

Copyright (c) 2022 Paranoá



Este trabalho está licenciado sob uma licença [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Fonte:

<https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/11302>.

#### Referência

PORTO, Cláudia Estrela. Soluções estruturais na obra de Oscar Niemeyer. **Paranoá**, Brasília, v. 15, n. 15, 2015. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n15.2015.03. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/11302>. Acesso em: 31 dez. 2021.

# Soluções Estruturais na Obra de Oscar Niemeyer

PORTO, Cláudia Estrela<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Brasília, Brasil. claudiaestrelaporto@unb.br

## Resumo

A tecnologia só se torna excitante quando se manifesta através de uma expressão visual. E, neste sentido, a magnífica obra de Oscar Niemeyer (1907-2012), integrando a arte do arquiteto e do engenheiro, nos presenteia com uma riqueza de detalhes, formas e genialidade criativa. Sua obra, se movendo entre dois pólos, o da arquitetura e o da engenharia estrutural, leva o selo da imaginação, do desenho que flui no gesto singelo de sua mão que, mesmo no espaço imaginário, pode conceber novas formas. Mas este desenho surge imbuído de um saber estrutural, das potencialidades intrínsecas do novo material, o concreto armado, que ele leva ao extremo de suas possibilidades estruturais, fazendo, muitas vezes, como dizia Auguste Perret, “chanter les points d’appuis”<sup>1</sup>.

Toda forma idealizada ou construída, por mais primitiva que seja, requer um sistema estrutural e respectivo processo construtivo. Uma coisa é decorrente da outra. O tema que iremos analisar - soluções estruturais adotadas na obra de Oscar Niemeyer – não foge à regra. Com uma obra vastíssima, fez-se necessário a identificação de alguns projetos mais relevantes. O critério da escolha levou em consideração a sua expressividade arquitetônica aliada à solução estrutural ímpar.

Palavras-Chave: Soluções Estruturais, Oscar Niemeyer.

## Abstract

Technology only becomes exciting when manifested through visual expression. And in this sense, a magnificent work of Oscar Niemeyer (1907-2012), integrating the art of the architect and engineer, presents us with a wealth of details, forms and creative genius. His work, moving between two poles, the architecture and structural engineering, bears the seal of the imagination, the design which flows in simple wave of his hand, even in imaginary space, can devise new ways. But this design comes imbued with a knowledge structure, the intrinsic potential of the new material, reinforced concrete, he takes to the extreme of its structural possibilities, doing often as Auguste Perret said, “chanter les d’appuis points”<sup>1</sup>.

Whole, however primitive it may be, idealized or built form requires a structural system and its building process. One thing is derived from the other. The theme that we will examine - structural solutions adopted in the work of Oscar Niemeyer - is no exception. With a vast work, it was necessary to identify some of the most relevant projects. The criterion of choice took into account their architectural expressiveness combined with unique structural solution.

Key-Word: Structural Solution, Oscar Niemeyer.

## 1. Introdução

O material analisado, concreto armado em quase a sua totalidade, pede um retrocesso histórico para melhor compreensão do cenário internacional e brasileiro na época em que o gênio inventivo de Niemeyer desponta, ainda tímido, na parceria com Lúcio Costa (1902-1998), Carlos Leão, Jorge Moreira, Affonso Eduardo Reidy, Ernani Vasconcellos e Le Corbusier, no projeto e construção do edifício do Ministério da Educação e Saúde (1936-1945), no Rio de Janeiro.

As estruturas, até o final do século XIX, ficaram condicionadas à pedra, com um peso próprio altíssimo, em torno de 8 toneladas/m<sup>2</sup>. A introdução de novos materiais na arquitetura, juntamente com o estudo das formas geométricas de suas superfícies, irá possibilitar a grande aventura estrutural do século XX, alcançando estruturas extremamente delgadas, as membranas, cujo peso é inferior aos agentes atmosféricos a que estão submetidas.

O primeiro destes materiais a propiciar o que chamamos de “Revolução Estrutural”<sup>2</sup> foi o concreto armado, material que se molda às formas projetadas, aos volumes mais diversos, às curvas não menos audaciosas. Nenhum material de construção conseguiu tanta diversidade de aplicação: estruturas ousadas, coberturas, lajes ritmadas, paredes de sustentação, esculturas, espessuras, texturas e cores num jogo lúdico e estimulante para tirar deste material tudo o que ele pode oferecer.

Ao trabalho incansável dos irmãos Perret, Auguste e Gustave, para a compreensão do novo material, iniciado com o prédio 25bis, da rua Benjamin Franklin, em Paris (1903), se seguiu o do arquiteto Max Berg que, auxiliado pelo engenheiro Willi Gehler, consegue em 1912, pela primeira vez, reduzir o peso próprio de uma construção de 65 metros de vão para menos de meia tonelada<sup>3</sup>.

No Brasil, a tecnologia do concreto armado é produto de um meio científico bastante avançado, no qual a Escola Politécnica de São Paulo (POLI) e a Escola Politécnica do Rio de Janeiro desempenham papel crucial. De seus laboratórios de resistência dos materiais despontam soluções inéditas e se formam os primeiros especialistas, colocando o país em destaque no cenário internacional logo no início do século XX, mesmo antes dos Estados Unidos.

Neste aspecto, o empenho do engenheiro Hippolyto Pujol Jr., que assume a direção do laboratório da POLI em 1906 e no ano seguinte monta um laboratório de resistência dos materiais nos moldes de Viena e um laboratório de metalografia nos moldes da Sorbonne<sup>4</sup>, possibilita a con-

strução de estruturas em concreto armado mais complexas, como o edifício Guinle (1913), com oito andares e vãos de doze metros, e a estrada de ferro de Mairinque a Santos, no Estado de São Paulo (1927-1938), recorde em construção ferroviária em concreto armado do mundo na época<sup>5</sup>.

Se os primeiros projetos recorriam ainda aos escritórios de cálculo de Hennebique, situados em Paris e no Rio, em meados da década de 1910, projetos brasileiros como o viaduto em Itaipú (1907, Ximeno de Villeroy) e as pontes sobre o rio Maracanã (1908, Carlos Euler) ou sobre o ribeirão dos Machados (1910, Guilherme Ernesto Winter) eram executados<sup>6</sup>.

Não mais tributários de uma tecnologia importada, o concreto se torna o material de construção nacional por excelência. As obras ferroviárias se deslocam para os edifícios em altura, com a contribuição inigualável do engenheiro Emílio Henrique Baumgart (1889-1943), que em 1912 não só transfere a tecnologia do concreto da Alemanha como, pela sua genialidade, suplantou o que se fazia no estrangeiro. Com ele nasce a “grande escola” de engenheiros calculistas brasileiros, muitos dos quais reconhecidos internacionalmente pela capacidade, pela ousadia e sensibilidade. Já em 1931, ele tinha alcançado dois feitos supremos: introduzir o concreto armado na construção de edifícios altos – a sede do jornal A Noite, no Rio de Janeiro, com 22 andares, era então o mais alto do mundo - (quebrando, assim, uma norma não escrita, que estabelecia a construção em estrutura metálica para esses prédios) e conceber, construindo-a, a primeira ponte em balanços sucessivos (a ponte Herval, atual Emílio Baumgart, com 67 metros de vão, recorde mundial de viga reta) sobre o rio do Peixe, em Santa Catarina.

Começa a era das grandes construções em concreto armado. Durante todo o século XX a busca pelo apuro estrutural, vencendo vãos cada vez maiores, com um consumo mínimo de material, será o desafio dos grandes engenheiros e construtores. Em 1910, o engenheiro suíço Robert Maillart inventa o pilar cogumelo<sup>7</sup>. Mas foi a vibração mecânica, inventada por Eugène Freyssinet em 1917, e a descoberta (1924) e o aperfeiçoamento da protensão, patenteada por ele em 1939, que abrirá definitivamente as portas para as grandes construções em concreto armado. O concreto, tratado em cascas<sup>8</sup> e em membranas delgadas, originou formas variáveis que serão determinadas pelas curvas matemáticas. Eduardo Torroja, na Espanha, Félix Candela, no México, René Sarger, na França, estão na origem destas construções. Aliado a estas novas descobertas, a pré-fabricação em concreto teve um progresso notável com o engenheiro-arquiteto italiano Pier Luigi Nervi, que entre 1936 e 1942 constrói dois hangares de aviação em Orbetello e Orvieto, perto de Roma.

Em 1926, Le Corbusier lança as premissas do Modernismo, com os cinco pontos de uma nova arquitetura<sup>9</sup>; em 1931, surge a primeira Norma Brasileira para o cálculo de concreto armado; em 1931, Getúlio Vargas cria a Comissão Nacional de Siderurgia; e em 1933, um decreto-lei regulamentou as profissões de engenheiro e arquiteto. Só faltava surgir aquele que é, sem dúvida, o nosso grande arquiteto do século XX, o que mais soube tirar partido das potencialidades deste novo material, Oscar Niemeyer.

## 2. Desenvolvimento

Com o concreto armado, novas formas surgiram na arquitetura. A curva apareceu diferente e a preocupação em reduzir apoios para obtenção de grandes espaços livres e de uma arquitetura mais leve e surpreendente originou problemas estruturais mais complexos, exigindo uma completa interação entre o arquiteto e o engenheiro calculista. No caso de Niemeyer, pode-se dizer que a sua obra está, nos primeiros 30 anos, intrinsecamente ligada à genialidade do engenheiro calculista Joaquim Cardozo<sup>10</sup> (1897-1978) e nos últimos 30 anos a de José Carlos Süssekind<sup>11</sup>. Outros engenheiros, de forma menos significativa, também deram a sua contribuição, como Albino Santos Froufe<sup>12</sup>, W. Muller<sup>13</sup>, J. Alvaris<sup>14</sup>, José Garcia Netto<sup>15</sup>, Amrein<sup>16</sup>, Z. Glabe<sup>17</sup>, Morales Ribeiro<sup>18</sup>, Flávio de Aquino<sup>19</sup>, Aldo Calvo<sup>20</sup>, Milton Ramos<sup>21</sup> e Bruno Contarini<sup>22</sup>.

Diferente de Santiago Calatrava, que se baseia na natureza para elaborar as suas esculturas, estudando o caminho das forças para obter a forma com o consumo mínimo de material, Niemeyer parte direto do modelo escultórico para propor a sua arquitetura. Mas concorda com Calatrava na importância que o desenho desempenha nesta arte, afirmando que “para ser um bom arquiteto é necessário saber escrever, de forma a defender com clareza as idéias do projeto, mas, sobretudo, saber desenhar”<sup>23</sup>. O desenho é a base de tudo. No de Niemeyer, o traço contém o talento de um criador, as formas surgem imbuídas de um apuro estrutural, mesmo que não tenham sido pensadas em sua totalidade, como Renzo Piano, para quem a estrutura define o projeto. Se não fosse assim, jamais poderiam ser construídas, pois o concreto tudo pode permitir em termos de audácia, vãos livres e superfícies diversas, desde que estas formas estejam dispostas numa das cinco representações de superfícies geométricas.

Conceber uma obra significa necessariamente pensar uma intenção de estrutura. Toda construção pressupõe uma estrutura, um material e uma técnica que a caracteriza. Assim, estrutura e arquitetura nascem juntas no momento do projeto. Embora óbvio, trata-se de um aspecto nem sempre consciente de quem projeta, como se a

estrutura pudesse vir a posteriori. Niemeyer sempre teve consciência disto, em sua arquitetura não é possível distinguir forma e estrutura. Quando a estrutura está pronta, a arquitetura também está. Também não se pode mais desvincular a arquitetura da engenharia, as duas fazem parte de um mesmo processo de criação. José Carlos Süssekind explica que<sup>24</sup>:

A personalidade do artista Oscar Niemeyer fica exposta durante o trabalho em conjunto com o engenheiro calculista no processo de criação: Niemeyer mostra seus primeiros croquis, explica o que é importante, no caso, como forma e espaço para a arquitetura. A conversa prossegue, de imediato, com a busca do partido estrutural, seguida pela fixação preliminar das dimensões básicas. O que é mais fascinante relatar é que dificilmente são conversas que demoram, mesmo em grandes projetos, mais do que uma hora e – mais ainda – que, na grande maioria dos casos, as proporções colocadas como tentativas nos croquis iniciais do arquiteto se revelam, ao final, como aquelas tecnicamente mais recomendáveis. Um senso instintivo, incomum, estético, do que a estrutura precisa. Nas situações, poucas, em que algum reajuste na concepção inicial se torna necessário, fascinante sempre é ver a riqueza de alternativas que, rapidamente, o arquiteto traz ao engenheiro. Mesmo alguns dos casos mais complexos com que lidei – e destaco o novo Museu de Brasília e o Centro de Convenções do Rio de Janeiro, ambos ainda por construir – não requereram mais do que cinco ou seis sessões de conversas, até chegarmos à definição final. O Memorial da América Latina (que detém o maior vão livre do mundo) foi, todo ele, definido num único sábado! Essa interação, em todos os casos, revelando em Niemeyer um processo límpido, muito ágil, desprovido de dúvidas ou sofrimentos no instante prazeroso, da criação.

A história do início de nossa arquitetura poderia ser contada através da cooperação de arquitetos com engenheiros calculistas sensíveis ao desafio da pesquisa de novas formas, como Emílio Baumgart<sup>25</sup> e Joaquim Cardozo. Couberam à criatividade do primeiro as alterações estruturais realizadas durante o longo período de construção (1936-1945) do Ministério da Educação e Saúde, sem, contudo, alterar a sua concepção original. Já neste projeto Niemeyer<sup>26</sup> percebe a importância de uma simbiose entre arquitetura e engenharia, entre o arquiteto e o engenheiro que ousa ir além. Apesar das dificuldades, Baumgart encontra sempre soluções elegantes e inovadoras, como as que permitiram alterar a altura das colunas do primeiro pavimento de 4,25 metros para 4,9 metros, e resolver o problema de contraventamento (ou inexistência de elementos para tal). O edifício inteiro deveria ser contraventado com pilotis, uma vez que a ausência de paredes transversais nos pavimentos não permitia o uso de paredes

com enrijecimento, tendo ele de considerar apenas a ação das paredes extremas nas fachadas menores como garantia de rigidez do edifício. Para manter o teto liso desejado e ainda conseguir uma espessura reduzida das lajes (apenas 20 cm), Baumgart imagina os capitéis como aumento das lajes para cima, usando o enchimento das mesmas com dutos de água e de eletricidade. O interstício entre estes elementos foi preenchido com cortiça que, além de proporcionar uma melhor acústica, possibilitou a redução das cargas quando em novembro de 1937 resolveu-se alterar de 12 para 15 o número de pavimentos.

Do ponto de vista estrutural, na relevante obra de Oscar Niemeyer, encontramos elementos comuns ou que se repetem, sempre com apuro tecnológico. Não é possível definir uma unidade temporal, embora haja períodos significativos, como a construção da Pampulha e de Brasília, as obras executadas durante o exílio no exterior, o Memorial da América Latina e alguns projetos recentes. Uma solução atual pode encontrar raízes num desenho ou maquete realizada anteriormente, anos atrás. Navegar no seu repertório estrutural é fácil: lajes finíssimas, arquitetura definida por pilares, cascas, cúpulas, estruturas a curvatura inversa, grandes balanços, estruturas suspensas, formas escultóricas livres, troncos de pirâmides, pré-fabricado. Difícil é analisar a totalidade de uma obra excepcionalmente fecunda, que consta entre 500 projetos construídos ou projetados. Mas ela é estruturalmente coerente na busca de soluções arrojadas, instigante quando faz o material trabalhar no limite de sua potencialidade. É feita de contrastes, mas também de retomadas. Por isso que, através da análise de alguns projetos, consegue-se mostrar a riqueza das soluções estruturais adotadas. Soluções estas que propiciaram uma linguagem arquitetônica original e inseriram, incontestavelmente, a obra de Niemeyer na modernidade que a arquitetura reclama.

