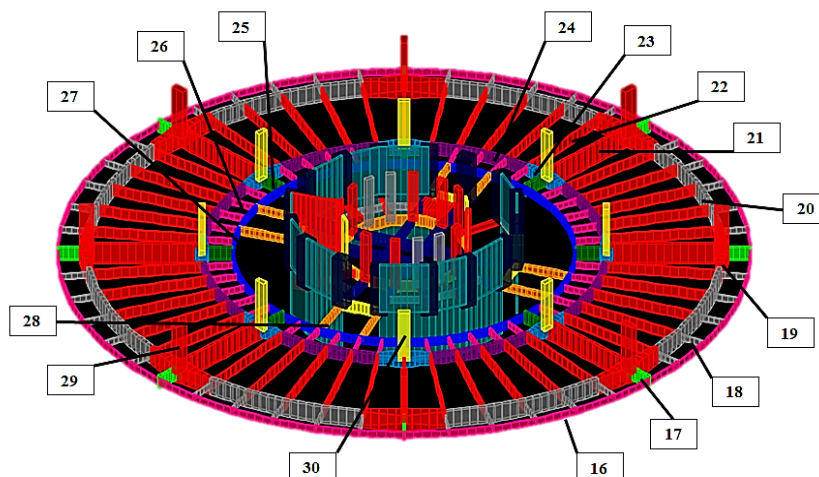


Figura 10. Elementos estruturais do pavimento tipo modelados, bloco A; Fonte: os autores

Tabela 3. Dimensões dos elementos estruturais do bloco A para análise estrutural

Elemento Estrutural – Núcleo Rígido	A (m)	B (m)	Cor
31. Viga radial	0,20	0,60	
32. Viga circular externa	0,20	0,60	
33. Viga circular interna	0,15	1,00	
34. Viga circular externa	1,85	1,00	
35. Viga circular abertura	0,20	1,00	
36. Viga principal	0,30	1,00	
37. Pilar principal	1,40	1,00	
38. Pilar em L	0,80	0,45	
39. Pilar interno, formato retangular	1,10	0,15	

40. Pilar em T	0,80	0,40	
41. Parede núcleo rígido externa	4,85	0,20	
42. Parede núcleo rígido interna	4,85	0,20	

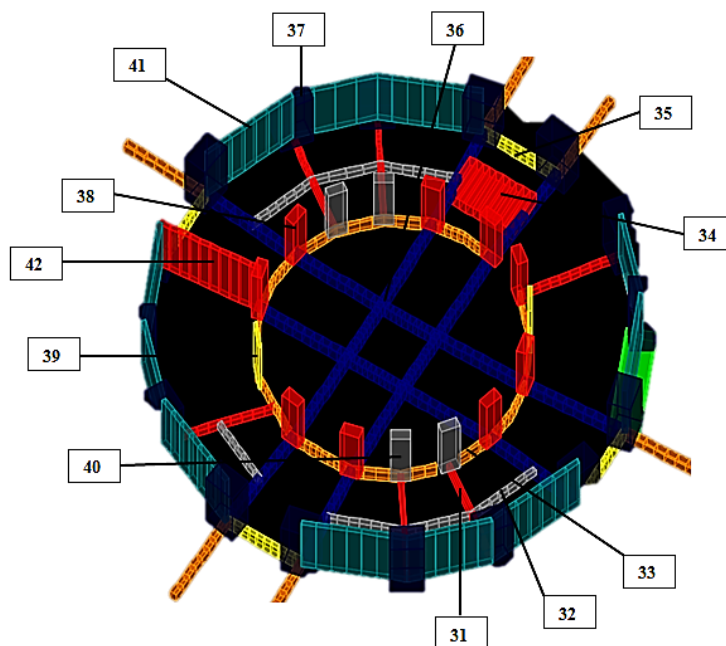


Figura 11. Elementos estruturais do núcleo rígido modelados, bloco A; Fonte: os autores

Tabela 4. Dimensões dos elementos estruturais do bloco A para análise estrutural

Elemento Estrutural – Mezanino	A (m)	B (m)	Cor
43. Viga perimetral anel externo	0,20	1,00	
44. Viga radial variável 30~70	0,30/0,70	1,00	
45. Viga perimetral externa	0,20	1,00	
46. Viga perimetral interna	0,20	0,60	
47. Viga perimetral anel interno	0,15	1,00	
48. Viga central	0,30	1,00	

