



CATEDRAL DE BRASÍLIA: Forma-estrutura atectônica e experiência empática

Eixo Temático: História e Historiografia da Arquitetura e do Urbanismo Modernos no Brasil

Aguiar, Monica

Mestre em Arquitetura; Engenheira Civil e Professora do CAU PUC-Rio

Favero, Marcos

Doutor em Arquitetura; Arquiteto e Urbanista; Professor do CAU PUC-Rio e do PPGArq PUC-Rio

Resumo:

A proposta deste artigo é discutir o projeto e construção da Catedral de Brasília, sobretudo o que diz respeito à “cúpula da nave”, tendo como princípio o conceito forma-estrutura, que procura caracterizar a fusão e condensação expressiva entre a forma e a estrutura de certas edificações em uma única essência. Conceito formulado de modo transdisciplinar a partir de fundamentos teóricos da arquitetura e da engenharia estrutural e da relação intrínseca que envolve estas disciplinas no âmbito do projeto e da construção. Trata-se de uma discussão cujo corpus teórico é consubstanciado pelas proposições de Eduard Franz Sekler (1965, 1967) e Kenneth Frampton (1995) sobre tectônica e construção no sentido de aprofundar a análise no que diz respeito à expressão tectônica, que pode ser entendida também como experiência empática. Discussão que, mais especificamente, conta ainda com uma série de reflexões do engenheiro Joaquim Cardozo que, em conjunto com proposições de Adrian Forty, Sophia Telles, Edson Mahfuz e Miguel Wisnik, contribuem sobremaneira para circunscrever o objeto em questão. A partir deste recorte, pretende-se contribuir para o aprofundamento da discussão sobre a relação entre arquitetura e engenharia estrutural que atravessa a Arquitetura Moderna no Brasil, e que, a nosso ver, tem sido pouco considerada na sua historiografia e, portanto, na sua história.

Palavras-chave: Catedral de Brasília, forma-estrutura, atectônica, experiência empática.

Abstract:

The purpose in this essay is the discussion about the Brasília Cathedral project and construction, more specifically concerning its nave's dome, having the structure-form concept as its tenet, in order to characterize the expressive fusion and condensation of the building's form and structure in a single essence. Concept that was formulated having architectural and structural engineering theoretical foundations considered from a transdisciplinary perspective in addition to the intrinsic relation that engages both disciplines in the project and construction context. It's a discussion substantiated by Eduard Franz Sekler's (1965, 1967) and Kenneth Frampton's (1995) propositions about tectonics and construction as an intention to deepen the analysis on tectonic expression, that can also be perceived as empathetic experience. Discussion that counts, more specifically, with a series of remarks made by Joaquim Cardozo that, along with Adrian Forty, Sophia Telles, Edson Mahfuz and Miguel Wisnik, have contributed to circumscribe the object at stake. As of this contour, the intention here is to emphasize the relation between architecture and structural engineering that crosses Modern Architecture in Brazil and that, from our point of view, has been neglected in its historiography and, consequently, in its history.

Keywords: Brasília Cathedral, structure-form, atectonic, empathetic experience.



CATEDRAL DE BRASÍLIA: Forma-estrutura atectônica e experiência empática

Ao longo de sua carreira, Oscar Niemeyer projetou edificações que, além de mobilizarem a opinião pública, instigaram a crítica acadêmica em diversos campos do conhecimento: da arte à arquitetura, passando pela engenharia, tanto no que tange à tecnologia do concreto armado, às metodologias construtivas e seus desafios logísticos e tecnológicos, como também à engenharia estrutural, campo no qual figuras como Joaquim Cardozo, José Carlos Sussekind e Bruno Contarini certamente contribuíram sobremaneira para materialização de seus projetos.