O Pavilhão Brasileiro na Feira Mundial de Nova York, em 1938, projetado por Lúcio Costa e Oscar Niemeyer em estrutura mista de aço e concreto, já traz os prelúdios desta modernidade, como explica Cavalcanti<sup>27</sup>: “Niemeyer e Costa ecoaram no corpo principal a linha sinuosa do terreno, repetindo tal inflexão em vários elementos do projeto: rampa, marquises, coberturas e salões”.

Foi dessa forma que Niemeyer despontou. Projetou a Obra do Berço (1937) e o Hotel de Ouro Preto (1938), sendo logo em seguida convidado por Juscelino Kubitschek, na ocasião prefeito de Belo Horizonte, para desenhar alguns edifícios públicos em um bairro novo da capital de Minas Gerais, conhecido como Pampulha. Possuía apenas 33 anos quando em 1940 inicia os projetos deste conjunto, constituído de quatro edifícios:

late Clube (1942), Cassino<sup>28</sup> (1942), Casa do Baile (1942) e Igreja de São Francisco (1942-43). Aqui ele explora, pela primeira vez, todo o potencial do concreto armado, desprezando o ângulo reto da arquitetura racionalista e penetrando num mundo de curvas e retas que o concreto oferece. Foi isto que ele fez, cobrindo a Igreja da Pampulha de curvas variadas e alongando a marquise da Casa do Baile em curvas sinuosas, acompanhando as margens da pequena ilha.

Mas é na igreja de São Francisco que o arrojo estrutural e as novas possibilidades do concreto armado alcançam o seu ápice, a ponto de Joaquim Cardozo afirmar que com este projeto Niemeyer inaugurava “um novo ritmo na arquitetura moderna brasileira ao estabelecer um sistema de proporções harmônicas e desenvolver uma tendência para o que chamou de panos de concretos, de leveza semelhante à dos invólucros de balões e dirigíveis”<sup>29</sup>.

A parábola e a hipérbole há muito já constituíam as formas de eleição de Antoni Gaudí, mas aqui a parábola é introduzida pela primeira vez num edifício religioso brasileiro. Com a diferença que as curvas são tratadas em cascas, restritas até então às estruturas de engenharia, como o hangar de aviação de Eugène Freyssinet (1923) no aeroporto de Orly, em Paris. Niemeyer pode ter se inspirado deste projeto, ou mesmo do arco parabólico do Palácio dos Sovietes (1931) em Moscou, mas também das montanhas do Rio ou das curvas femininas que tanto lhe agradavam. Na igreja da Pampulha, a unidade do projeto reside mesmo na sucessão destas abóbadas parabólicas, as paredes e o teto sendo construídos com um único elemento. Niemeyer recorrerá ao uso das cascas, cada vez mais aprimoradas, em outras obras marcantes, como o Congresso de Brasília (1958- 60), a Universidade de Constantine (1968-77), a Sede do Partido Comunista Francês (1965-80) e o Memorial da América Latina (1987-1992).

Mesmo quando confrontado com situações difíceis, Cardozo nunca dizia a Niemeyer que o que havia projetado era impossível de ser executado por contrariar as normas de concreto. Não resta dúvida que o conhecimento de certos projetos realizados, como as pontes em arco-parede de Robert Maillart e as abóbadas de Freyssinet em Orly, lhe davam a certeza que estava no caminho correto, mas era a sua intuição aliada a uma genialidade sem limites que possibilitava transformar em projeto executivo as ideias do arquiteto. Na igreja da Pampulha não foi diferente, como explica Vasconcelos<sup>30</sup>:

A cobertura da igreja é constituída de quatro cascas. Aparentemente, essas cascas seriam cilíndricas. Na realidade, a maior, da fachada Norte, é um conóide, pois as laterais não são paralelas. As

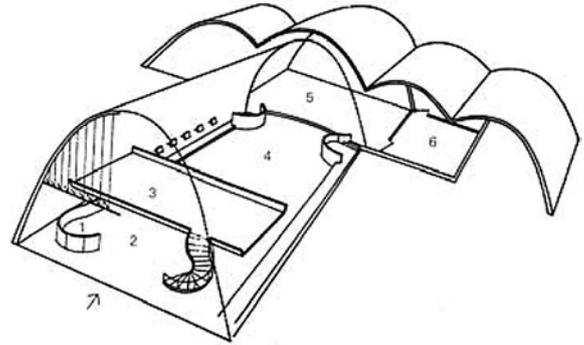
superfícies são geradas por retas que se apóiam em duas parábolas. A parábola da Fachada Norte possui 16 metros de vão e flecha de 9,35 metros, a espessura da casca é de 30 centímetros nas impostas e 20 no fecho. Na outra extremidade as respectivas medidas são de 9,6 e 6,5 metros, com as mesmas espessuras. No sentido longitudinal foram previstas duas juntas de dilatação, sendo as distâncias a partir da fachada Norte 11, 10 - 4,21 - 3,64 metros (comprimento total da casca = 18,96 metros). Na borda interna foi previsto um engrossamento para 64 centímetros para arremate e para superposição do prolongamento da casca, com 30 centímetros de folga entre as duas. As outras três cascas são cilíndricas, com espessura de 15 centímetros. A laje do coro, com 35 centímetros de espessura, está apoiada na frente em dois pilares simétricos de 25 centímetros de diâmetro, distantes 3,68 metros entre si. Nos fundos os pilares são de 8 centímetros de diâmetro. Tem-se a impressão de um superdimensionamento, talvez por carência de meios apropriados de cálculo. A marquise frontal de abrigo, com planta retangular de 3,1 x 17,4 metros, tem espessura de 30 centímetros. Esta laje foi armada como contínua, não obstante receber apoios somente nas bordas em vergalhões dobrados de 64 milímetros de diâmetro. Qual é a estrutura das cascas contínuas da região dos fundos? Não existe, pelo exame dos desenhos, uma definição bem esclarecida dos apoios das cascas. Tem-se a impressão de que se apóiam nas paredes onde existem os azulejos de Portinari e em outra parede paralela. Pelas armaduras existentes não se chega à conclusão clara e defensável.

**Figura 1:** Igreja de São Francisco: quatro cascas delimitam a fachada revestida de azulejos de Portinari.



Crédito da imagem: Alexander Fils

**Figura 2:** Perspectiva isométrica da Igreja de São Francisco: 1. batistério, 2. entrada principal, 3. tribuna, 4. nave, 5. altar, 6. sacristia.



Fonte: Livro de David Underwood - ON e o modernismo de formas livres no Brasil, p. 62

É esta leveza estrutural que Niemeyer adota na construção de sua própria casa em Canoas, no Rio de Janeiro (1950-1953). O que começou com a marquise curva de 35 metros prolongando o teto do prédio circular da Casa de Baile na Pampulha 13 anos atrás, aqui atinge patamar incomum, o teto parecendo solto, flutuando no ar, como uma folha branca de papel. A estrutura é tão marcante que se torna a própria essência do projeto. Cardozo consegue fazer com que a marquise, cujos contornos parecem ter sido cortados das montanhas ao redor, seja uma laje plana finíssima de concreto, apoiada em pilares esbeltos, de forma a inserir a casa na natureza. Neste projeto, a simbiose entre arquitetura e paisagem é alcançada com êxito. A natureza penetra pelas paredes, quase que inteiramente de vidro, alcançando o objetivo de Niemeyer de “projetar esta residência com inteira liberdade, adaptando-a aos desníveis do terreno, sem o modificar; fazendo-a em curvas, de forma a permitir que a vegetação nela penetrasse, sem a separação ostensiva da linha reta. E criou para as salas de estar uma zona de sombra, para que a parte envidraçada evitasse cortinas e a casa ficasse transparente como preferia”<sup>31</sup>.

Em São Paulo, os grandes panos de brise-soleil horizontais de concreto marcam a fachada curva e sinuosa do edifício Copan<sup>32</sup> (1951-57), enquanto que a forma convencional prismática é substituída por Niemeyer por uma cúpula em casca no pavilhão da OCA<sup>33</sup>, inaugurado em 1955 como Palácio das Artes<sup>34</sup> no Parque do Ibirapuera. A cúpula que cobre mais de 70 metros de diâmetro com apenas 10 centímetros de espessura é totalmente independente da estrutura interna do pavilhão, composto de um subsolo e três níveis unidos por rampas, tocando apenas a superfície convexa da casca.

Em 1954, Niemeyer faz a sua primeira viagem à Europa e depois segue para a Venezuela, onde projeta o Museu de Arte Moderna (1954-55), em

Caracas. Apesar de não ter sido construído, este museu alcança uma celebridade mundial, principalmente porque surge como um desafio à técnica construtiva. Trata-se de uma pirâmide regular sobre plano quadrado, mas invertida, a ponta fixada na extremidade de um promontório dominando a cidade. Mesmo Niemeyer explicando que a forma invertida da pirâmide se amparava na conformação do terreno, o resultado dava a impressão de um equilíbrio frágil. A provocação ia além, pois ao usar a forma da pirâmide (símbolo de eternidade), ele confronta o vocabulário modernista com uma figura de forte conotação histórica.

**Figura 3:** Corte do projeto para o Museu de Caracas: estrutura em forma de pirâmide invertida e mezanino suspenso pelo telhado, deixando livres 4.000 m<sup>2</sup> da galeria central para exposição.



Fonte: Livro de David Underwood – Oscar Niemeyer e o modernismo de formas livres no Brasil, p. 79

Em 1955, durante a campanha para as eleições presidenciais, a idéia de transferir a capital do Rio de Janeiro para o centro do país veio novamente à tona. Surge Brasília cuja construção suscitou inúmeras reportagens e debates em revistas internacionais especializadas de arquitetura. A análise ficou, entretanto, restrita ao urbanismo de Lúcio Costa e à arquitetura de Oscar Niemeyer, sem aprofundar no estudo de suas estruturas. Os engenheiros que a construíram também quase nada escreveram sobre suas realizações, apesar da originalidade, arrojo e audácia adotados na concepção de suas formas. Tentar superar este lapso atualmente é tarefa árdua, uma vez que as empresas construtoras que colaboraram nas obras de Brasília, como os órgãos públicos relacionados com as construções, não possuem os desenhos de detalhes de execução. Todos os desenhos de concreto armado ou protendido desapareceram misteriosamente. Com isto se perdeu uma precisidade da memória nacional. E não há como corrigir, pois não se sabe o que existe dentro daquelas peças de concreto.

Ao falar de Brasília, associam-se naturalmente três nomes: Juscelino Kubitschek, com sua obstinação em construir num período extremamente curto a nova capital (1957- 1960), Lúcio Costa e Oscar Niemeyer. Mas a estes três nomes é indispensável somar o de Joaquim Cardozo cuja audácia resultará na beleza arquitetônica de Brasília. Poeta e engenheiro, ele usará a sua sensibilidade

de artista e um perfil criador sem limites para obter estruturas levíssimas, proporcionando esta arquitetura mais livre e variada proposta por Niemeyer, com quem colaborará de forma contínua ao longo de 38 anos. Niemeyer diz que “Cardozo não criava obstáculos às soluções que lhe propunha, nelas se detendo com entusiasmo, calculando vãos e balanços enormes que apresentava, afinando apoios e vigas, consciente, como ele, de que a arquitetura deve, antes de tudo, ser bela e criadora”<sup>35</sup>. Evandro Lins e Silva prefere defini-lo como “mago da engenharia, calculista de gênio, que tornou possível com o seu talento e o seu espírito criador, dar um sentido de eternidade às obras de arte da moderna arquitetura brasileira”<sup>36</sup>. O certo é que do encontro de Cardozo e Niemeyer a simbiose foi perfeita. “Cardozo entendeu, sentiu, pensou e respondeu aos desafios estéticos dos projetos que a arrojada e genial capacidade inventiva de Niemeyer elaborava”<sup>37</sup>. E daí surgiu Brasília, com sua beleza extraordinária, repleta de formas variadas, oriundas do traço de Niemeyer e de sua execução, leve e tênue, pelo matemático e poeta Joaquim Cardozo.

Na construção de Brasília houve o uso simultâneo de estruturas de concreto armado, de concreto protendido e de aço. O Hotel de Turismo<sup>38</sup> (hoje Brasília Palace Hotel), construído quase ao mesmo tempo em que o Palácio da Alvorada, as estruturas dos 12 ministérios e das torres gêmeas do Congresso Nacional são de aço. As estruturas dos palácios, bem como as da grande maioria dos edifícios, são de concreto armado. Uma vez que Joaquim Cardozo não calculava estruturas protendidas, nas que se lançou uso desta técnica de construção na fase inicial de Brasília (Plataforma Monumental – hoje Estação Rodoviária-, Teatro Municipal, Viaduto da Pista Central - em frente ao Banco do Brasil -, e Universidade de Brasília), a responsabilidade foi do engenheiro Sérgio Marques de Souza, que contava em sua equipe com a colaboração de Bruno Contarini.

Os palácios de Brasília foram criados tendo em mente o apuro tecnológico e as formas simples, que encontrariam na estrutura o seu principal apoio. Neles também está contida a rebeldia de Niemeyer contra as normas estruturais vigentes, bem como o seu interesse em criar novas formas, de rico efeito escultural. Como Niemeyer declara<sup>39</sup>:

Dentro dessa arquitetura, procurei orientar meus projetos caracterizando-os, sempre que possível, pela própria estrutura. Nunca baseada nas imposições radicais do funcionalismo, mas sim, na procura de soluções novas e variadas, se possível lógicas dentro do sistema estático. E isso sem temer as contradições de forma com a técnica e

a função, certo que permanecem unicamente as soluções belas, inesperadas e harmoniosas. Com esse objetivo, aceito todos os artificios, todos os compromissos, convicto de que a arquitetura não constitui uma simples questão de engenharia, mas uma manifestação do espírito, da imaginação e da poesia.

O Palácio da Alvorada (1956-1957) começou a ser executado antes mesmo de ser aprovado o Plano Piloto de Lúcio Costa e de ter, assim, a sua localização fixada. Poderia ser visto como um prédio simples em dois pavimentos, com larga varanda sem peitoril, um metro e meio acima do chão, protegida por uma série de colunas cuja sucessão em curvas repetidas proporcionava a horizontalidade da fachada, se o apuro estrutural da edificação não fosse exatamente estes suportes, que Niemeyer trabalhou de modo a caracterizar o edifício e lhe conferir uma leveza tal que parecessem quase destacados do solo, apenas pousados na superfície de apoio. Para obter este efeito, contou com a sensibilidade e o espírito poético de Joaquim Cardozo, que para alcançar o objetivo abandonava tudo o que estava consagrado na técnica e raciocinava como se estivesse criando um novo tipo de concreto armado, esquecendo as imposições e as limitações das normas estruturais, e as propriedades dos materiais empregados.

No Palácio da Alvorada, Cardozo conseguiu obter o efeito desejado por Niemeyer criando suportes internos que recebessem a maior parte das cargas e aliviando a solicitação dos pilares de fachada, que poderiam ter aqui um efeito mais decorativo que funcional, embora Cardozo concordasse com Niemeyer que a beleza e o efeito aparente de um pilar deveriam prevalecer às proporções oriundas exclusivamente das cargas atuantes. Aqui a estrutura foi concebida de maneira diferente do que aparenta ser, a ponto de confundir Pier Luigi Nervi<sup>40</sup>, que criticou a supressão de dois pilares da fachada, aumentando a carga nos outros e ainda cortando ao meio os pilares adjacentes. Crítica sem fundamento, uma vez que os pilares esbeltos têm função estrutural secundária, recebendo apenas as cargas mais leves da cobertura e a da laje do passadiço perimetral, elevada de um metro e cinquenta do solo. Neste trecho, a laje de cobertura não apresenta continuidade com a laje da parte interna. Ela é curva e se afina em direção à borda, reduzindo ainda mais a carga transferida para a fachada. Nos pilares internos, recuados da fachada e dissimulados por um invólucro externo de aço, se concentra a função principal do suporte. Como estão na sombra, não são vistos de fora. A reduzida seção de apoio dos pilares da fachada, dando-nos a sensação que se tem um pilar que

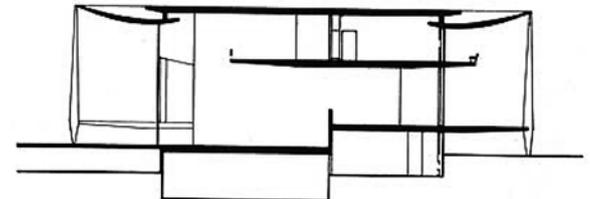
pousa suavemente no solo, pode ser explicada pelo fato da obra ter sido executada antes dos aterros; os solos e os muros de arrimo puderam ser construídos sem qualquer escavação. Posteriormente, no final da obra, foi feita a terraplanagem e a parte inferior da fachada ficou soterrada até uma altura de dois metros, escondendo os pilares inferiores e mais robustos, nos quais se apoiam.