49. Pilar principal	1,40	1,00	
50. Pilar em L	0,80	0,45	
51. Pilar interno, formato retangular	1,10	0,15	
52. Pilar em T	0,80	0,40	
53. Parede externa	4,70	0,20	
54. Parede interna	4,70	0,20	

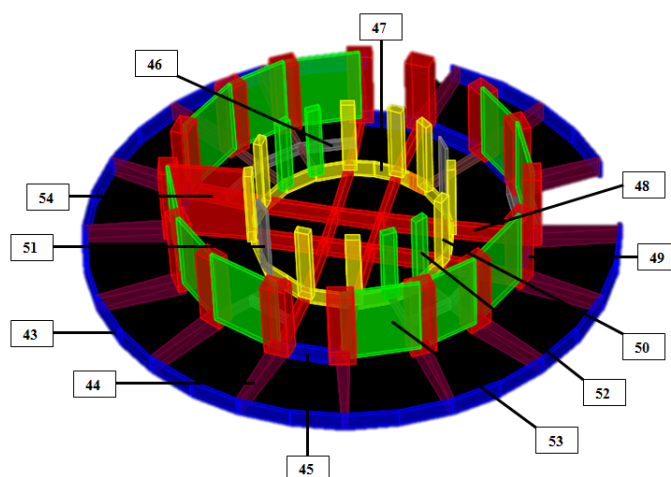


Figura 12. Elementos estruturais do mezanino modelados, bloco A; Fonte: os autores

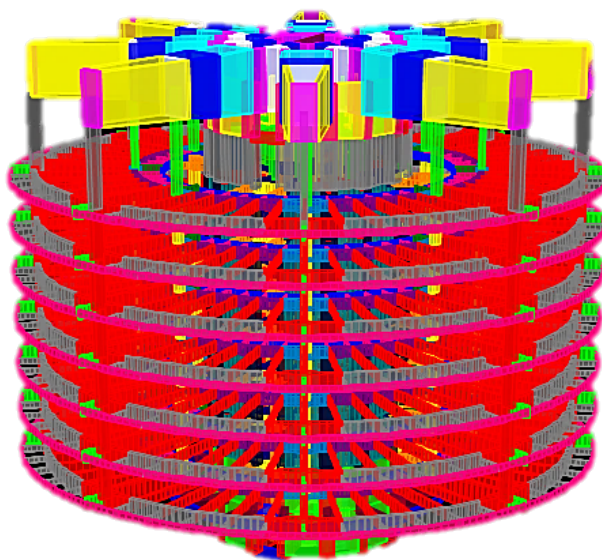


Figura 13. Modelo tridimensional do bloco A; Fonte: os autores

Portanto, após de ter inserido no programa SAP 2000 todas as medidas relativas aos elementos estruturais, foi atribuído para cada elemento uma resistência característica do concreto, que varia de 35 MPa para os elementos estruturais pertinentes aos andares, incluindo mezanino e núcleo rígido, a 50 MPa para os elementos do sistema estrutural principal (vigas estruturais). Por meio do programa foi analisado o sistema estrutural construído, mostrando os esforços que são desenvolvidos e os deslocamentos.

Para análise estrutural foram consideradas três hipóteses de carga:

- Carga permanente (G);
- Sobrecarga ou carga accidental (Q);
- Vento (V).

Para a carga do peso próprio, além da estrutura, foram considerados os seguintes elementos, por um total de 200 kgf/m²:

- Dry-wall, 50 kgf/m²;
- Revestimento de piso, 56 kgf/m²;
- Argamassa para regularização de revestimento, 66 kgf/m²;
- Forro de cobertura, 10 kgf/m²;

As sobrecargas aplicadas no carregamento das lajes foram:

- Salas para escritórios, 200 kgf/m²;
- Corredores e acessos à escadas e elevadores, 300 kgf/m²;

No caso da força devida ao vento, foi considerada uma carga de 90 kg/m² em direção horizontal aplicada na fachada cilíndrica do bloco A. Além disso, os carregamentos foram baseados e analisados segundo quatro combinações de carga:

- Estado Limite Último:
 - 1,4G + 1,4Q (Combinação 1);
 - 1,4G + 1,4Q + 0,84V (Combinação 2);
 - 1,4G + 0,7Q + 1,4V (Combinação 3).
- Estado Limite de serviço:
 - 1,0G + 1,0Q + 1,0V (Combinação 4).