A Igreja de São Francisco de Assis, na Pampulha, a Catedral de Brasília, a Universidade de Constantine e o Museu de Arte Contemporânea de Niterói, dentre outras, são edificações que traduzem a relação dialógica que permeia o trabalho conjunto do arquiteto com os engenheiros estruturais. Tratam-se de edificações nas quais, em conjunto com obras de outros arquitetos brasileiros, como Affonso Eduardo Reidy e João Batista Vilanova Artigas, entre outros, percebe-se a estrutura incorporada à forma arquitetônica. Configuração que mobilizou nossa pesquisa e que acabou por resultar na formulação do conceito forma-estrutura¹ que apropriado como estratégia projetual pode também operar como matriz de expressão tectônica. Perspectiva que informa a análise do projeto e da construção da Catedral de Brasília, sobretudo o que diz respeito à “cúpula da nave”, enfoque central desta discussão.

No ensaio *Structure, Construction, Tectonics*, Eduard Franz Sekler afirma que a expressão tectônica das edificações, além de se manifestar por vários meios, também pode ser deliberadamente pouco clara,

[...] deixando o observador maravilhado diante de vastas expansões de matéria pairando aparentemente sem esforço sobre um vazio [...]. Pode haver uma negação tectônica criada com o auxílio de formas atectônicas que tendem a perturbar o observador. (SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 94)

Na Catedral de Brasília é possível observar três objetos simbólicos sobre uma espécie de plataforma²: a “cúpula” do batistério, a torre sineira e a “cúpula da nave”. A materialização da “cúpula da nave” se dá por meio de uma matriz radial de repetição de um único elemento estrutural, que Oscar Niemeyer descreve como uma “coluna curva”, estratégia definida por Maria Alice Junqueira Bastos como uma unidade “espaçoestrutural” (BASTOS; ZEIN, 2015, p. 94). Estratégia que se mostrou coerente com a autocrítica de Niemeyer registrada no ensaio *Depoimento*, publicado em 1958, mesmo ano da elaboração do projeto, no qual indicava novas diretrizes para sua arquitetura, colocando em destaque que a expressão de seus edifícios não se daria mais por elementos secundários, mas pela “própria estrutura devidamente integrada na concepção plástica original” (NIEMEYER, 1958, p. 4). Anos depois, Niemeyer comentaria: “foi em Brasília que minha arquitetura se fez mais livre e rigorosa” (NIEMEYER, 1978, p. 42).

¹ Conceito elaborado no âmbito da pesquisa que vem sendo desenvolvida pelos autores desde o início de 2016, vinculada ao programa de pós-graduação em Arquitetura da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio.

² Mahfuz caracteriza três partidos básicos na obra de Niemeyer: o primeiro é o partido monolítico ou compacto, o segundo é baseado na composição elementar e o terceiro é o que decompõe o programa em átomos funcionais; além de salientar os oito elementos por ele utilizados que são: a barra horizontal, a torre, o prédio viga, o edifício circular de baixa altura, a marquise orgânica, a plataforma, as cascas de forma livre e as calotas e cúpulas semiesféricas (MAFHUZ, 2002, p. 283-287).



É nesta espécie de “paradoxo”, que conjuga liberdade com rigor, que localizamos uma das chaves para a compreensão e análise do projeto da Catedral no que diz respeito à expressão tectônica, uma vez que ali a distensão e a pureza da forma livre se distanciam de certo racionalismo construtivista, caracterizando estratégia projetual que dá origem a determinada expressão tectônica resultante da decisão de unir forma e estrutura em uma única essência.

Sophia Telles (1988) identifica na Arquitetura Moderna brasileira duas estratégias projetuais diferentes: o “desenho de formas” e o “desenho de estruturas”. Desenvolvendo o raciocínio, afirma que a noção de espaço presente no “desenho de formas de Niemeyer” e no “desenho de estruturas em São Paulo” é caracterizada pela maneira como os projetos “expressam sua relação com a superfície e o volume” (Telles, 1988, p. 72), e, de certa maneira, estabelece em quais termos se dá a legibilidade das edificações provenientes destas duas estratégias de projeto. Coloca o racionalismo e a legibilidade estrutural intrínsecos ao desenho de estruturas em contraposição à forma livre das superfícies e seu desenho de formas.