**Figura 4:** A genialidade da forma estrutural está nas parabólicas de 4° grau que compõem a fachada.



Crédito da imagem: Cláudia Estrela Porto

**Figura 5:** Pelo corte transversal do Palácio da Alvorada, nota-se que os apoios internos recebem a maior parte do carregamento.



Fonte: Livro de Gilbert Luigi, *ON-une esthétique de la fluidité*, p. 47

A parábola, porém, que define a curva superior dos suportes da fachada não é perfeita. Do único desenho de armadura reproduzido dos cálculos de Joaquim Cardozo e da análise da equação que define esta parábola de 4° grau<sup>41</sup>, vemos que no ponto (0.0), que corresponde ao meio do vão, a derivada não é nula e a tangente deixa de ser horizontal. Na obra, o engenheiro Amora Pinto, chefe da Construtora Rabello S/A, que o construiu, fez uma adaptação para correção da tangente. O fato é que, ao criar as colunas curvilíneas do Palácio da Alvorada, Niemeyer manipula o tema estrutural da arcada clássica em uma série de parábolas invertidas com pouca ou nenhuma função estrutural. O jogo lúdico continua com o efeito de ilusão de ótica produzido pelo seu reflexo no espelho

d'água, no qual a arcada invertida é novamente devolvida à sua posição natural.

Na Praça dos Três Poderes, o Palácio do Planalto (1958-60) e o Supremo Tribunal Federal (1958-60) foram concebidos dentro do mesmo princípio: a forma inusitada dos pilares confere às estruturas certo grau de monumentalidade. Também nestes dois projetos, Niemeyer criou suportes internos ao edifício para absorver a maior parte das cargas, aliviando a solicitação dos pilares da fachada e possibilitando, assim, trabalhar plasticamente os apoios. A forma é similar a dos meios pilares da fachada principal do Palácio da Alvorada, embora aqui as curvas inferiores e superiores estejam voltadas para a lateral do edifício, e a fachada principal, voltada para a praça, se caracteriza pela aresta retilínea. No Palácio do Planalto, os pilares recebem exclusivamente as cargas da laje de cobertura, que diminui de espessura em direção à fachada, e a curva inferior do pilar é acentuada, indo de encontro à laje do primeiro pavimento, a quatro metros do solo, sem, no entanto, o suportar. Embora estes pilares recebam apenas 1000 kN de reação de cobertura e 700 kN de peso próprio, as suas seções transversais, tanto no topo como na base, são tão reduzidas que, pela quantidade de armadura que possuem (17,5%), não podem ser considerados “concreto armado”. À crítica do excesso de aço utilizado, Cardozo rebatia, dizendo: “um dia vou fazê-los mais finos ainda, de ferro maciço”<sup>42</sup>. O aspecto que Niemeyer quis proporcionar de um pilar chegando ao solo com dimensão reduzida a uma linha foi conseguido plenamente, pois o que se vê é apenas a superfície de mármore que realmente termina num ponto. O engrossamento de 20 centímetros, na parte posterior, não é visível para um espectador não avisado.

**Figura 6:** Detalhe das colunas do Palácio Planalto, mostrando o engrossamento posterior na base do pilar.



Crédito da imagem: Cláudia Estrela Porto

**Figura 7:** Nos pilares do Supremo Tribunal Federal, as curvaturas estão voltadas para a lateral do edifício.



Crédito da imagem: Cláudia Estrela Porto

No Superior Tribunal Federal, além de suportar as cargas da laje de cobertura, os pilares recebem também a carga da parte externa da primeira laje,

situada a um metro e vinte acima do solo. A concepção estrutural é semelhante a do Palácio do Planalto e para este projeto a Construtora Rabello, que executou a obra, solicitou os cálculos ao engenheiro Werner Müller<sup>43</sup>. Estes três primeiros palácios possuem também em comum a entrada através de uma rampa alongada perpendicular à fachada, com supressão de dois pilares para torná-la mais majestosa. A do Palácio do Planalto, entretanto, é mais longa, para possibilitar um pavimento não enterrado abaixo da primeira laje.

O Congresso Nacional (1958-60), que fecha a trilogia dos três poderes na praça, traz em sua concepção estrutural um arrojo tal que os olhares internacionais não poderiam mais se calar diante de tanta audácia. Todos queriam saber como se conseguiu forma e dimensões tão fora dos padrões usuais para a solução estrutural adotada. Solução esta que situa as cúpulas invertidas do Senado e da Câmara dos Deputados numa grande plataforma horizontal (200 m x 80 m), com três pavimentos, compondo-se com uma linha vertical dos edifícios gêmeos de 27 andares, que abrigam os serviços. Niemeyer conta que Cardozo exultou quando lhe telefonou para dizer: “Encontrei a tangente que vai permitir que a cúpula da Câmara pareça apenas pousada na laje”<sup>44</sup>. Mas, os problemas estruturais iam além da concepção da geometria da cúpula invertida (calota esférica) da Câmara dos Deputados, que recebe o forro horizontal e uma cobertura em coroa de círculo, com finalidade aparentemente estética. O grande empuxo produzido por esta cobertura constitui o ponto crucial do projeto, resistido por anéis de aço, sob a forma de vergalhões embutidos no concreto.

**Figura 8:** As cúpulas invertidas da Câmara e do Senado mostram, de forma sutil, o tema da inversão usado por Niemeyer em alguns projetos.



Crédito da imagem: Cláudia Estrela Porto

Niemeyer introduz a superfície à dupla curvatura inversa no seu vasto repertório estrutural com as

capelas do Palácio da Alvorada e Nossa Senhora de Fátima, ambas construídas entre 1958-60 em Brasília. Mas é na Catedral Nossa Senhora Aparecida (1958-71), edificada também na nova capital, que o purismo da forma se faz marcante, a ponto de muitos considerarem este projeto como o mais espetacular do ponto de vista estrutural e, mesmo Niemeyer, ao falar dela, sublinha o caráter inusitado da obra, dizendo tratar-se de uma catedral “diferente de todas as catedrais do mundo, uma expressão da técnica do concreto armado e do pré-fabricado. Suas colunas foram concretadas no chão, para depois criarem juntas o espetáculo arquitetural”<sup>45</sup>. Neste projeto, arte e técnica se fundem e não é possível distinguir onde começa a estrutura e onde acaba a arquitetura.

A construção da Catedral teve início em 12 de agosto de 1958, em plena construção da nova capital. Em 1959, mesmo antes da inauguração de Brasília (1960), os pilares de concreto armado, constituindo o esqueleto da estrutura, já estava pronto. O fechamento lateral entre eles só ocorreu em 1967, pouco antes de sua consagração, em 12 de outubro do mesmo ano, ocasião em que recebeu a imagem de Nossa Senhora Aparecida. De 1969 a 1970, o complexo foi concluído com o espelho de água ao redor da Catedral, o batistério e o campanário. Inaugurada em 31 de maio de 1971, foi reformada em 1987, segundo projeto de Niemeyer, quando a sua estrutura de concreto aparente foi pintada de branco e foram acrescentados os vitrais coloridos sob os caixilhos da nave, de autoria de Marianne Peretti. Embora tenha ficado por oito anos (1959-1967) exposta às intempéries, a estrutura não sofreu intervenções significativas até o momento. As duas reformas (1987 e 2000) visaram apenas aspectos estéticos, sem intervir diretamente na estrutura da nave da Catedral. Do ponto de vista construtivo, apenas a segunda reforma (2000) incidiu sobre os espelhos de água cujas juntas foram novamente impermeabilizadas, e sobre a laje do batistério, com a recuperação de pontos de corrosão na armadura de sua laje.

A concepção estrutural da Catedral de Brasília é fruto das possibilidades técnicas do concreto armado e da perspicácia do engenheiro Joaquim Cardozo, que elaborou os cálculos na época de sua construção. Os 21 hiperbolóides de 40 metros de altura, inicialmente propostos por Niemeyer, foram reduzidos, por questões de estética, para 16 pilares de 30 metros. Da mesma forma, o anel de concreto de base, imaginado inicialmente com 70 metros de diâmetro, apoiado no chão e servindo de alicerce, e a coroa no topo, que seria o outro ponto de apoio para garantir a amarração e rigidez da estrutura, foram alterados por questão de estabilidade: a base ficou com 60 metros de

diâmetro e a o anel do topo foi deslocado a 10 metros abaixo deste, ressaltando a leveza e a transparência da estrutura.

De todas as superfícies geométricas possíveis, Niemeyer optou pelo hiperbolóide regrado de revolução para a forma estrutural da Catedral, superfície originada por uma reta inclinada se deslocando sobre dois círculos, o meridiano desta superfície sendo uma hipérbole. Esta superfície é também considerada como superfície de rotação, uma vez que sua superfície resulta da rotação de uma curva plana (meridiano) em torno de uma reta situada em seu plano, o meridiano sendo convexo em relação ao eixo de rotação.

Os dezesseis pilares curvos, hiperbolóides de revolução, representaram um desafio aos conceitos estruturais vigentes, uma vez que aqui encontram a sua estabilidade no anel circular de tração, sobre o qual estão apoiados, e também no anel de compressão, situado não no topo e sim a dez metros abaixo deste ponto. O anel superior não é visível, passando por dentro dos pilares, e o anel inferior, na altura do piso, além de absorver os esforços de tração, funcionando como um tirante, reduz a carga nas fundações, as quais recebem apenas os esforços verticais. A laje da cobertura tem função apenas de vedação, possibilitando ventilação natural através de seu orifício central.

Vasconcelos é preciso no detalhamento de seu sistema estrutural<sup>46</sup>:

A estrutura é constituída apenas de 16 pilares curvos, de seção quase triangular, oca. A seção transversal na base é maciça, com a forma de um quadrilátero constituído de dois triângulos ligados pela base comum de 65 centímetros, um com altura de 20 centímetros e outro com 50 centímetros. Do ponto de vista estático, essa seção foi considerada uma articulação, não obstante a armadura de 76  $\square$  de 1" (provavelmente aço CA-50), correspondente a 16% da seção. Nos primeiros 7,4 metros o eixo é reto e maciço. Desse ponto em diante, a seção é vazada com um vazio em forma de trapézio, deixando paredes laterais com 15 centímetros de espessura. O diâmetro máximo da planta na base possui 60 metros (eixo). Na altura de 20,4 metros a partir do piso o diâmetro é mínimo, e os pilares se encostam uns nos outros. Uma viga embutida de seção 22 x 90 centímetros, não percebida externamente, serve de ligação entre os pilares, dando rigidez ao conjunto. Neste ponto a seção dos pilares é máxima, com altura de 2,05 metros e largura máxima de 2,58 metros. O diâmetro no ponto de encosto se reduz ao mínimo de 26,28 metros. Daí para cima, os pilares se afastam do eixo chegando à altura de 30,6 metros, com diâmetro externo de 22,6 metros. Na

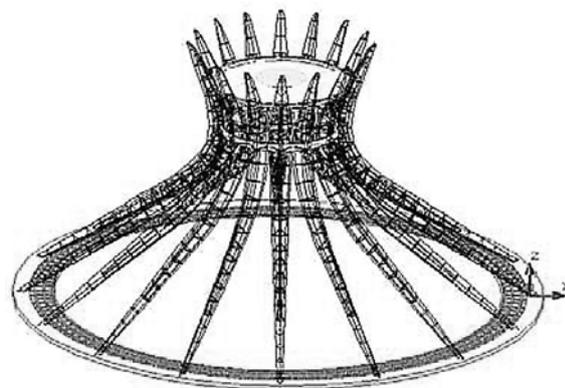
altura de  $20,4 + 4,85 = 25,25$  metros existe uma laje de cobertura de 20 centímetros de espessura. Um furo no centro, com diâmetro de 3,1 metros, é coberto com uma laje esférica de 4 centímetros de espessura e raio interno de 6,15 metros. Os últimos 4,1 metros são maciços e de eixo reto. Os 16 pilares se apóiam numa viga circular de 200 x 50 centímetros, armada em cima e em baixo com 40  $\square$  de 1". Essa laje funciona como um grande tirante e se prolonga para o centro da igreja, com uma estrutura em grelha em forma de coroa circular de módulo 100 x 100 centímetros. A distância entre os pilares na base é de 11,8 metros, do que resultam grandes panos de janelas. A solução do fechamento desses panos constituiu um grande problema construtivo, pois não havia como produzir painéis de vidro, curvos, com essas dimensões, e Niemeyer não aceitava a divisão com caixilhos, o que desvirtuaria a sua concepção de entrada de luz.

**Figura 9:** À época de sua inauguração (1971), a estrutura da Catedral em concreto aparente.



Crédito da imagem: Alexander Fils

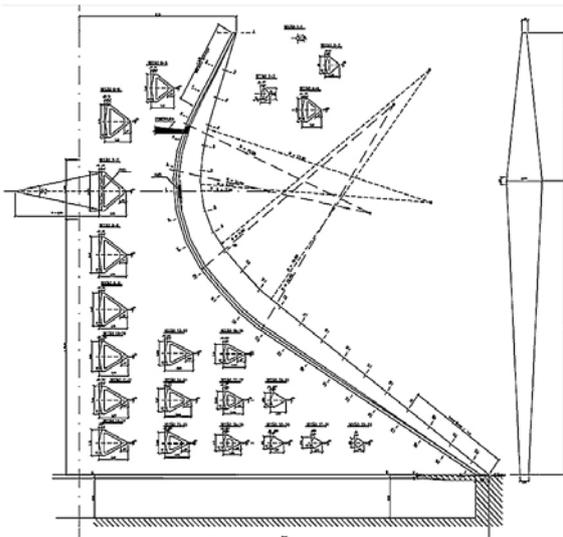
**Figura 10:** Sistema estrutural da Catedral – Anel de tração, estrutura em grelha, pilares, anel de compressão e laje de cobertura.



Crédito da imagem: Diogo Fagundes Pessoa Magalhães, responsável técnico pela obra, complementa, dizendo que<sup>47</sup>: Nos blocos de fundação nascem 16 pilares, um em cada bloco, que suportam o anel de onde saem as 16 colunas que marcam a estrutura da Catedral de Brasília. O anel de tração está

separado dos pilares da infra-estrutura por placas de neoprene (50cm x 50cm x 2,5cm). A função deste anel de tração é a de absorver os esforços horizontais transmitidos pelas 16 colunas. O neoprene impede que qualquer movimento horizontal do anel de tração seja transmitido para os pilares da infra-estrutura. As colunas emergem do anel de tração, maciças e delicadas, armadas com 70 vergalhões CA-50 de uma polegada. Em seguida as suas dimensões vão aumentando e o cálculo estrutural criou caixões perdidos, que evitam o aumento exagerado do peso da peça, mantendo as dimensões estabelecidas pelo arquiteto e a estabilidade da construção. As 16 colunas, ao mesmo tempo em que ganham altura, se aproximam e, depois de se tocarem, voltam a subir, afastando-se uma das outras, novamente maciças. No ponto em que se tocam, as colunas se apóiam em um anel que trabalha à compressão e impede que elas se fechem.