Apresenta-se o diagrama dos esforços normais da edificação em estudo. Pela figura pode-se observar os tirantes da estrutura, externos e internos, com solicitações elevadas de tração. Os esforços normais são muito altos devido ao peso próprio de toda a estrutura, às cargas acidentais e uma pequena parcela devida a ação do vento.

Na primeira combinação (1,4G + 1,4Q) tem-se um esforço máximo de 2137 tf no tirante externo, representando quase o dobro do esforço submetido apenas com o peso próprio da estrutura (1450 tf). Os tirantes externos, mais solicitados por conta da área de contribuição de laje maior dos internos, estão submetidos à esforço normal máximo de 1416 tf. Nesse modelo estrutural atirantado, os esforços nos tirantes de aço são transferidos para as vigas de cobertura, dessas para o núcleo rígido. O núcleo rígido está submetido a grandes esforços de compressão. Os valores máximos de compressão alcançam 3490 tf no topo do núcleo.

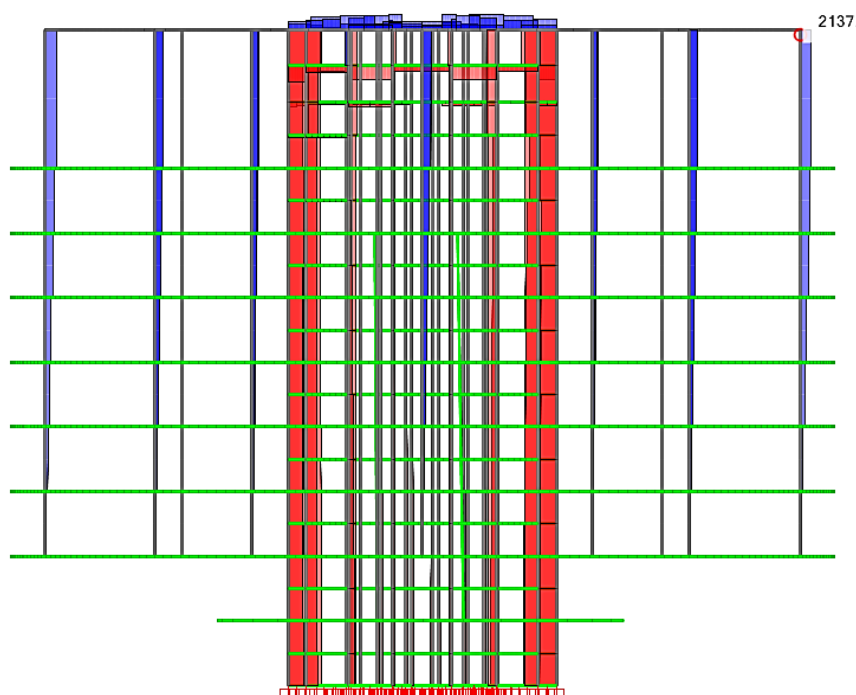


Figura 14. Digrama de Forças normais na combinação 1 (1,4G+1,4Q). Fonte: SAP2000

A ação de carga de vento, conforme a Combinação 2, nota-se que, a pressão exercida pelo vento alivia os tirantes mais próximos à direção de impacto na fachada, aumentando os esforços de tração nos tirantes da fachada oposta. Porém, considerado o peso próprio da estrutura e as sobrecargas, a influência do vento é praticamente insignificante, aumentando a carga máxima de aproximadamente 2 tf.

Após a análise das Forças Normais verifica-se os deslocamentos da estrutura.

Primeiramente foi construído um modelo preliminar com vigas sem protensão para avaliação de deslocamentos verticais das vigas de cobertura e das lajes dos pavimentos.