Telles configura abordagens distintas para o mesmo problema: a criação do espaço; porém, a categorização de projetos baseada no desenho de estruturas, em oposição ao desenho de formas, parece atribuir ao segundo certa depreciação no que diz respeito a pouca legibilidade das estruturas portantes e as implicações construtivas para sua realização. Linha de pensamento que denota tendência a retirar de projetos cuja geratriz encontra-se no “desenho de formas” certa possibilidade de expressão tectônica.

Neste sentido, Telles argumenta que Niemeyer não deposita na matéria “nenhuma carga expressiva assim como retira dela qualquer tensão estrutural, fazendo, ao contrário, que a presença de seu desenho consiga desviar, esconder e quase sublimar o esforço necessário à sua consecução” (TELLES, 1988, p. 79). Guilherme Wisnik, por sua vez, ressalta que, “determinante, porém invisível, o esforço técnico em Niemeyer cede espaço à aparição de formas leves, estáveis, surpreendentemente sustentáveis, e por isso tidas frequentemente como surrealistas”. (WISNIK, 2004. In: ANDREOLI; FORTY, 2004, p. 33).

A expressão tectônica na Catedral de Brasília, ou em outros projetos de Niemeyer, pode ser objeto de certa controvérsia, exemplificada aqui tanto pelas afirmações de Telles quanto de Wisnik. Considerando ambas as proposições, a expressão tectônica proveniente da fusão entre forma e estrutura portante na Catedral de Brasília perde força, pela impossibilidade de identificação da relação direta entre carga e suporte. Todavia, a afirmação de Sekler sobre a expressão tectônica deliberadamente negada, que deixa o observador maravilhado, pode iluminar a análise que se pretende fazer aqui. Pode-se considerar que a expressão tectônica tem gradações, que podem ir da ênfase à falta deliberada de clareza, e que pode se manifestar também por outros meios distanciando-se, portanto da transmissão de forças em direção aos apoios de modo direto e convencional. Sekler diferencia assim o que seriam as construções tectônicas e atectônicas, porém ambas sendo, por afirmação ou negação, modos de expressão tectônica.

A caracterização da qualidade atectônica foi formulada por Sekler em um ensaio sobre a casa Stoclet, projetada pelo arquiteto Joseph Hoffman e construída em 1911. Ali Sekler descreve como atectônica a maneira pela qual a interação expressiva de carga e suporte na arquitetura é visualmente negligenciada ou obscurecida (SEKLER, 1967, In: FRASER; HIBBARD; LEWINE, 1967, p. 230-231).

O que se percebe na “cúpula” da Catedral é que a expressão tectônica vem da construção de elementos portantes que geram a forma, mas que fogem a certo padrão racionalista. No entanto, a forma da “cúpula” possui qualidade estrutural intrínseca que tende a afetar o sujeito. Por um lado, pode-se não identificar a expressão tectônica de um conceito estrutural



plenamente inteligível a se dar pela legibilidade do caminho das forças, como, por exemplo, em um pórtico convencional. Por outro lado, manifesta-se no sujeito alguma perturbação por sua condição de flutuação sobre um espelho d'água. Característica que confere ao edifício qualidade atectônica, que se manifesta no sujeito como certa inquietação, que pode ser caracterizada como experiência empática. Atectonicidade e empatia são consequência da maneira como Niemeyer empregou o concreto neste e também em outros projetos.

Niemeyer não só compreendeu como explorou as possibilidades plásticas e estruturais do concreto armado, material que Adrian Forty caracteriza como essencialmente moderno (FORTY, 2013, p.34). Elaborou projetos cuja expressão tectônica seria também a expressão do desenvolvimento tecnológico desse material de construção.