**Figura 11:** Cortes na seção do pilar – cópia do original (Michelle Franz, apud Pessoa, op. cit., p. 165)



Os 16 pilares estão reunidos entre si por panos de vidros e o seu carregamento inicial, previsto por Cardozo, restringia a carga à ação do vento e ao peso de uma esquadria leve, em plástico. Posteriormente, a solução proposta por Niemeyer, em treliça espacial, além de dirigir os carregamentos maiores para o solo, permitiu a fixação das duas camadas de vidro na estrutura hexagonal do banzo inferior e superior da treliça. Nisto também este projeto é inovador. Trata-se da primeira idéia de utilização de uma malha espacial nos projetos de Niemeyer, embora aqui não podemos falar de um “nó espacial”, uma vez que as barras são constituídas de vergalhões de aço de  $\frac{3}{4}$ ” soldados. A geometria espacial está, porém, presente nos hexágonos alongados do banzo inferior e superior da treliça, seccionados horizontalmente, formando dois trapézios e unidos por diagonais.

Na época de sua inauguração, apenas os vidros no banzo superior da estrutura constituíam a

sua vedação. Em 1987, quando de sua reforma, o banzo inferior foi preenchido com os vitrais coloridos de Marianne Peretti (fibras de vidro nos tons de azul, verde e branco).

**Figura 12:** A malha espacial entre os pilares permite fixação de duas camadas de vidro na estrutura hexagonal do banzo inferior e superior da treliça.



Crédito da imagem: Cláudia Estrela Porto

**Figura 13:** Detalhe da fixação dos vidros na treliça espacial.



Crédito da imagem: Cláudia Estrela Porto

Niemeyer retoma a forma primitiva dos egípcios, o tronco de pirâmide, para definir a estrutura do projeto do Teatro Nacional de Brasília (1958-1961). Nos quatro pilares principais apoiam-se quatro linhas de vigas que definem o contorno do teatro, formado pelas arestas do tronco de pirâmide. As faces laterais são marcadas por um conjunto de 11 vigas inclinadas que constituem apenas o suporte dos elementos de fechamento e vedação. As duas outras faces são compostas por vigas

pré-moldadas de uma única peça em forma de L, que ficam escondidas junto com as placas pré-moldadas de fechamento (com 8 m de vão) encaixadas entre elas, detrás de uma bela decoração plástica de Athos Bulcão, em paralelepípedos de concreto de diversos tamanhos.

Niemeyer começa a utilizar o sistema construtivo do pré-fabricado em larga escala nos prédios da Universidade de Brasília, principalmente no Instituto de Ciências (1963-71), onde os grandes pórticos pré-moldados de concreto protendido são inseridos em sapatas pré-moldadas, apoiadas sobre uma estrutura em radier de cascalho. O sistema principal de pilar-viga se estende por 720 metros de comprimento do bloco levemente curvo. Na ligação dos dois blocos, um balanço de 12 metros recebe uma rampa em forma de U, com 3 metros de largura e um comprimento desenvolvido de mais de 2 x 18 metros. Essa rampa apóia-se no solo e na ponta do balanço de 12 metros.

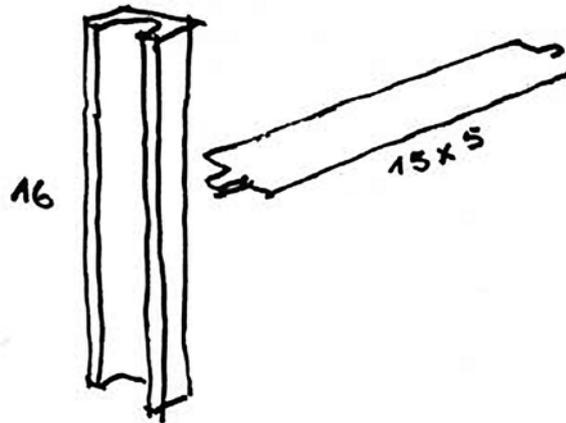
No Quartel General do Exército, em Brasília (1968-72), formado por um conjunto de oito blocos com 1.900 metros corridos, a pré-fabricação não apenas se justificava, como a solução adotada foi a mais radical possível, com apenas três elementos pré-fabricados: as colunas de fachada, em U, com 16 metros de altura, as lajes nervuradas em duplo T, de 15 x 5 metros, e os arcos da cobertura.

**Figura 14:** Fachada bloco principal do Quartel-General do Exército, em Brasília.



Crédito da imagem: Cláudia Estrela Porto

**Figura 15:** Pilares de 16 metros de altura e lajes de 15 x 5 m, elementos pré-fabricados do Quartel-General do Exército em Brasília.



Fonte: Revista Módulo 53, março-abril 1979, p. 59.

Vimos que, em alguns palácios, os pilares são mais “forma” que “estrutura”, tanto que no Ministério da Justiça (1962-70)<sup>48</sup> o próprio Niemeyer muda, alguns anos mais tarde (1987), a forma dos pilares da fachada sul, que terminavam em arcos lembrando o estilo colonial brasileiro. Estes pilares possuem, intercalados em vários níveis, calhas cilíndricas em formas de conchas, de 6 metros de largura, que avançam 6 metros em balanço com a finalidade de verter a água sobre o jardim aquático projetado por Burle Marx.

Também de caráter monumental é o único projeto de ponte de Niemeyer<sup>49</sup>, construída sobre o Lago Paranoá (1967-76), em Brasília. Sua estrutura, desenvolvida pelo escritório técnico Figueiredo Ferraz, tem uma história tumultuada desde a fase de projeto (1967) até a execução na obra – reforço e montagem ousada do tramo metálico. Depois de elaborado o projeto arquitetônico, a concorrência para a sua construção aconteceu em 1969 com apenas um esboço preparado por Niemeyer que, em poucos traços, lançou uma das mais complicadas obras do país, completamente alheio às dificuldades daquilo que estava propondo. Apenas acrescentou uma nota simples e de profunda poesia à sua concepção plástica: “A ponte deve apenas pousar na superfície como uma andorinha tocando a água”<sup>50</sup>. Para isto, os blocos de fundação deveriam ficar submersos e a empreiteira elaborar um projeto executivo que permitisse 200 metros de vão numa obra de 400 metros de comprimento total. A Sobrenco, que ganhou a concorrência pelo menor preço em 1969, logo constatou a inviabilidade do mesmo devido ao solo argiloso nas margens do lago. Alterar o comprimento inicial de 400 para 440 metros resultaria em vãos de 110, 220 e 110 metros, e a obra conquistaria o recorde mundial de vão em viga reta de concreto protendido.

Vasconcelos<sup>51</sup> explica que o projeto inicialmente construído era constituído de dois duplos balanços de 110 metros, simétricos, executados simultaneamente e se encontrando no meio do vão central, numa articulação que permitia também alguma movimentação longitudinal. A superestrutura foi iniciada em junho de 1970. Foram executadas pelo processo dos balanços sucessivos<sup>52</sup> (técnica de construção que possibilita a execução da ponte sem escorá-la no solo) apenas sete aduelas de cada lado, resultando o balanço total de 35 metros. Ao ter início a terceira aduela, com os cabos todos pendentes e apoiados horizontalmente em flutuadores, fortes ventanias causaram, em julho de 1970, um enorme transtorno. Os flutuadores balançaram tanto com as fortes ondas geradas pelo vento que os cabos caíram no lago e se emaranharam, tornando quase impossível a continuação da obra.

Depois de paralisada a obra, a NOVACAP<sup>53</sup> optou pela rescisão do contrato e contratação do Escritório Técnico Figueiredo Ferraz para a reformulação do projeto. Logo que a sondagem no solo foi efetuada, verificou-se a necessidade de reforçar as fundações. Procurou-se também reduzir ao máximo o peso sobre elas, mediante substituição de um trecho central de 58 metros da ponte por uma viga metálica simplesmente apoiada nas extremidades dos consolos. Qualquer rotação que pudesse aparecer nos consolos ficaria totalmente disfarçada pela acomodação de um segmento de tal grandeza. O aspecto final da obra não sofreu alterações. O trecho metálico, que pela natureza - aço Cor-Ten<sup>54</sup> - não exigia pintura, foi preparado com jato de areia e aplicação de epóxi branco, restabelecendo a aparência prevista.

**Figura 16:** Ponte Costa e Silva sobre o lago Paranoá, em Brasília.



Crédito da imagem: Cláudia Estrela Porto

Obrigado a se exilar pela ditadura militar instaurada no Brasil em 1964, Niemeyer é acolhido pela França onde começa uma série de projetos no exterior, que além de consagrá-lo pela sua arquitetura,

mostrará os avanços tecnológicos alcançados pela engenharia brasileira. Da França, onde realiza a Sede do Partido Comunista Francês (1965-80), o Centro de Cultura do Havre (1972-82) e a Bolsa de Trabalho de Bobigny (1972-82), ele parte para a Argélia, onde em Argel e, sobretudo, em Constantine, deixa um de seus mais valiosos trabalhos: a Universidade de Constantine (1969-77). É deste período também a Editora Mondadori (1968-75), construída perto de Milão, e a sede da FATA European Group (1975-79), em Turim.

Para a sede do Partido Comunista Francês (1965-80), calculada por Jean-Prouvé<sup>55</sup>, Niemeyer dispõe uma cúpula (auditório) em frente a uma fachada sinuosa que se assemelha ao edifício Copan em São Paulo, realizado anteriormente (1951-57).

Em Argel (1968), Niemeyer projeta o Centro Comercial, o Centro Cívico, a Mesquita, a Universidade de Ciências Humanas e a Universidade de Ciências Tecnológicas, sendo apenas esta última construída. Mas é na Universidade de Constantine (1969-77) que Niemeyer mostra o avanço da tecnologia do concreto armado e obtém destaque internacional. Considerada, ao final dos anos 60, estrutural e construtivamente inexequível por técnicos da França, foi, sem dificuldade, projetada e construída a partir do conhecimento e experiência dos brasileiros.

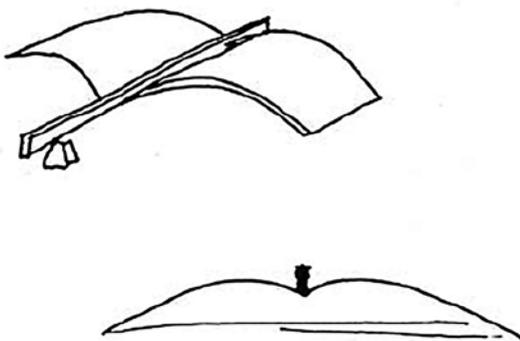
Adotando as técnicas mais avançadas da pré-fabricação mista, que consiste em realizar parte da estrutura no processo tradicional e, muitas vezes, protendido, e o resto (vigas, lajes, paredes internas) em pré-fabricado, Niemeyer, nos projetos elaborados - o bloco de classes, o de ciência, a administração, a biblioteca, o auditório e o restaurante -, reduz o número de apoios e aumenta os vãos livres. O bloco de classe, sobre pilotis, com vão de 50 metros e, para o bom equilíbrio da estrutura, balanços de 25 metros nas extremidades, é um exemplo desta solução e do que se pode fazer com o concreto armado. As paredes laterais, com 6 metros de altura, elemento estrutural principal da obra, foram protendidas do modo tradicional e as vigas e lajes pré-fabricadas com formas metálicas reutilizadas nos outros edifícios da universidade. Niemeyer explica que “estas vigas transversais em T foram apoiadas, provisoriamente, em sistemas de escoramento metálicos e sobre elas construídas as grandes paredes longitudinais protendidas. Depois, entre os apoios metálicos, foram concretadas as colunas de 50 em 50 metros e a estrutura ficou assim praticamente concluída”<sup>56</sup>. A cobertura, em sheds, foi também pré-fabricada em elementos longitudinais de cinco

metros de vão, solidarizados pelas vigas transversais concretadas no local.

Interessante notar que esta extensa viga longitudinal formando a fachada, se fosse construída pela análise efetuada pelo escritório técnico de Argel, teria de ter um metro e meio de espessura. Bruno Contarini, um dos engenheiros brasileiros preferidos de Niemeyer, provou a exatidão dos cálculos e reduziu esta dimensão para 30 centímetros.

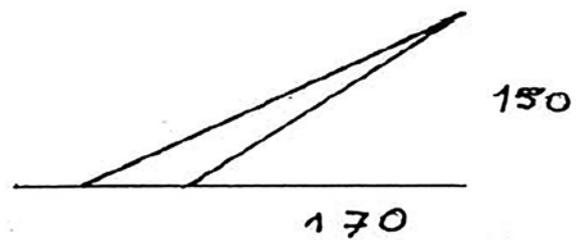
O apuro estrutural foi mantido nos demais prédios, como no auditório, com uma solução estrutural inovadora, composta de uma viga aparente e duas asas de apoio, numa leveza extraordinária. Este auditório, primeiro cálculo realmente importante que José Carlos Sússekind participou com Niemeyer, se tornou na época a maior casca esconsa do mundo, cobrindo 3.500 m<sup>2</sup> sem um único apoio interno. Sússekind explica que “se trata de uma casca cilíndrica com duas águas, apoiando-se, ao centro, no pórtico, e, nas extremidades, com apoio corrido sobre o bloco de fundação. A peça especialmente arrojada da obra é o pórtico bi-rotulado, que recebe um painel de carga de cerca de 50 metros, vencendo um vão de 60 metros, tendo sido, portanto, criada no centro da casca, uma nervura invertida com cerca de 3,5 metros de altura”<sup>57</sup>.

**Figura 17:** Perspectiva e corte esquemático do auditório da Faculdade de Constantine.



Fonte: Revista Módulo 44, dez-jan 76 77, p. 49.

**Figura 18:** Croquis mostrando as proporções do Monumento à Revolução.



Fonte: Revista Módulo 44, dez-jan 76-77, p. 49.

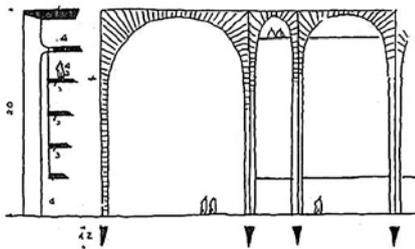
No Monumento à Revolução (1968), a obra de caráter mais monumental em toda a Argélia, com 180 m<sup>2</sup> de balanço, novamente o recorde mundial é vencido. Sússekind explica<sup>58</sup> que a solução em pirâmide inclinada de base triangular, com 105 metros de altura e balanço de 170 metros, lhe confere indiscutivelmente o recorde mundial. O projeto estrutural procurou minimizar o peso próprio elevado da obra, concentrando o concreto na região comprimida pela flexão e utilizando-se caixão nervurado na parte nervurada, protendida. A construção foi feita com aduelas moldadas no local (como se fosse uma ponte em balanços sucessivos). O balanço de 170 metros é compatível com a altura existente na seção crítica, igual a 30 metros.

A partir deste projeto, os grandes balanços serão adotados em algumas construções fortemente horizontais, reduzindo ao máximo o número e a altura dos pilotis, como no Terminal Rodo-Ferrovário de Brasília (1973-81) ou no projeto do Centro Musical do Rio de Janeiro (1978), que por motivos políticos ainda não foi construído.