Os deslocamentos apresentados pelo modelo do bloco A, ainda sem protensão nas vigas principais, mostram, conforme o diagrama da figura, o deslocamento máximo das vigas de cobertura e das lajes na direção vertical é de aproximadamente 42 cm.

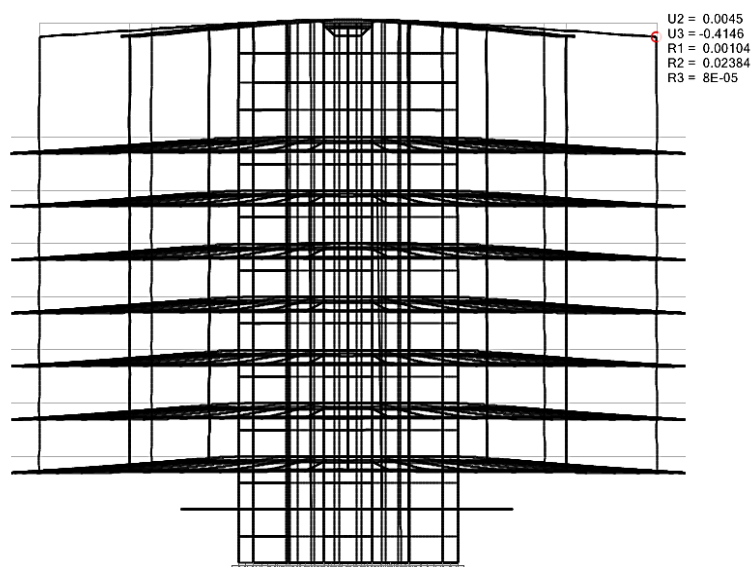


Figura 15. Digrama de deslocamento elástico da estrutura, combinação 4. Fonte: SAP2000

O diagrama mostra como o deslocamento elástico que acontece no mezanino é praticamente nulo, devido ao fato que as vigas e as lajes do nível mezanino não são sustentadas pelo sistema de tirantes, que determinam o sistema estrutural principal. Para minimizar o valor do deslocamento, o projetista José Carlos Sússekind considerou a protensão das vigas principais de cobertura, conforme na figura 16.

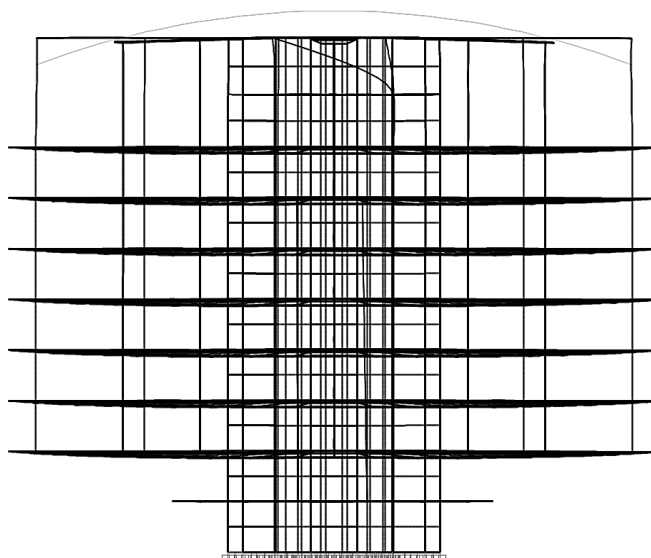


Figura 16. Digrama de deslocamento elástico da estrutura, com protensão. Fonte: SAP2000

Para análise do momento fletor, na figura mostram-se os esforços de flexão desenvolvidos nas vigas principais de cobertura, sendo que no núcleo central o valor máximo é de -76.824 tf.m.