Assim que comecei os estudos para a Catedral de Brasília, soube que meu projeto deveria, pela sua leveza, ilustrar a técnica contemporânea. [...] Com o concreto armado, que oferece infinitas possibilidades, sabia que podia ambicionar algo mais. (NIEMEYER, 1998, p. 2)

Ao “ambicionar algo mais”, Niemeyer estaria indo ao encontro de certa tradição da tectônica que, segundo Kenneth Frampton (1995), caracteriza-se por uma permanente busca de reinterpretar o velho e criar o novo. Fenômeno de inegável evolução, demonstrando que, apesar de sua significância variar de uma situação para outra, o que persiste ao longo do tempo é a representação e a apresentação do edifício como produto de um processo de construção. Para Frampton, a materialização é fruto de um processo construtivo que é essencial “à presença fenomenológica de um trabalho arquitetônico e sua literal incorporação na forma” (FRAMPTON, 1995, p. 375).

A presença da Catedral, especialmente da “cúpula da nave”, provoca inquietação justamente por sua condição de edifício construído, e não como desenho. Condição que é resultante de um processo construtivo, mesmo sendo de leitura complexa. Elementos estruturais, de um modo geral, não possuem significado *a priori*, exceto aqueles que remetem às suas funções estruturais intrínsecas. Quando o elemento estrutural extrapola sua função e se incorpora à arquitetura, ou seja, onde forma e estrutura se fundem em uma única essência, de matriz racionalista ou não, o conjunto se expressa tectonicamente, mesmo que seja por uma negação deliberada da legibilidade construtiva. Configura-se, assim, o que nos parece possível caracterizar como forma-estrutura atectônica.

Explicitada pelo caminho das forças ou mesmo pouco clara por sua negação, a expressão tectônica é também manifestação empática, na medida em que o sujeito interage com as edificações. Para ilustrar esse argumento Sekler cita Frank Lloyd Wright, quando explicou a forma da First Unitarian Church (Wisconsin, Estados Unidos), projeto de sua autoria inaugurado em 1951. Ao aludir às mãos unidas em oração, Wright estava ilustrando a expressão de “reverência e aspiração” e, por isso, não falava de estrutura, mas sim de tectônica (SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 94). Sekler, portanto, vincula a expressão tectônica não somente aos aspectos técnicos do processo construtivo mas também à configuração simbólica das edificações e à experiência empática.

Quando Niemeyer pensou uma catedral que podia “tal qual uma escultura monumental, traduzir uma ideia religiosa, uma prece” (NIEMEYER, 1968), e projetou sobre uma plataforma uma cobertura “circular, com colunas curvas se elevando em um gesto de súplica e de comunicação” (NIEMEYER, 1998), estava chamando atenção para a associação desses elementos a um gesto simbólico e, por isso, falava de tectônica, assim como Wright. A materialização dessa intenção no edifício construído proporciona ao sujeito uma experiência empática tanto no campo da fenomenologia como por sua configuração



simbólica e isso se traduz em expressão tectônica. Expressão que já se anunciava condensada nas poucas linhas do croquis de Niemeyer (Figura 1).

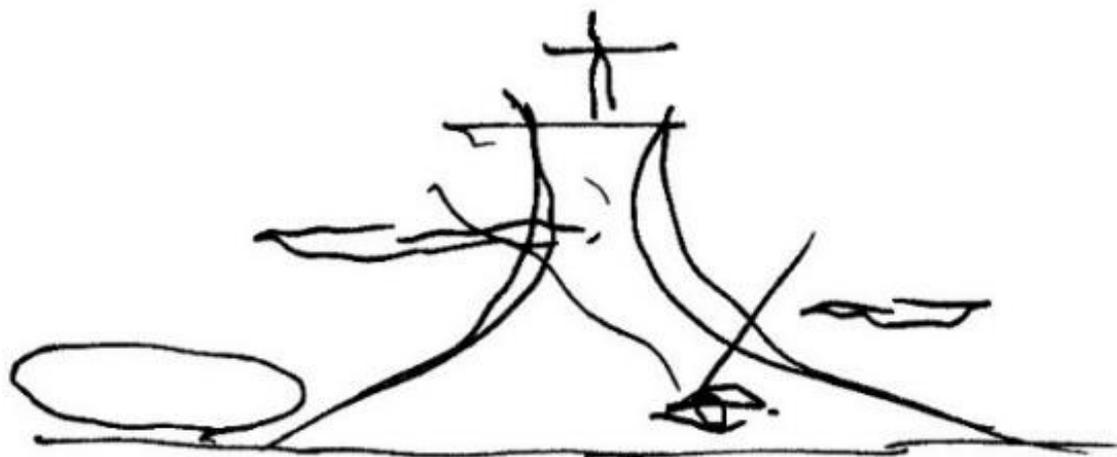


Figura 1: Catedral de Brasília, Brasil, 1958. Oscar Niemeyer.