Em algumas obras, do momento em que a estrutura caracteriza a própria arquitetura, ela passa a ser vista quase como um elemento escultural, sem que isto comprometa suas funções estáticas intrínsecas. Este elemento escultural está fortemente presente na nova sede da Editora Mondadori (1968-75)<sup>59</sup>, construída nas cercanias de Milão. Embora lembre o Palácio do Itamaraty (1962-70), em Brasília, a característica inovadora deste projeto está no ritmo excepcional das arcadas que com os seus espaçamentos variando entre três e quinze metros resulta num grande dinamismo estrutural, quase musical. A ausência de simetria, com a repetição de quase 20 arcos desiguais, origina uma solução estrutural muito original e nova na história da arquitetura. Estas colunas, devido a sua grande esbeltez (20 metros de altura), antes de serem fixadas, foram testadas em modelos de 2 metros de altura nos ensaios de flambagem e compressão, e o seu desenho modelado, como se tratasse de uma peça escultural. Em Mondadori, a estrutura suspensa é pela primeira vez realmente utilizada por Niemeyer. Uma caixa de metal e de vidro, contendo cinco andares

de escritórios, está literalmente suspensa por 56 tirantes metálicos verticais às vigas de cobertura em concreto que, por sua vez, apoiando nas arcadas, formam um edifício ponte. Um terraço jardim encimando os andares protegidos pela laje de cobertura arremata o edifício, oferecendo espaços de rara beleza. Da laje de piso do terraço descem cabos de aço que vão suportar quatro outras lajes que formam os andares inferiores. É interessante notar que esta caixa de vidro e metal é espaçada de alguns centímetros das arcadas laterais em concreto, evitando dessa forma tocá-la, mesmo que haja alguma movimentação lateral, mesmo princípio adotado por Claude Parent no projeto da Casa do Irã, inaugurado no mesmo ano do projeto de Mondadori (1968) na Cité Universitaire de Paris, em estrutura em aço.

**Figura 19:** Editora Mondadori - estrutura suspensa e descontinuidade dos arcos da fachada.



Fonte: Oscar Niemeyer, uma lição de arquitetura, Eduardo Corona, p. 88.

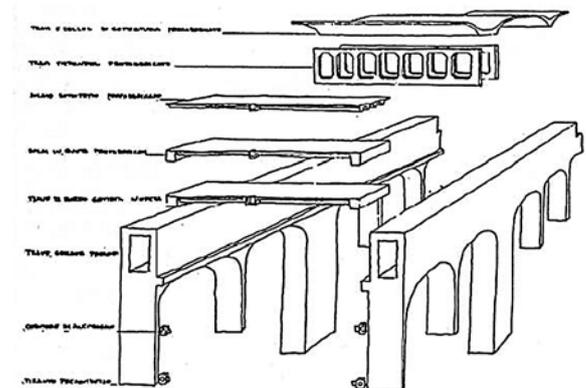
As cascas em concreto são moldadas pelas mãos de Niemeyer ao projetar os auditórios. A forma do auditório da Bolsa de Trabalho de Bobigny (1972-82), realizado na França, por exemplo, é a de uma concha cujas estrias se abrem em leque para criar o dinamismo da forma curva da construção em concreto.

No Centro de Cultura, no Havre (1972-1982), Niemeyer usa superfícies à dupla curvatura inversa para criar os dois volumes de plano circular: o que abriga a administração e a sala polivalente é um hiperbolóide regado de revolução<sup>60</sup>, e o que acolhe o teatro é um parabolóide hiperbólico<sup>61</sup>. Estas formas lembram as “torres de resfriamento” do Palácio da Assembléia em Chandigarh, realizado em 1964 por Le Corbusier. Talvez, buscando formas tão arrojadas, Niemeyer quisesse mostrar o imenso progresso das técnicas de construção em concreto desde o tempo de Auguste Perret e, desta forma, homenagear este que foi o grande mágico do concreto armado, o que reconstruiu

Le Havre após a cidade ter sido devastada pelos bombardeios alemães durante a Segunda Guerra Mundial.

Na sede da Fata European Group (1975-79), em Turim, as lajes dos dois andares de escritórios são suspensas à estrutura monolítica em concreto, sem suporte intermediário. Esta estrutura é formada por dois grandes pórticos paralelos entre si cujo travamento se faz através de lajes pré-fabricadas, de onde saem os tirantes principais que chegam até a laje do primeiro andar. As empenas dos arcos internos aos três pilares do pórtico, sendo muito finas e chegando somente até a altura da fachada de vidro do primeiro andar, parecem acolher a fachada leve e solta no espaço, ao mesmo tempo em que parecem flutuar frente à força que emana dos três robustos apoios do pórtico que chegam ao solo. A solução estrutural proposta por Niemeyer neste projeto é tão interessante que o engenheiro Riccardo Morandi, um dos mais conceituados da Itália, ao calculá-la, comentou: “Pela primeira vez deram-me a possibilidade de mostrar o que conheço do concreto armado”<sup>62</sup>. E concluiu, dizendo “No caso desta obra de Oscar Niemeyer, procurei, de minha parte, atender tão poderosa força criadora, através de uma apurada elaboração técnica”<sup>63</sup>.

**Figura 20:** Sistema estrutural adotado para o edifício FATA, em Turim.



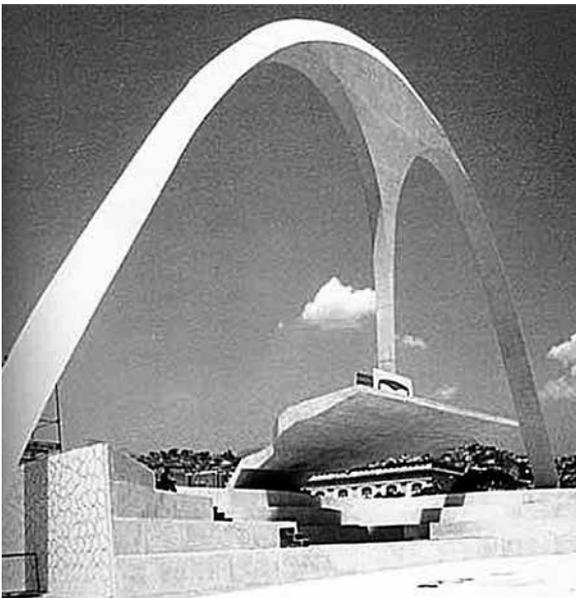
Fonte: Revista Módulo 52, dez-jan 78-79, p. 37

No projeto da Organização Internacional do Trabalho, realizado em Brasília em 1982, Niemeyer recorre novamente a uma geometria espacial – treliça de dupla camada superposta, unida por triangulação - para a cobertura do prédio, com o nó espacial “cruzeta”.

O monumento na Praça da Apoteose da Passarela do Samba, popularmente conhecido como Sambódromo (1983-84), no Rio de Janeiro, também merece destaque por sua concepção estrutural singular. Trata-se de um enorme arco de concreto

armado (de 25 metros de altura), de seção triangular, com um tirante no centro para suportar uma grande marquise para apresentações populares. Visto de relance, tem-se a impressão de que o monumento é um tripé, pois, quando visto de frente, não se imagina que a peça central não seja um apoio, e sim um tirante vertical em concreto. A marquise que serve de palco não serve de apoio ao arco. Pelo contrário, ela está dependurada no arco. O monumento é uma figura que se desenvolve num plano e a marquise recebe um apoio no meio do arco. Além de seu peso próprio, o arco tem a função de manter a marquise, que nunca poderia ser tão fina se não fosse apoiada num ponto intermediário. É justamente este tirante que dá estabilidade ao arco, impedindo que ele seja solicitado fora do seu plano. A única força externa que atua no arco é a carga da marquise, além do peso do próprio arco, evidentemente. A forma estrutural proposta, neste caso, provoca uma ilusão de ótica: quem de fora observa o monumento lateralmente vê um vértice e duas faces inclinadas, dando a sensação de tratar-se de um obelisco. Ao mudar de posição, percebe tratar-se de uma figura plana em forma de arco.

**Figura 21:** Vista lateral do monumento símbolo do sambódromo, mostrando que se trata de uma estrutura plana.



Fonte: O concreto no Brasil, vol. III, p. 177.

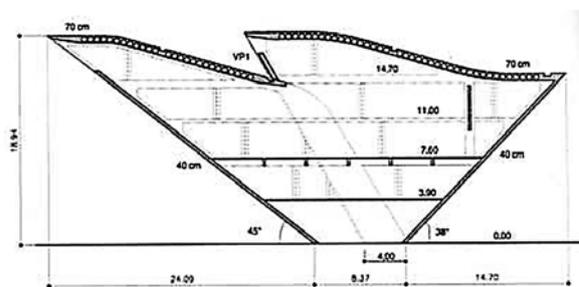
Para atender ao programa lançado pelo governador Leonel Brizola no Rio de Janeiro de construir um Centro Integrado de Educação Pública (CIEP's, 1984-1987) por semana, lançou-se mão novamente do sistema pré-fabricado de concreto armado para baixar os custos<sup>64</sup> e aumentar o máximo a eficiência da construção, suprimindo formas, escoramento e concretagem local. As

peças eram fabricadas para ser utilizadas em qualquer lugar, desde que as fundações estivessem prontas. Do ponto de vista estrutural, este projeto não traz novidades, mas é significativo na sua concepção, pois se podia construir um prédio utilizando apenas sete tipos de elementos pré-fabricados (pilares de até 10 m de comprimento, lajes com 20 m<sup>2</sup> para os blocos principais, vigas de 23 m de extensão para cobrir o ginásio, etc). Lembremos que no CEPLAN (Centro de Planejamento Oscar Niemeyer), um bloco de um pavimento projetado por Niemeyer em 1961 no Campus da Universidade de Brasília, utilizou-se apenas dois elementos construtivos: pilares com seção em U, que funcionavam também como painéis de vedação, e vigas de cobertura, ambos em concreto armado pré-fabricado. No final de 1987, 127 CIEP's tinham sido construídos, dos quais 112 estavam funcionando, mas o projeto, altamente criticado acusticamente e sob aspectos construtivos, foi abandonado, uma vez que Darcy Ribeiro não se elegeu sucessor de Leonel Brizola. Entretanto, com a reconquista do governo por Brizola em 1991, o projeto foi retomado e hoje são mais de 500 unidades construídas, totalizando 2,5 milhões de metros quadrados.

Dentro das formas livres adotadas por Niemeyer, o Panteão da Liberdade e da Democracia Tancredo Neves (1985)<sup>65</sup>, construído na Praça dos Três Poderes em Brasília, lembra a forma de uma pomba, simbolizando a paz. Quatro paredes paralelas, duas a duas defasadas de 90 centímetros e 4,40 metros definem a sua geometria<sup>66</sup>. Estas paredes de concreto armado, com 40 centímetros de espessura, servem de apoio a quatro lajes e são perfuradas no sentido vertical com tubos de papelão de 25 centímetros de diâmetro servindo de formas, deixando entre eles espaços maciços de apenas 10 centímetros, resultando uma percentagem de vazios de 35%. Paredes maciças, igualmente de 40 centímetros, inclinadas de 38,11° e 45° respectivamente, fecham a obra em todo seu perímetro. O fechamento superior, na cobertura, se faz por lajes ocas de 70 centímetros de espessura, perfuradas por tubos de papelão como as paredes, porém de 48 centímetros de diâmetro, deixando maciços vazios entre eles de 12 centímetros e, portanto, com 43% de vazios. As duas lajes de cobertura são paralelas e formam entre si uma janela tipo shed com 4,40 metros de altura inclinada. Essas lajes são curvas, delineando a forma do monumento que lembra uma pomba.

**Figura 22:** Panteão da Pátria - Praça dos Três Poderes.

Crédito da Imagem: Stéphane Herbert/Globe Vision.

**Figura 23:** Corte vertical do Panteão, mostrando a estrutura com as lajes.

Fonte: O concreto no Brasil, volume III, p. 144.

Depois do longo período no exílio, o Memorial da América Latina (1987-1992), inaugurado em 1989 com cinco unidades principais<sup>67</sup> (Salão de Atos, Biblioteca, Pavilhão da Criatividade, Auditório-Aula Magna e Restaurante), abrigadas em pavilhões separados, marca o início de uma nova fase da arquitetura de Niemeyer, bem como o retorno dos grandes projetos em terra brasileira. Uma sinuosa passarela suspensa liga os dois complexos do conjunto.

No Memorial, Niemeyer voltou a usar enormes elementos pré-fabricados de concreto, pintados de branco, mas agora em formas muito mais expressivas e curvilíneas, já antecipadas pelo grande arco do Sambódromo (1984) e por suas pesquisas anteriores com a forma livre. Este projeto, com a ajuda de Süsskind, reflete o aperfeiçoamento das técnicas estruturais.

As formas arquitetônicas da Biblioteca e do Salão de Atos são similares, ambas emolduradas por altas colunas gêmeas, monumentais, que tem como função estrutural fixar e sustentar as vigas mestras horizontais sobre as quais se apóia o teto, placas curvas e finas de concreto pré-fabricado. No Salão de Atos, a abóbada curva nasce desta viga mestra suportada por colunas de ambos os lados do salão. Na Biblioteca, a dupla abóbada é suspensa a partir da viga mestra, mantida pelas

colunas. Isso faz com que o espaço interno fique livre de todo elemento de apoio estrutural, ampliando ao máximo o espaço para salas de leitura e estantes. Estas vigas, com 70 e 90 metros, atestam o avanço da técnica construtiva. A da Biblioteca, com 90 metros, alcançou o recorde mundial de maior vão do mundo em concreto protendido em obras civis, destronando o Museu de Arte do Trianon cujo vão, também em concreto protendido, possui somente 70 metros.

O edifício do Centro de Estudos Brasileiros para a América Latina, com a estrutura dramaticamente suspensa no centro do prédio, lembra o Museu de Arte de São Paulo (1968), projetado por Lina Bo Bardi.

No recinto do Memorial, Niemeyer desenha, para simbolizar a luta de toda a América Latina pela liberdade, uma grande mão de concreto espalmada, com os dedos abertos em desespero, representando a América Latina, com o sangue a escorrer até o punho. Embora, do ponto de vista estrutural, esta mão não represente uma inovação, ela possui 7 metros de altura e nasce inclinada do solo, sendo escorada por um elemento saliente de concreto com a forma de uma sapata quadrada truncada e dividida ao meio. Desse elemento sai uma pequena laje em balanço que serve de escora ao monumento e, ao mesmo tempo, recebe o sangue que verte da mão ferida, jorrando de uma área com a forma de toda a América Latina desenhada na palma da mão.

**Figura 24:** Memorial da América Latina: em primeiro plano, a mão espalmada; ao fundo, o Salão de Atos.

Crédito da imagem: Stéphane Herbert/Globe Vision.

No Museu de Arte Contemporânea – MAC (1991-

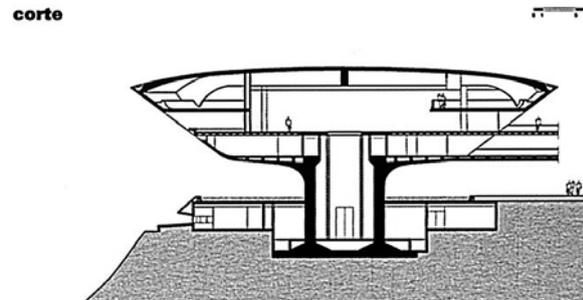
1996), em Niterói, Niemeyer apóia um tronco de cone invertido sobre um único pilar central. Ele explica que o terreno o guiou, como em Caracas, ao apoio central. Considerado como um dos destaques da arquitetura moderna, a sua construção apresenta soluções de grande criatividade, reflexo de anos de experiência da engenharia brasileira. O edifício tem a forma de uma taça apoiada em uma grande sapata e conta com um anexo enterrado, com salões para equipamento de apoio do museu. Neste projeto, a concepção da estrutura se definiu rapidamente, com a participação conjunta de Niemeyer e do engenheiro Bruno Contarini, que utilizou o concreto protendido e todos os recursos de cálculos computacionais disponíveis para definir dimensões exequíveis e chegar na forma desejada. Ela é definida como<sup>68</sup>:

A cobertura possui 50 metros de diâmetro e é constituída por uma estrutura de lajes nervuradas, com nervuras se apoiando em vigas radiais ligeiramente abauladas que, por sua vez, apóiam-se apenas em 6 colunas redondas. O núcleo não alcança a cobertura e morre no segundo pavimento. As colunas só encontrarão apoio em enormes vigas protendidas, que funcionam como gigantescos consolos com efeito espacial, transferindo todas as cargas para o núcleo cilíndrico central. O Mezanino está dependurado na borda externa da cobertura, por intermédio de uma casca cônica voltada para cima. Sua borda superior, junto com uma dobra da cobertura, forma uma calha enorme, que recolhe toda a água que escorre da superfície da cobertura. O mezanino em si é outra laje nervurada, terminando nas seis colunas que recebem a cobertura. Abaixo do mezanino, na fachada, está a janela, existente em toda a volta da construção, sem qualquer interrupção e sem montantes. Tem-se a impressão de dois discos superpostos que não se tocam. Os dois pavimentos são a parte mais importante da obra. Ligados entre si por paredes estruturais com a altura dos pavimentos, de disposição radial, são engastadas no tubo central, que possui parede de 80 centímetros de espessura. Essas vigas-parede possuem enormes momentos negativos e são em número de seis, como os pilares. Elas não podem passar de um lado para o outro, como seria natural, por causa do buraco do elevador central. Por este motivo, os cabos de protensão se desviam, deixando livre o miolo e assumindo uma disposição em estrela. Nessa armação, os cabos são protendidos apenas pelas bordas no perímetro externo. Trata-se de uma disposição muito engenhosa, que satisfaz bem às exigências arquitetônicas e estéticas.