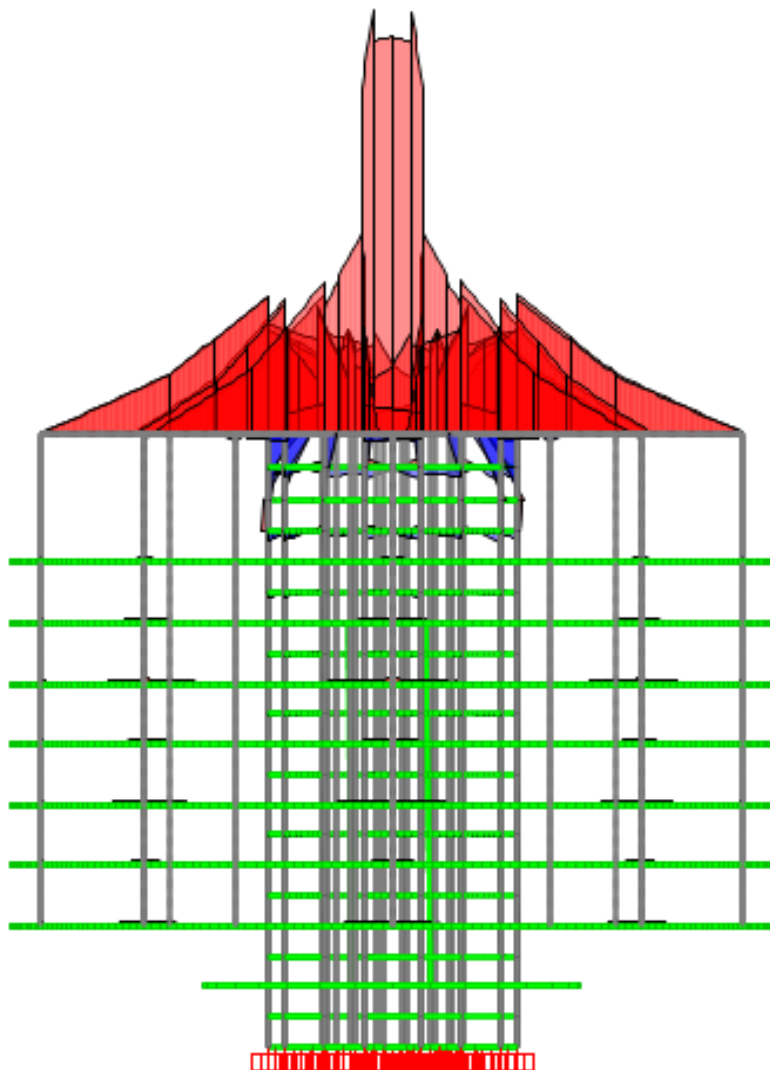


Figura 17. Digrama de Momento fletor das vigas protendidas. Fonte: SAP2000

Os tirantes não apresentam momento fletor, como já era esperado, em virtude das hipóteses adotadas no sistema estrutural.

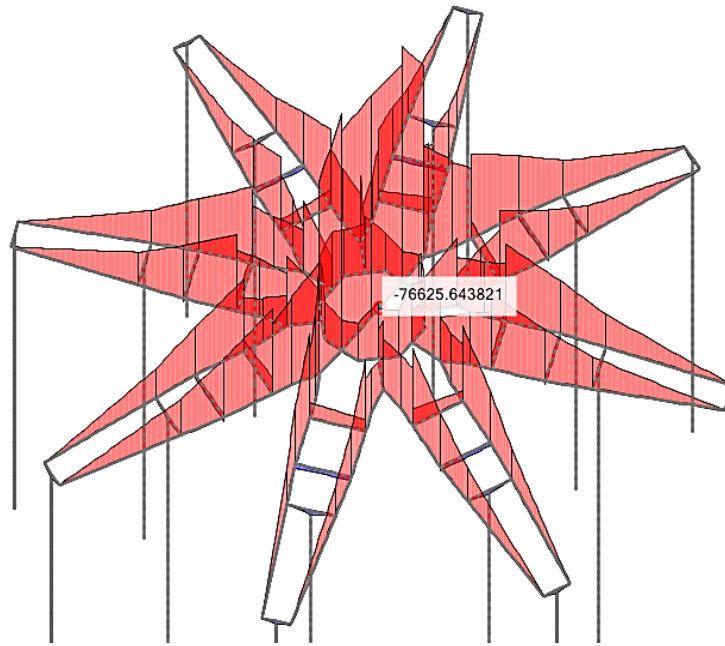


Figura 18. Digrama em perspectiva do Momento fletor das vigas protendidas. Fonte: SAP2000

Na figura a seguir, apresentam-se os deslocamentos das lajes que, tendo simetria entre elas nas direções x e y e carregamentos distribuídos uniformemente para todas as lajes constituintes dos andares, terão momentos fletores iguais tanto na direção do eixo x quanto do eixo y.