Fonte: http://www.archdaily.com.br/br/01-14553/classicos-da-arquitetura-catedral-de-brasilia-oscar-niemeyer/14553_15286.

Essa é, portanto, uma outra chave que se propõe para a leitura do projeto e construção da Catedral de Brasília e também, possivelmente, de outros projetos de Niemeyer. Leitura que propõe uma análise do projeto a partir de três categorias: imposição da forma, legibilidade estrutural e materialidade estrutural. Categorias que procuram explicitar a configuração de atectonicidade intrinsecamente refletida na relação de empatia estabelecida entre o sujeito e o objeto construído.

Imposição da forma

Joaquim Cardozo, engenheiro estrutural responsável pelo projeto da Catedral de Brasília, em discurso dirigido a formandos da Faculdade de Arquitetura de Pernambuco, proferido em Olinda em 1962, criticava certa arquitetura moderna que se baseava então na “exibição de formas arbitrárias, de superfícies imaginadas e sentidas como simples e originais expressões estéticas” (CARDOZO, 1962. In: MACEDO; SOBREIRA, 2009, p. 150.). Contraopondo-se a essa criação arbitrária, Cardozo citava as construções de Brasília, onde havia “mais harmonia, mais sentido estético de escolha e de refinamento de proporção” (CARDOZO, 1962. In: MACEDO; SOBREIRA, 2009, p. 150).

Ao descrever o projeto da Catedral na revista *Habitat*, em 1958, Niemeyer se refere à pureza de sua forma e a relação da estrutura com a racionalidade e construtibilidade:

[...] uma solução compacta, que se apresentasse externamente de qualquer ângulo com a mesma pureza. Vem daí a forma circular adotada, que além de garantir essa característica, oferece à estrutura uma disposição geométrica, racional e construtiva. (NIEMEYER, 1958, p. 2)

Niemeyer parece justificar ali o rigor que associa à forma livre do projeto da Catedral, ampliando o campo de compreensão do termo racionalidade. Não seria mais a racionalidade



construtiva fundamentada pela ortogonalidade, mas sim pela repetição de um único elemento estrutural.

O projeto, inicialmente, se constituiria de 21 elementos dispostos radialmente sobre uma base circular de 70,00m de diâmetro, com o intercolúnio vedado por placas de vidro. A nave seria rebaixada em 3,00m em relação ao terreno natural, para que a entrada fosse feita por uma rampa a ser percorrida em ambiente de sombra. A chegada à nave seria anunciada pelos efeitos da luz penetrando as placas de vidro, em contraste com o ambiente sombrio da rampa.

No edifício construído observa-se um único elemento estrutural de seção transversal triangular, que varia suas dimensões conforme a altura de 31,00m e é repetido 16 vezes³ gerando a forma da Catedral. A repetição em geratriz radial desse elemento, sem significado *a priori*, é capaz de materializar um edifício como produto de uma ação precisa e poética (Figura 2).



Figura 2: Catedral de Brasília. Oscar Niemeyer.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/41/Cathedral_and_the_bell_tower.JPG

A estrutura é composta de elementos curvos que procuram o equilíbrio escorando-se uns nos outros, desafiando a gravidade. Um único elemento, gerador de forma e também de complexidade. Complexidade que tem na imposição da forma a sua origem, pois a curva desses elementos, descritos por Cardozo como arcobotantes invertidos (CARDOZO, 19--?. In: MACEDO; SOBREIRA, 2009, p. 179), instiga a compreensão de sua função estrutural. A sustentação de uma laje de cobertura poderia induzir a compreensão desses elementos como sendo colunas. No entanto, colunas são peças projetadas para resistir a esforços preponderantes de compressão, onde a flexão atua secundariamente. No caso da Catedral,

³ E não mais 21 vezes, como no projeto original.



o formato desses elementos implica em uma subversão conceitual, pois a relevância dos esforços de flexão que os solicitam é flagrante, o que implica uma incoerência estrutural funcional quanto à proposição de Niemeyer.