Neste projeto, as rampas que chegam ao primeiro e segundo patamar também possuem um caráter estrutural singular. Em vez de inclinadas, Niemeyer as criou sinuosas com bifurcação para chegar ao primeiro pavimento e continuar até o segundo. Sua estrutura, em forma de caixão-perdido com

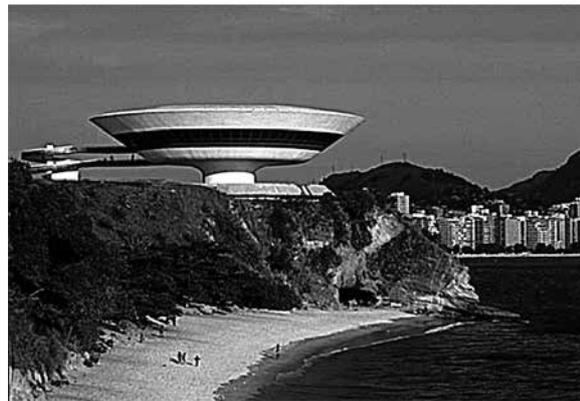
protensão, aparenta a de uma laje lisa. Elas são engastadas na base e nos apoios aos dois pavimentos, possuindo três pilares intermediários no seu perímetro.

**Figura 25:** Museu de Arte Contemporânea de Niterói: corte, mostrando a estrutura arrojada.



Fonte: Oscar Niemeyer – Minha Arquitetura 1937-2004, p. 260

**Figura 26:** Museu de Arte Contemporânea de Niterói: Vista da praia, mostrando as rampas que chegam ao primeiro e segundo pavimento. A forma se assemelha a uma nave espacial.



Crédito da Imagem: Stéphane Herbert/ Globe Vision.

Após quarenta anos, Brasília ainda é palco de projetos inovadores. O tema da estrutura suspensa foi retomado por Niemeyer no prédio da Procuradoria Geral da República (1995-2002), com seis blocos interligados por um único subsolo. Apesar da geometria básica, o projeto esconde, num jogo de lajes, vigas e pilares, uma complexidade inerente à forma arrojada da estrutura. Como ele mesmo afirma, aqui há “um desafio necessário ao progresso da técnica construtiva”<sup>69</sup>. Esforço este dissimulado pelo reflexo do vidro azulado da fachada, que esconde a ossatura.

Duas passarelas fechadas, situadas no 5º e 8º andares, e uma passarela aberta, na altura do mezanino, ligam os dois blocos principais circulares. O edifício que abriga o gabinete do Procurador Geral ganha destaque pela audácia estrutural: de uma estrela, composta de oito braços de concreto protendido, fixa num único pilar central cilíndrico, todo preenchido por concreto, saem tirantes, tam-

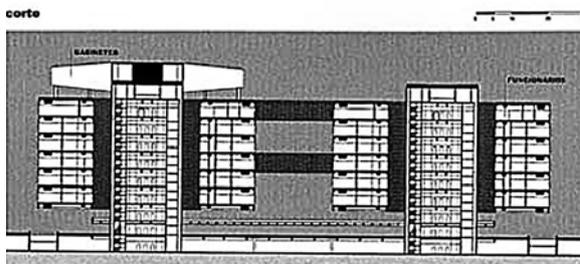
bém de concreto, que sustentam os seis andares do bloco cilíndrico, soltos no ar, liberando assim todo o térreo. Em outro bloco similar, o edifício administrativo, Niemeyer faz com que a edificação fique pousada sobre pilares. Aqui, os pavimentos cilíndricos são apoiados em oito pares de pilares delgados que prosseguem até o térreo, situados ao longo do perímetro externo e interno da circunferência. Origina-se um edifício de planta livre, tendo os dezesseis pilares e a circulação – situada no miolo do prédio – como elementos fixos.

**Figura 27:** Vista externa do Prédio da Procuradoria Geral da República.



Crédito da imagem: Cláudia Estrela Porto

**Figura 28:** Procuradoria Geral da República – Corte esquemático do Prédio dos Gabinetes e dos Funcionários.



Fonte: Oscar Niemeyer - Minha Arquitetura 1937-2004, p. 269.

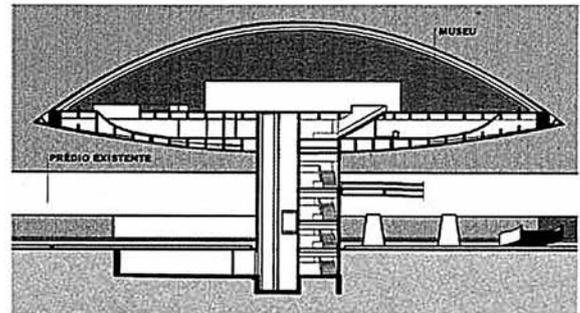
As cascas começam a ser usadas de forma assimétrica com a cobertura da Concha Acústica (tribuna) erguida sobre a esplanada do Quartel-General do Exército (1968-72), em Brasília. Mas a idéia de habitar uma concha protetora remonta ao auditório do Colégio Estadual, construído em Belo Horizonte (1954-56) e alcança maior leveza no Museu Oscar Niemeyer de Curitiba (2002). Niemeyer explica a forma adotada nestes dois últimos projetos, argumentando que “quando projetou um auditório cuja forma poderia lembrar um objeto parecido, foi ao problema de visibilidade interna que atendeu”<sup>70</sup>.

Mas o Museu do Paraná é o reencontro de Niemeyer consigo mesmo, 26 anos depois. Dois prédios projetados em épocas diferentes e que por isso apresentam diferenças estruturais segundo

o progresso imposto pela técnica construtiva. O novo museu se conecta ao prédio existente através de uma rampa sinuosa e por um túnel no subsolo. No primeiro edifício, construído entre 1975-76 (projeto de 1967), Niemeyer fez uso do concreto protendido para construir um enorme retângulo de 200 m x 30 m, apoiado em pilotis. Já para o novo prédio (2002), que acolhe o grande salão de exposições, Niemeyer criou um edifício solto no ar, de 70 metros de largura, tão leve que parece levitar. A sua forma lembra a de um gigantesco olho envidraçado, com enormes balanços, apoiado numa estrutura central. Para a cobertura deste grande olho, fixo a uma base em concreto, Niemeyer optou por uma leve casca apoiando-se em vigas longitudinais. Estas cascas, que vencem vãos de 70 metros, embora sejam aqui paralelas, lembram as que foram adotadas por Nicolas Esquillan para a construção do CNIT em Paris (1958), a diferença que neste último elas se abrem em leque a partir dos pontos de apoio. Sobre a malha metálica principal que fecha as laterais da estrutura deste grande olho, uma grelha horizontal secundária recebe os vidros, lembrando os favos de uma colméia.

**Figura 29:** Corte do grande olho que abriga o salão de exposições do Museu Oscar Niemeyer em Curitiba.

**corte**



Fonte: Oscar Niemeyer - Minha Arquitetura 1937-2004, p. 290.

Se o primeiro projeto de Niemeyer para o Museu de Brasília (1986) tivesse sido edificado, com um duplo balanço de 70 metros de cada lado, suspenso à cobertura, provavelmente bateria o recorde de balanços em concreto armado e seria o testemunho da competência dos engenheiros brasileiros. O atual<sup>71</sup>, projetado em 1997 e construído entre 2003 e 2006, não tem balanços enormes, mas o interior é amplo, com mezaninos a criar ambientes ricos e variados. A estrutura, entretanto, continua audaciosa: uma cúpula com 80 metros de vão e a rampa externa ligando os dois pisos, solta no espaço, nos mostra como o desenho de Niemeyer ainda pode surpreender. O engenheiro, aqui, desempenhou um papel fundamental, pois já com os cálculos adiantados, alterou o vão da cúpula de 40 para 80 metros, a pedido de seu criador. Não fosse isso já um problema

enorme a ser resolvido, havia ainda o de lajes vencendo vãos de até 80 metros. Mas, ao propor uma rampa que sai da cúpula e, ao ar livre, em balanço de 30 metros, une os níveis da exposição e do mezanino, Niemeyer resolve testar os conhecimentos estruturais de Süsskind. Este sugere reforçar a cúpula para suportar as lajes do mezanino parcial, suspensas através de nove tirantes. Aliás, o dimensionamento do diâmetro destes tirantes foi uma das maiores dificuldades que teve o calculista, que acabou por reduzi-los de 40 para 32 centímetros, mesmo após já ter entregado o projeto, acatando uma solicitação do arquiteto.

**Figura 30:** Museu de Brasília - o caminho arquitetural começa pela rampa externa e continua dentro da cúpula.



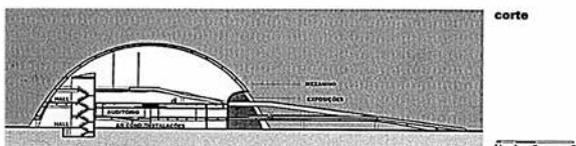
Crédito da Imagem: Cláudia Estrela Porto

**Figura 31:** Foto interna, mostrando o mezanino suspenso à laje de cobertura da cúpula.



Credito da Imagem: Cláudia Estrela Porto

**Figura 32:** Corte Museu de Brasília - uma grande calota esférica abriga um mezanino suspenso e áreas de exposições.



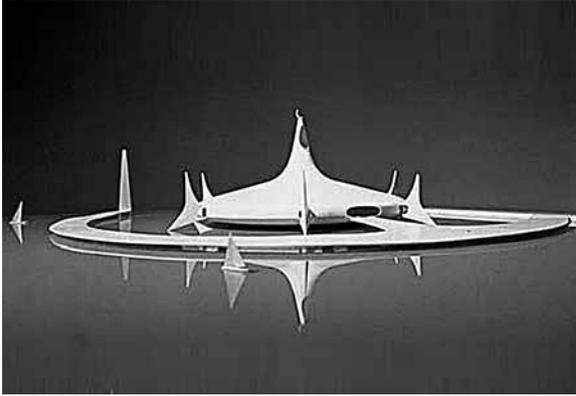
Fonte: Oscar Niemeyer – Minha Arquitetura 1937-2004, p. 280.

Desta forma, o térreo (nível principal) fica com um vão livre de 80 metros de diâmetro para as exposições e deste espaço o olhar do espectador

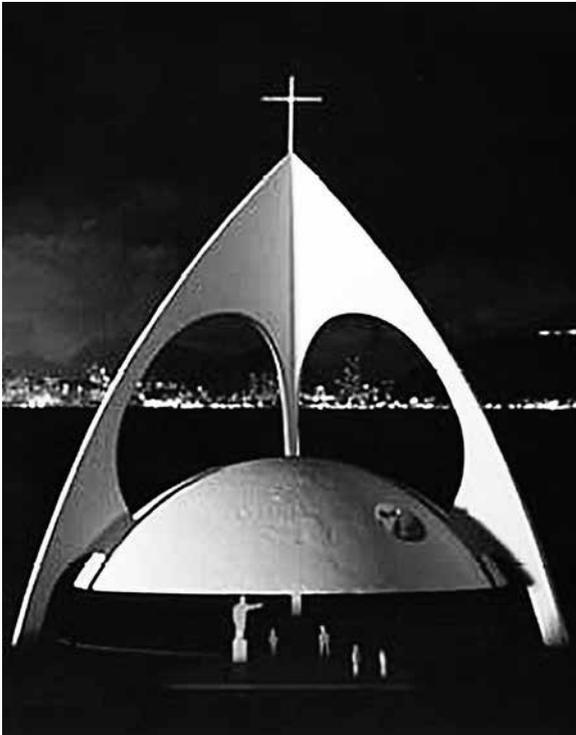
passa por entre as curvas sinuosas que cortam o mezanino, alcançando a imensa curva da cúpula. Diferente do museu de Niterói (1991-96) e do de Curitiba (2002), onde o caminho arquitetural se dá por uma rampa externa à edificação, aqui o roteiro proposto é circular. Ele começa por uma rampa, que desponta leve e sinuosa como uma serpente do interior da cúpula (térreo) alcançando o mezanino e, furando a parede da cúpula neste ponto, se lança no espaço para se fechar novamente em círculo no térreo.

Já vimos que esta solução em pendurar lajes nas coberturas tem sido uma constante na obra de Niemeyer, já esboçada no projeto<sup>72</sup> do Centro Musical do Rio de Janeiro (1968), e realmente construída com Mondadori, na Itália (1968-75), passando pelo Parlamento do Memorial da América Latina (1991-92), pelo prédio principal da Procuradoria Geral da República (1995-2002), até chegar ao Museu de Brasília (2003-06).

Este desafio estrutural constante a que Niemeyer submete Süsskind parece diverti-lo, como na solução que ele deseja adotar para a Catedral Católica do Caminho Niemeyer (1999), com sua grande cúpula de 40 metros de diâmetro suspensa no ar e os três apoios a subirem para o céu, dando-lhe o sentido religioso que as velhas catedrais exibiam. Aliás, os dois principais templos, ainda não construídos, que Niemeyer protege depois da Catedral de Brasília, a Mesquita de Argel (1968, cerca de 20 anos após) e esta nova Catedral de Niterói (1999, quase 50 anos depois), têm uma característica comum<sup>73</sup>: não se apóiam no chão, no sentido da Catedral de Brasília, ambos procurando, de certo modo, trazer o efeito dos pilotis, da construção solta do terreno que, crescentemente, sua arquitetura veio trazendo ao longo do tempo. Do ponto de vista estrutural último, ambos tem solução análoga: um grande anel circular, periférico, como que embutido na parte inferior das cascas de cobertura, trabalhando à flexão e à torção, suportado pelas colunas externas soltas, que tocam as cascas e chegam ao chão (apenas três na nova catedral, o mínimo que a estática permite) e um pouco mais, seis, no caso da Mesquita.

**Figura 33:** Maquete da Mesquita de Argel.

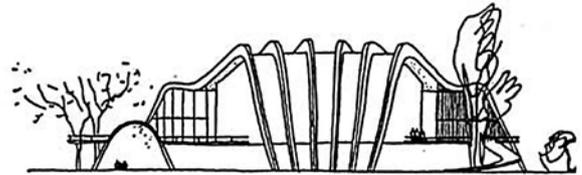
Fonte: Imagem retirada do Catálogo Niemeyer 90 anos – projeto raízes do memorial, p. 26.

**Figura 34:** Maquete da Catedral Católica proposta para o Caminho Niemeyer em Niterói.

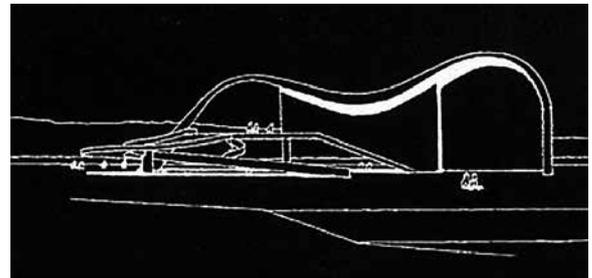
Fonte: Oscar Niemeyer – Minha Arquitetura 1937-2004, p. 253.