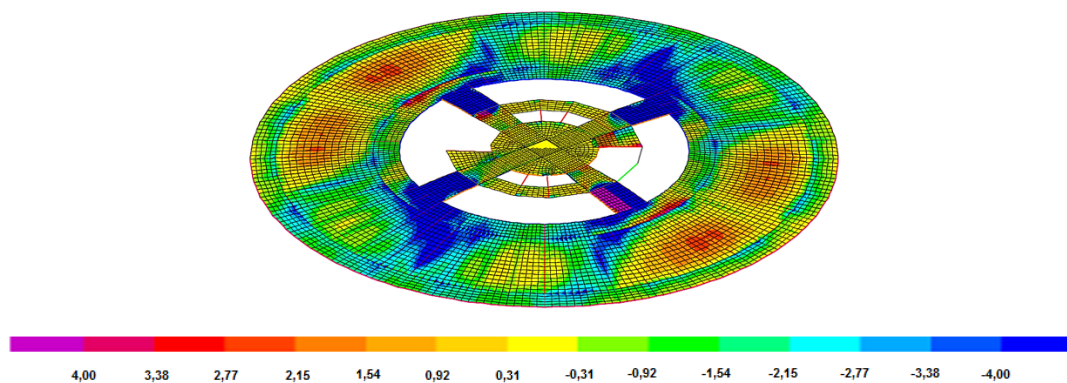


Figura 19. Digrama do Momento fletor na direção do eixo x. Fonte: SAP2000

4. CONCLUSÕES

Em termos quantitativos e qualitativos, pode-se ressaltar que o bloco A, ousado e arrojado, sofre grandes esforços de tração nos tirantes que sustentam os andares da edificação, elevado momento fletor nas vigas principais protendidas de cobertura e altos valores de compressão no núcleo central rígido.

A protensão das vigas principais, concebida durante o processo criativo da mente de Oscar Niemeyer e do engenheiro José Carlos Sússekkind, permitiu que fosse combatido o deslocamento da estrutura e consequentemente que fosse garantido o equilíbrio estrutural arquitetônico dessa obra.

O bloco A, nascido convencional, apoiando em pilares metálicos provisórios, se elevou do terreno para alcançar uma dimensão simbólica divina, demarcada por uma leveza estrutural típica das tipologias da natureza.

AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem a comunidade científica do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (PPG FAU) sem a qual, não teria sido possível alcançar essa prestigiosa etapa de publicação em um reconhecido congresso/evento internacional. Um importante agradecimento é direcionado também para o órgão da FAP/DF, pelo apoio financeiro que proporcionou a satisfação de divulgar o nosso trabalho no Brasil. Para fechar o quadro, é indispensável uma dedicatória ao professor da Fundação da Universidade de Brasília Márcio Augusto Roma Buzar pela dedicação e ajuda ao longo de todo o percurso de publicação.

BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). *NBR 15575 – Partes 1-6: Desempenho de Edifícios Habitacionais*. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). *NBR 6327 – Cabos de aço para uso geral – Requisitos mínimos*. Rio de Janeiro, 2004.

Faria, Francisco. *Oscar Niemeyer: O Espetáculo Arquitetural: Caderno dos Instrutores*. MON – O Olhar do Aprendiz. Curitiba – PR. Museu Oscar Niemeyer, 2007.

Fonseca, Régis Pamponet da. *A Estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Estratégias para Manutenção*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2007.

Galimi, S., Camanho C. *Methodology of identification and inspection of pathologies in residential multi-story buildings: a case study*. XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, Porto, 2016.

Gonçalves, Simone Neiva Loures. *Museus projetados por Oscar Niemeyer de 1951 a 2006: o programa como coadjuvante*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010.

Ohtake, Ricardo. *Oscar Niemeyer*. Folha Explica. Publifolha, 2007.

Santos, J. A. *Fundações por estacas. Ações Verticais. Elementos teóricos*. Obras Geotécnicas, Instituto Superior Técnico, 2008.