Cardozo enfrentou o problema determinado pela imposição da forma como inerente ao processo de elaboração do projeto estrutural. Entendia que se tratava de uma prerrogativa do projeto de arquitetura, que, por sua vez, determinava todo o problema inerente ao processo de elaboração do projeto estrutural, pois caso a estabilidade da construção fosse o único critério direcionador do projeto, a forma estética poderia ser comprometida pela forma estática, porque:

[...] o que existe de verdadeiro, é o ser a forma projetada pelo arquiteto uma forma estabelecida *a priori*, apenas *condicionada* a uma questão de estabilidade, mas nunca resultante *a posteriori* desta última. (CARDOZO, 1958. In: MACEDO; SOBREIRA, 2009, p. 136)

No texto em que relata a construção, ao descrever a concepção do sistema estrutural adotado, Cardozo resume a complexidade analítica que precisou enfrentar:

A estrutura da Catedral é constituída de seis elementos de forma estranhíssima, são verdadeiros arcobotantes, não mais escorando uma abóbada, mas escorando-se entre si: têm, ao rés do chão, um anel de tração, e, na função que fazem, ao alto, um anel de compressão, que fica escondido dentro dos próprios elementos construtivos da estrutura. Estes arcobotantes sustentam ao alto uma laje de cobertura de forma circular com 16 metros de diâmetro, assim como sustentarão lateralmente grande esquadria de vidros; a forma da catedral está teoricamente envolvida por uma série de superfícies tangentes: tronco de cone, zona de pseudoesfera, duas zonas de toxo (internas) e, na parte mais alta, uma zona de hiperboloide de uma folha, e de revolução. (CARDOZO, 1958. In: MACEDO; SOBREIRA, 2009, p. 136)

Consta que não restaram registros do trabalho elaborado por Cardozo (VASCONCELOS, 1992, p. 86)⁴. O projeto estrutural da Catedral pode ter se perdido, restando apenas a obra construída como testemunha de seu trabalho. Todavia, este fato não impede a realização de análises *a posteriori*, que servem como comprovação de sua inventividade, principalmente no que tange à criação de um modelo abstrato de análise estrutural que venha a representar a estrutura construída. Ponto crucial na interação entre os projetos de estrutura e arquitetura e seu desenvolvimento.

Nas palavras de Cardozo o modelo está exposto: no chão um anel de tração e no topo um anel de compressão servindo de escora aos arcobotantes invertidos que, na extremidade superior, sustentam uma laje de cobertura e lateralmente sustentam as esquadrias. A simplicidade do modelo idealizado comprova sua engenhosidade, porém não é possível extrair do texto como este modelo seria analisado estruturalmente, segundo as teorias estruturais conhecidas e utilizadas na época em que foi concebido.

Cardozo pode ter imaginado um modelo estrutural que se aproximasse de soluções conhecidas das teorias clássicas da hiperestática na época em que elaborou o projeto. Uma consulta ao engenheiro e professor emérito da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal da Bahia, Antônio Carlos dos Reis Laranjeiras, sobre um possível modelo utilizado por Cardozo para o enfrentamento do problema, resultou na seguinte resposta:

⁴ Aqui ele se refere a “seis elementos de forma estranhíssima”, quando na verdade são dezesseis.



O modelo escolhido pode ter sido o de um simples pórtico plano, que se repetiria oito vezes, constituído por duas hastes curvas, opostas, e o anel superior como uma haste horizontal, interligando as hastes opostas. As duas hastes inclinadas seriam articuladas na extremidade inferior. A extremidade inferior teria vínculos, impedindo seu deslocamento horizontal e vertical. Nesse pórtico, as cargas gravitacionais seriam simétricas e iguais, enquanto a ação do vento seria um carregamento assimétrico, horizontal, aplicado nas hastes. As hastes inclinadas seriam dimensionadas para as cargas gravitacionais e vento, (LARANJEIRAS, 2017)

Tal modelo pode, de maneira sintética, ser representado a partir do próprio croquis de Niemeyer (Figura 3).