Depois de Pampulha, Niemeyer continuou a explorar estruturas curvas, tendendo para formas biomórficas, que contrastavam com as linhas duras do modernismo europeu e exploravam os limites da técnica do concreto. Vemos já esta inclinação no projeto para um teatro de auditórios gêmeos (1948), não construído, contíguo ao prédio do Ministério de Educação e Saúde no Rio. Esta mesma forma orgânica e ligeiramente ondulada será retomada 51 anos depois no projeto de teatro do Caminho Niemeyer em Niterói (1999-2007), recentemente inaugurado. Na estru-

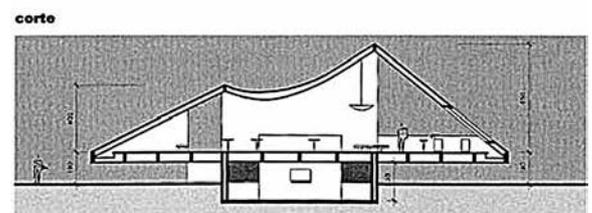
tura do auditório do Quartel- General do Exército (1968-72), em Brasília, construída sobre plano trapezoidal, a cobertura é sustentada por pórticos de concreto ritmados com perfil curvo e sinuoso. No Pavilhão para a Serpentine Gallery (2003), construído no Hide Park, em Londres, esta liberdade plástica continua presente na cobertura cujas vigas se unem à laje de piso, formando um invólucro que abriga o pavilhão. Embora aqui estes grandes planos de concreto estejam apoiados na ponta dos balanços laterais e não tocam o chão, como os pórticos do auditório do Quartel-General do Exército, o pavilhão tendo sido elevado um metro do solo, a forma de suas coberturas apresentam similaridades fortes.

**Figura 35:** Elevação sul do teatro gêmeo proposto para o Ministério de Educação e Saúde, no Rio de Janeiro.

Fonte: The work of Oscar Niemeyer, Stamo Papadaki, Reinhold Publishing Corporation, USA, 1951, p. 199.

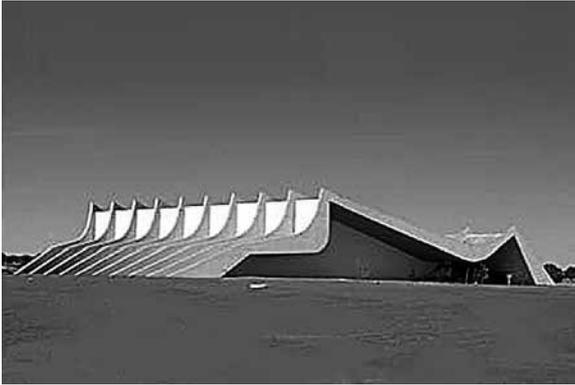
**Figura 36:** Corte do Teatro popular proposto para o Caminho Niemeyer em Niterói.

Fonte: Oscar Niemeyer – Minha Arquitetura 1937-2004, p. 248.

**Figura 37:** Pavilhão Hide Park, em Londres – corte, mostrando o pavilhão suspenso a 1 metro do solo.

Fonte: Oscar Niemeyer - Minha Arquitetura 1937- 2006, p. 304.

**Figura 38:** Estrutura curva e sinuosa do auditório do Quartel-General em Brasília.



Crédito da imagem: Cláudia Estrela Porto

### 3. Conclusão

A estrutura sempre exerceu uma influência sobre a arquitetura, mas por ter de obedecer às leis da natureza, nem sempre pode aceitar os desejos do arquiteto. Uma estrutura correta não é necessariamente bela, mas a beleza estrutural, muitas vezes criativa, não existe sem a correção estrutural. A obra de Niemeyer é um dos raros casos em que o arquiteto entende de estrutura e o engenheiro é um apreciador da estética da arquitetura. Estes dois atores, representando majestosamente o papel de criador de formas inovadoras e ricas estruturalmente, projetaram o Brasil do futuro como o que foi capaz de conceber e executar os maiores vãos e espaços livres do mundo.

A beleza não está somente na forma, mas também num projeto estrutural capaz, por sua simplicidade, de conduzir as forças até seu ponto final: as fundações. Os palácios de Brasília constituem um bom exemplo: muitos deles terminando em pontas finíssimas, nos dão impressão de apenas tocarem o solo. O mais impressionante, porém, é o fato desta leveza impressa por Cardozo nos palácios, com seus vãos e balanços enormes, ter sido efetuada numa época em que não dispunha da protensão<sup>74</sup>, que mal começava a surgir no Brasil quando a nova capital estava sendo construída. A arquitetura brasileira não seria o que é se ele não houvesse compreendido a importância da esbeltez nas colunas de Brasília, acreditado mais em sua competência e sensibilidade do que na obediência cega aos limites restritivos das normas.

Não é comum o diagrama de esforços, que corresponde ao comportamento estrutural do edifício, estar aparente. Há casos, entretanto, em que o diagrama pode ser percebido na concepção final da edificação. Isto não significa que as formas tenham partido desses gráficos, mas a evidência estrutural foi mantida na concepção final. O resultado obtido, em sintonia com o desempenho estrutural da forma proposta, deixa transparecer

o desenho dos esforços. Isto pode acontecer na obra de Niemeyer, mas apesar da resistência do concreto armado permitir balanços gigantescos e estruturas delgadas, como as cascas em arcos ou abóbadas, ele não concebe uma forma arquitetônica para exibir uma proeza técnica. Como ressalta Luigi<sup>75</sup>:

A técnica, para ele, é apenas um meio para edificar uma forma escolhida por suas qualidades espaço-funcionais e seu valor simbólico. Da mesma forma que a arquitetura coloca à disposição de um programa determinado os seus recursos expressivos, do mesmo modo a técnica está para o serviço da arquitetura. Niemeyer não sendo um engenheiro especialista do concreto armado, não lhe é possível resolver os problemas de resistência de materiais. Entretanto, ele cria suas formas dentro das possibilidades oferecidas por um tipo particular de estruturas em concreto. Ele não desenvolve elementos mecânicos da estrutura, mas a intuição estrutural da forma imaginada. O potencial construtivo do campo tecnológico, apreendido intuitivamente, intervém como fonte paradigmática morfológica no processo conceitual do arquiteto.

Por isso, não é de se estranhar que Niemeyer profetize que “arquitetura e estrutura são duas coisas que devem nascer juntas, e juntas se enriquecer”<sup>76</sup>. Brasília é o exaltamento das estruturas, mas na maior parte das obras a solução estrutural de Niemeyer é clara, sempre agregando simplicidade conceitual à grandiosidade de escala. Talvez Le Corbusier estivesse certo ao dizer que Niemeyer tinha as montanhas do Rio em seus olhos, pois a sua obsessão pelas formas biomórficas curvilíneas chega ao ponto dele ter de explicá-la num poema publicado inúmeras vezes<sup>77</sup>:

Não é o ângulo reto que me atrai

Nem a linha reta, dura, inflexível,

criada pelo homem.

O que me atrai é a curva livre e sensual,

a curva que encontro nas montanhas de meu país,

no curso sinuoso dos seus rios,

nas ondas do mar,

no corpo da mulher preferida.

De curvas é feito todo o universo,

o universo curvo de Einstein.

O concreto, material de eleição por Niemeyer, pode ser utilizado de modo diversificado: pon-

tual ou estendido, afinando até se tornar a pele contínua do edifício. Mas o material, por mais elaborado que seja, só se tornará arquitetura, integrando-se à cultura do construído, em função da qualidade da obra iniciada, lá onde as idéias se transformam em edifícios. O processo da pré-fabricação ou o concreto moldado in loco se beneficiam das recentes evoluções de pesquisa e se orientam para novas exigências: exatidão, fineza, transparência da estrutura, sem, no entanto, desprezar constantes como vão, resistência e durabilidade.

A pesquisa da beleza da matéria e da qualidade da superfície proposta se desenvolve, no domínio da construção, nas fases da concepção do projeto que decidem, pelo desenho da forma, a precisão das ligações e as tolerâncias do material. O concreto de amanhã parece já existir hoje. Ele aguarda, na multiplicidade de possibilidades oferecidas, que “as arquiteturas” lhe dêem espaço de se manifestar, com toda força, com toda leveza, com sua forte presença.

No Brasil, Oscar Niemeyer não esperou o amanhã. Com sua obra, ele se manifestou aqui e agora. No decorrer do século XX, aliando a sua imaginação à engenharia e ao saber dos construtores, podemos dizer que ele realizou a “Revolução Estrutural”, com resultados expressivos. Com ele, “a idéia do vão maior deixou de ser mera fantasia, para se tornar um desafio que a técnica aceita e procura vencer através dos tempos”<sup>78</sup>.

#### 4. Referências

- “A Residência particular no Brasil”. Revista Módulo nº 43. Rio de Janeiro, junho/ julho/ agosto 1976, p.56-61.
- CARDOZO, Joaquim. “Arquitetura Brasileira”. Revista Módulo nº 1. Rio de Janeiro, março 1955, p. 6-9.
- CAVALCANTI, Lauro. *Moderno e Brasileiro – A história de uma nova linguagem na arquitetura (1930-60)*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2006.
- CAVALCANTI, Lauro; LAGO, André Corrêa do. *Ainda Moderno? Arquitetura Brasileira Contemporânea*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2005.
- “CIEP: A nova criança fluminense”. Revista Módulo nº 91. Rio de Janeiro, maio/junho/julho 1986, p. 17-54.
- CORONA, Eduardo. *Oscar Niemeyer: uma lição de arquitetura*. São Paulo: Editora FUPAM, 2001.
- FICHER, Sylvia. “Edifícios Altos do Brasil”. *Espaço & Debates* nº 37. São Paulo, 1944, p. 61-76.
- FILS, Alexander. *Oscar Niemeyer*. Düsseldorf: Verlag Frölich & Kaufmann GmbH: 1982
- “Joaquim Cardoso 1897-1978”. *Revista Módulo* nº 52. Rio de Janeiro, dezembro/janeiro 1978/79, p. 20-25.
- LUIGI, Gilbert. *Oscar Niemeyer – Une esthétique de la fluidité*. Marseille: Editions Parenthèses, 1987.
- NIEMEYER, Oscar. *A forma na arquitetura*. Rio de Janeiro: Editora Revan, 4ª edição, 2005 (1ª, 2ª e 3ª edições, Avenir Editora, 1978-1980).
- NIEMEYER, Oscar. *Oscar Niemeyer – Minha Arquitetura 1937-2004*. São Paulo: Editora Revan, 2004.
- NIEMEYER, Oscar. *As curvas do tempo – Memórias*. Rio de Janeiro: Editora Revan, 1998.
- NIEMEYER, Oscar. *Meu sócia e eu*. Rio de Janeiro: Editora Revan, 1992.
- NIEMEYER, Oscar. “Centro Cultural – Le Havre, França”. *Revista Módulo* nº 74. Rio de Janeiro, 1983, p. 42-47.
- NIEMEYER, Oscar. “Museu do Índio – Brasília, DF”. *Revista Módulo* nº 72. Rio de Janeiro, 1982, p. 56-58.
- NIEMEYER, Oscar. “Problemas da Arquitetura – O Problema Estrutural e a Arquitetura Contemporânea”. *Revista Módulo* nº 57. Rio de Janeiro, fevereiro 1980, p. 94-97.
- NIEMEYER, Oscar. “Fata European Group”. *Revista Módulo* nº 56. Rio de Janeiro, novembro/ dezembro 1979, p. 64-71.
- NIEMEYER, Oscar. “Problemas da Arquitetura – O Pré-fabricado e a arquitetura”. *Revista Módulo* nº 53. Rio de Janeiro, março/abril 1979, p. 56-59.
- NIEMEYER, Oscar. “Problemas da Arquitetura – Arquitetura e Técnica Estrutural”. *Revista Módulo* nº 52. Rio de Janeiro, dezembro/janeiro 1978/79, p. 34-39.
- NIEMEYER, Oscar. “Universidade de Constantine”. *Revista Módulo* nº 47. Rio de Janeiro, outubro/novembro/dezembro 1977, p. 40-49.
- NIEMEYER, Oscar. “Considerações sobre a Arquitetura Brasileira”. *Revista Módulo* nº 44. Rio de Janeiro, dezembro/janeiro 1976/77, p. 34-40.

NIEMEYER, Oscar. “Sede Mondadori – Segrate-Milão”. Revista Módulo nº 41. Rio de Janeiro, dezembro 1975, p. 30-45.

NIEMEYER, Oscar. “Forma e Função na Arquitetura”. Revista Módulo nº 21. Rio de Janeiro, 1960, p. 3-7.

NIEMEYER, Oscar; SÜSSEKIND, José Carlos. Conversa de amigos: correspondência entre Oscar Niemeyer e José Carlos Sussekind. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2002.

NIEMEYER, Oscar; SÜSSEKIND, José Carlos. “A passarela do Samba”. Revista Módulo nº 78. Rio de Janeiro, Dezembro 1983, p. 18-22.

“Oscar Niemeyer e Brasil Arquitetura, Museu, Curitiba”. Revista Projeto e Design nº 275, 25 anos. São Paulo, janeiro 2003, p. 40-55.

PESSOA, Diogo Fagundes. A estrutura da Catedral de Brasília: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção.

Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Engenharia, UnB, 2002.

PORTO, Cláudia Estrela. “Une saga technologique: les formes structurelles dans l’architecture de Brasília”. Brasília – L’épanouissement d’une capitale. Paris: Editions Picard, 2006, p. 65-80.

PORTO, Cláudia Estrela. Tipologias Arquitetônicas de Estruturas Espaciais em Brasília. Brasília, 2003. Trabalho desenvolvido com o apoio do CNPq.

SALVADORI, Mario. Por que os edifícios ficam de pé. São Paulo: Martins Fontes Editora Ltda, 2006.

SÜSSEKIND, José Carlos. “Homenagem a Joaquim Cardozo”. Revista Módulo nº 89/90, Especial 30 ANOS – Brasília, 26 anos. Rio de Janeiro, janeiro/fevereiro/ março/abril 1986, p. 70-71.

SÜSSEKIND, José Carlos. “A Evolução conjunta da Arquitetura e da Engenharia Estrutural no Brasil”. Revista Módulo nº 44. Rio de Janeiro, dezembro/janeiro 1976/77, p. 48-53.

UNDERWOOD, David. Oscar Niemeyer e o modernismo de formas livres no Brasil. São Paulo: Cosac & Naify Edições, 2002.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de; CARRIERI JUNIOR, Renato. A escola brasileira do Concreto Armado. São Paulo: Axis Mundi Editora Ltda, 2005.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. O Concreto no Brasil – Pré-fabricação – Monumentos - Fundações. Volume III. São Paulo: Studio Nobel Ltda, 2002.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. O Concreto no Brasil – Professores – Cientistas - Técnicos. Volume II. São Paulo: Editora Pini, 1992.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. O Concreto no Brasil – Recordes-Realizações- História. Volume I. São Paulo: Editora Pini, 2ª Edição, 1992.

<sup>1</sup> Um dos precursores do concreto armado, Auguste Perret dizia que Il faut faire chanter les points d’appuis. É necessário fazer cantar os pontos de apoio.

<sup>2</sup> Foi no desenvolvimento da estrutura que a arquitetura passou por uma revolução, vencendo cada vez maiores vãos, com um consumo mínimo de material. O progresso destas construções exigiu tanto novos conhecimentos teóricos para o projeto quanto novos materiais para a construção.

<sup>3</sup> A cúpula que cobre o Hall do Centenário de Breslau, hoje Wroclaw, na Polônia, pesa 450 kgf/m<sup>2</sup>.

<sup>4</sup> Citado em Ficher, Sylvia, “Edifícios Altos do Brasil”. Espaço & Debates nº 37. São Paulo, 1944, p. 62.

<sup>5</sup> Idem, p. 62-63.

<sup>6</sup> Idem, p. 62.

<sup>7</sup> Neste sistema, um alargamento do apoio em forma de cogumelo assegura a transição entre o apoio e a laje, evitando que os apoios perfurem a laje como agulhas. O pilar, se integrando à laje, permite a eliminação de vigas usuais.

<sup>8</sup> Podemos ter duas categorias de superfícies delgadas: as cascas e as membranas. Estes dois tipos de estruturas são constituídos de elementos muito delgados (espessura) em relação a suas outras dimensões, com a diferença que as cascas são rígidas, trabalham essencialmente à compressão em forma de abóbadas e podem também responder a esforços de flexão, enquanto que as membranas são maleáveis e tracionadas para não cair com o vento. Podemos dizer então que as cascas são lâminas que absorvem flexão, reduzindo-a a esforços de compressão e tração simples, aplicados no seu plano, obrigando-a trabalhar em estado de membrana. Para isso, é condição imprescindível que apresentem simples ou dupla curvatura, garantindo a inércia pela sua geometria. O concreto armado é um material típico de cascas. Estas vão desabrochar após 1940 em vários gêneros, cuja classificação segue a curvatura (sem curvatura – estruturas plissadas;

à curvatura constante – superfícies esféricas; à simples curvatura – superfícies cilíndricas e cônicas; à dupla curvatura principal de mesmo sentido – superfícies de revolução, superfícies de translação, superfícies regradadas; à dupla curvatura principal de sentido contrário – superfícies de revolução e superfícies regradadas). As cascas podem então ser definidas como formas estruturais laminares que apresentam a rigidez das placas, apesar de manter, ao mesmo tempo, a esbeltez das membranas. O que assegura tal comportamento são dobras (os plissados, por exemplo) ou curvaturas (abóbadas e cúpulas) que conferem maior estabilidade à forma. As cascas de dupla curvatura (que são mais resistentes do que as de simples curvatura) são geradas ou com centros que estão referencialmente no mesmo lado da superfície da casca (curvaturas sinclásticas, como o caso das cúpulas) ou por curvaturas cujos centros estão em lados opostos, tendo ainda a superfície da casca por referência (superfícies anticlásticas, como as estruturas em sela).

<sup>9</sup> Os pilotis, o plano livre ou estrutura independente, a fachada livre, a janela em comprimento e o terraço jardim.

<sup>10</sup> Pampulha: Cassino (1940/42), Iate Clube (1940/42) e Igreja (1942/43), Hotel da Pampulha (projeto 1943); Residência Prudente de Moraes Neto, Rio de Janeiro (1943); Teatro, Belo Horizonte (1943); Banco Boa Vista, Rio de Janeiro (1946); Fábrica Duchon, São Paulo (1950); Hotel Tijuco, Diamantina (1951); Parque Ibirapuera, São Paulo (1951); Conjunto Juscelino Kubitschek, Belo Horizonte (1951); Casa de Leonel Miranda, Rio de Janeiro (1952); Casa para B. Pigmaraty, São Paulo (1953); Casa das Canoas, Rio de Janeiro (1953); Projeto para o Clube Libanês, Belo Horizonte (1955); Brasília: Palácio da Alvorada e Capela (1957), Palácio do Planalto (1958), Supremo Tribunal Federal (1958), Congresso Nacional (1958), Igreja Nossa Senhora de Fátima (1958), Catedral de Brasília (1959).

<sup>11</sup> O projeto do Centro Cívico de Argel, Argélia (1968); Auditório da Universidade de Constantine, Argélia (1969-77); Memorial JK, Brasília (1980); CIEP's, Rio de Janeiro (1984); Passarela do Samba, Rio de Janeiro (1984); Memorial da América Latina, São Paulo (1989); Centro de Convenções do Rio Centro, Rio de Janeiro (1997); Caminho Niemeyer em Niterói – Catedral, Igreja Batista e outros projetos (1999); Museu de Curitiba (2002); Procuradoria da República, Brasília (1995); Novo Museu de Brasília (2006).

<sup>12</sup> Grande Hotel, Ouro Preto (1938); Residência Francisco Peixoto, Cataguazes-MG (1941); Casa do Baile, Pampulha (1942); Colégio Cataguases, Cataguazes-MG (1946).

<sup>13</sup> Em Diamantina: Jôquei Clube (1950) e Escola Júlia Kubitschek (1951); Banco Mineiro da Produção, Belo Horizonte (1953); Estação de Aeroporto, Diamantina (1954).

<sup>14</sup> Colégio Estadual (Ginásio), Corumbá-MS (1953).

<sup>15</sup> Colégio Estadual (Ginásio), Campo Grande-MS (1953).

<sup>16</sup> Casa de Edmundo Cavanelas, Pedro do Rio (1954).

<sup>17</sup> Escola Estadual Milton Campos, Belo Horizonte (1954).

<sup>18</sup> Hospital Sul América, Rio de Janeiro (1952).

<sup>19</sup> Projeto para Biblioteca, Florianópolis (1958).

<sup>20</sup> Teatro Nacional, Brasília (1958).

<sup>21</sup> Itamaraty, Brasília (1962).

<sup>22</sup> Teatro Nacional, Brasília (1961); Universidade de Brasília – ICC (1963-71); Obras em Argel (Universidade de Constantine (1969-77); Museu de Arte Contemporânea – MAC, em Niterói (1996).

<sup>23</sup> NIEMEYER, Oscar. Meu sócia e eu. Rio de Janeiro: Editora Revan, 1992, p. 92.

<sup>24</sup> NIEMEYER, Oscar. Oscar Niemeyer – Minha Arquitetura 1937-2004. São Paulo: Editora Revan, 2004, p. 47-49.

<sup>25</sup> Emílio Baumgart será o engenheiro calculista da primeira obra individual de Niemeyer, Obra do Berço, no Rio de Janeiro em 1937. Participará também dos projetos não construídos do Estádio do Maracanã, um grande arco com 300 metros de vão, que deveria com tirantes sustentar a marquise da arquibancada, e do projeto Estação de Água de Ribeirão das Lajes, Rio de Janeiro, ambos de 1941.

<sup>26</sup> Oscar Niemeyer fazia parte da equipe (Carlos Leão, Jorge Moreira, Affonso Reidy, Ernani de Vasconcelos), liderada por Lúcio Costa que, com Le Corbusier, projetou o edifício.

<sup>27</sup> CAVALCANTI, Lauro. Moderno e Brasileiro – A história de uma nova linguagem na arquitetura (1930-60). Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2006, p. 177.

<sup>28</sup> Atual Museu de Arte da Pampulha.

<sup>29</sup> Ver Revista Módulo nº 1, março 1955, p. 6-9.

<sup>30</sup> VASCONCELOS, Augusto Carlos de; CARRIERI JUNIOR, Renato. A escola brasileira do Concreto Armado. São Paulo: Axis Mundi Editora Ltda, 2005, p. 143.

- <sup>31</sup> “A Residência particular no Brasil”. Revista Módulo nº 43. Rio de Janeiro, junho, julho, agosto 1976, p. 58.
- <sup>32</sup> Estrutura de Tietz & Moura Abreu.
- <sup>33</sup> Hoje, Pavilhão L. N. Garcez.
- <sup>34</sup> Zenon Lotufo, Hélio Uchôa e Eduardo Kneese de Mello (arquitetura). Escritório Técnico Figueiredo Ferraz (estrutura).
- <sup>35</sup> “Joaquim Cardozo 1897-1978”. Revista Módulo nº 52. Rio de Janeiro, dezembro/janeiro 1978/79, p. 22.
- <sup>36</sup> Idem, p. 22.
- <sup>37</sup> Idem, p. 22.
- <sup>38</sup> Engenheiro Paulo Fragoso.
- <sup>39</sup> NIEMEYER, Oscar. “Forma e Função na Arquitetura”. Revista Módulo nº 21. Rio de Janeiro, 1960, p. 6.
- <sup>40</sup> Entretanto, ao deter-se diante do mezanino do Palácio do Itamaraty (1962-70), Nervi se curvou diante da audácia estrutural, confessando que conseguir aquela espessura de laje para o enorme vão (30 e 36 metros) parecia mais difícil do que projetar uma ponte com vão de três quilômetros, como a que ele tinha acabado de construir. Com a altura máxima das vigas fixada em 70 cm, e construído sem juntas de dilatação, o Itamaraty será o segundo edifício representativo de Niemeyer em concreto aparente, o primeiro sendo a Catedral de Brasília.
- <sup>41</sup> Ver revista Módulo nº 7, de fevereiro de 1957, e nº10, de agosto de 1958.
- <sup>42</sup> NIEMEYER, Oscar, 2004, op. cit., p.181.
- <sup>43</sup> Werner Muller havia sido desenhista do escritório de Baumgart. Estudou engenharia tardiamente, tornando-se um especialista com grande experiência.
- <sup>44</sup> NIEMEYER, Oscar; SUSSEKIND, José Carlos. Conversa de amigos: correspondência entre Oscar Niemeyer e José Carlos Sussekind. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2002, p.18.
- <sup>45</sup> NIEMEYER, Oscar, 2004, op. cit., p. 153.
- <sup>46</sup> VASCONCELOS, Augusto Carlos de; CARRIERI JUNIOR, Renato, op. cit., p. 145.
- <sup>47</sup> Magalhães apud PESSOA, Diogo Fagundes, p. 15-16.
- <sup>48</sup> Engenheiro Fausto A. F. Favale.
- <sup>49</sup> Ponte Costa e Silva.
- <sup>50</sup> VASCONCELOS, Augusto Carlos de; CARRIERI JUNIOR, Renato, op. cit., p. 163.
- <sup>51</sup> Idem, p. 163.
- <sup>52</sup> Ao contrário das pontes em arcos que utilizam a forma como meio natural de otimização dos vãos, as pontes em vigas apóiam-se em outros artifícios: treliças, balanços sucessivos e protensão são recursos constitutivos da engenhosidade desse desenho. Pois, se nos arcos as forças caminham de forma mais direta e natural aos apoios, as vigas representam um necessário desvio dos esforços, e como decorrência desse desvio é que se acentua o fenômeno da flexão: uma parcela significativa da viga fica sujeita exclusivamente aos esforços de compressão e outra aos esforços de tração. Esse fenômeno demanda uma composição e desenho variáveis dos elementos estruturais e, por vezes, associação de materiais diferenciados. O processo de balanços sucessivos, sistema construtivo utilizado em pontes de concreto, consiste na execução prévia de pilares sobre os quais serão executadas as vigas, que são compostas de blocos de concreto pré-fabricados, denominados aduelas. Os blocos são unidos uns aos outros pela protensão de alguns cabos, formando balanços, que avançam para o meio do vão entre pilares. Para evitar a ocorrência da flexão nos pilares, os balanços são construídos simultaneamente de ambos os lados. Quando alcançam o meio do vão, os balanços são completados com uma peça de fecho. Nesse momento, o comportamento da vida muda de viga em balanço para viga contínua apoiada em pilares. O uso de blocos compondo vigas retas para grandes vãos só aparece em 1930 quando um brasileiro, Emílio Baumgart, inventa o processo de construção de pontes em concreto armado, denominado processo dos balanços sucessivos, para o projeto da ponte do Herval, em Santa Catarina.
- <sup>53</sup> Companhia Urbanizadora Nova Capital, criada em 1957 por decreto-lei para coordenar a construção da nova capital.
- <sup>54</sup> Aço à prova de intempérie, patenteado pela U.S.Steel Company como Cor-Ten ou como Mayari R pela Bethlehem Steel Company. Tais aços sofrem um processo de oxidação que penetra até alguns centésimos de centímetro da superfície e depois pára, emprestando ao aço uma agradável coloração castanha. A economia alcançada pela eliminação de pinturas constantes tornou freqüente a utilização desse tipo de aço em estruturas expostas.
- <sup>55</sup> Engenheiro-arquiteto francês (1901-84). Desen-

volveu, na França, a “parede-cortina” com seus revestimentos de alumínio. Na construção em parede-cortina, a ossatura de sustentação em aço ou concreto desaparece completamente atrás da pele suspensa da fachada. O alumínio, o plástico e o vidro, substituindo as janelas e paredes tradicionais, possibilitam a criação de um novo controle da luz e conforto térmico.

<sup>56</sup> NIEMEYER, Oscar. “Problemas da Arquitetura – O Pré-fabricado e a arquitetura”. Revista Módulo n° 53. Rio de Janeiro, março/abril 1979, p. 56.

<sup>57</sup> SUSSEKIND, José Carlos. “A Evolução conjunta da Arquitetura e da Engenharia Estrutural no Brasil”. Revista Módulo n° 44. Rio de Janeiro, dezembro/janeiro 1976/77, p. 50.

<sup>58</sup> Idem, p. 50.

<sup>59</sup> Estrutura de Antonio Nicola.

<sup>60</sup> Forma comumente usada para reservatórios de água e torres de resfriamento. O hiperbolóide regado de revolução já foi descrito ao ser explicada a concepção da Catedral de Brasília.

<sup>61</sup> O parabolóide hiperbólico pode ser definido como superfície de translação se as seções planas (a diretora e a geradora da superfície) do PH são parábolas paralelas ao seu eixo. Essas seções planas no PH podem ser também hipérbolas (de onde provém o seu nome) e neste caso os seus planos não são paralelos ao eixo do PH. É o caso aqui.

<sup>62</sup> NIEMEYER, Oscar, 1992, op. cit., p. 38.

<sup>63</sup> NIEMEYER, Oscar. “Problemas da Arquitetura – O Problema Estrutural e a Arquitetura Contemporânea”. Revista Módulo n° 57. Rio de Janeiro, fevereiro 1980, p. 96.

<sup>64</sup> Conseguiu-se, com o pré-fabricado, uma redução da ordem de 30% em relação a uma construção convencional de mesma área.

<sup>65</sup> Este projeto foi calculado pela PROJECTUM.

<sup>66</sup> Ver VASCONCELOS, Augusto Carlos de. O Concreto no Brasil – Pré-fabricação – Monumentos - Fundações. Volume III. São Paulo: Studio Nobel Ltda, 2002, p. 142-145.

<sup>67</sup> O Parlamento seria construído posteriormente, em 1992.

<sup>68</sup> VASCONCELOS, Augusto Carlos de; CARRIERI JUNIOR, Renato, op. cit., p. 75-76.

<sup>69</sup> NIEMEYER, Oscar, 2004, op. cit., p. 268.

<sup>70</sup> Idem, p. 34.

<sup>71</sup> O Museu, juntamente com a Biblioteca e Restaurante, finalizará o Setor Cultural Sul de Brasília. Do outro lado da Esplanada dos Ministérios, no Eixo Monumental, o Centro Musical, os Cinemas e o Planetário complementarão o Setor Cultural Norte.

<sup>72</sup> A concepção estrutural era a de dois grandes balanços suspensos por cabos aos dois mastros centrais.

<sup>73</sup> Ver NIEMEYER, Oscar; SUSSEKIND, José Carlos, 2002, op. cit., p. 107-108.

<sup>74</sup> A protensão só foi introduzida no Brasil em 1951, com a Ponte do Galeão.

<sup>75</sup> LUIGI, Gilbert. Oscar Niemeyer – Une esthétique de la fluidité. Marseille: Editions Parenthèses, 1987, p. 137. Tradução livre da autora.

<sup>76</sup> NIEMEYER, Oscar. As curvas do tempo – Memórias. Rio de Janeiro: Editora Revan, 1998, p.248.

<sup>77</sup> NIEMEYER, Oscar, 1992, op. cit., p. 58.

<sup>78</sup> NIEMEYER, Oscar. “Problemas da Arquitetura – O Problema Estrutural e a Arquitetura Contemporânea”. Revista Módulo n° 57. Rio de Janeiro, fevereiro 1980, p. 96.