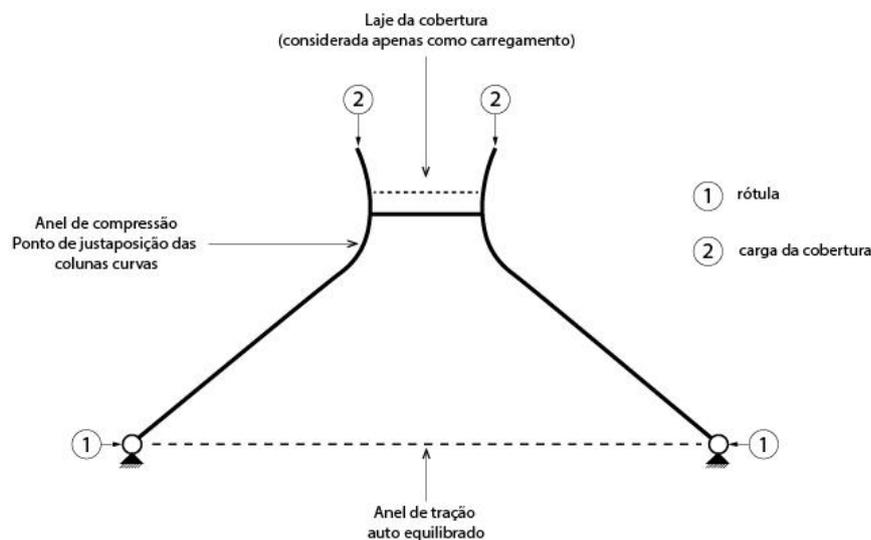


Figura 3: Catedral de Brasília. Esquema de pórtico plano idealizado sobre croquis de Niemeyer.
Fonte: Antônio Carlos dos Reis Laranjeiras.

A escolha de um modelo simplificado seria a chave de solução do problema e estaria de acordo com as proposições de Pier Luigi Nervi, engenheiro contemporâneo de Cardozo, que, segundo Ada Louise Huxtable, considerava que:

O estágio formativo do design, durante o qual as características principais são definidas e suas qualidades e defeitos são determinados de uma vez por todas (assim como as características de um organismo são claramente definidas no embrião), não pode fazer uso da teoria estrutural e deve se basear na simplificação esquemática. (HUXTABLE, 1960, p. 17)

Quanto à abordagem na criação de um modelo estrutural, Cardozo e Nervi possivelmente compreendiam a engenharia estrutural da mesma maneira, apesar de haver uma distinção fundamental no trabalho de ambos. Para Nervi, a melhor forma estética viria de uma síntese com a melhor forma estática, enquanto Cardozo aceitava as implicações provenientes da imposição da forma, como teve oportunidade de expressar no ensaio de 1958, *Forma Estática-Forma Estética*; não obstante, é possível aproximar o trabalho de ambos no que diz respeito à simplificação inicial de um modelo de análise.

Recentemente, modelagens computacionais de estruturas espaciais e não apenas pórticos planos, como fez Cardozo, têm sido propostas para investigar o comportamento da estrutura



da Catedral. Essas modelagens servem também para comparar os resultados obtidos pelos métodos de cálculo atuais com os resultados provenientes do modelo simplificado idealizado por Cardozo, como no trabalho desenvolvido por Pessoa e Clímaco (2002)⁵.

Após a aplicação do carregamento e o processamento computacional do cálculo de esforços, os resultados obtidos nas modelagens recentes comprovaram a provável idealização de Cardozo. O anel superior mostra-se submetido a tensões de compressão e o anel inferior submetido a tensões de tração (PESSOA; CLÍMACO, 2002, p. 23) (Figura 4).

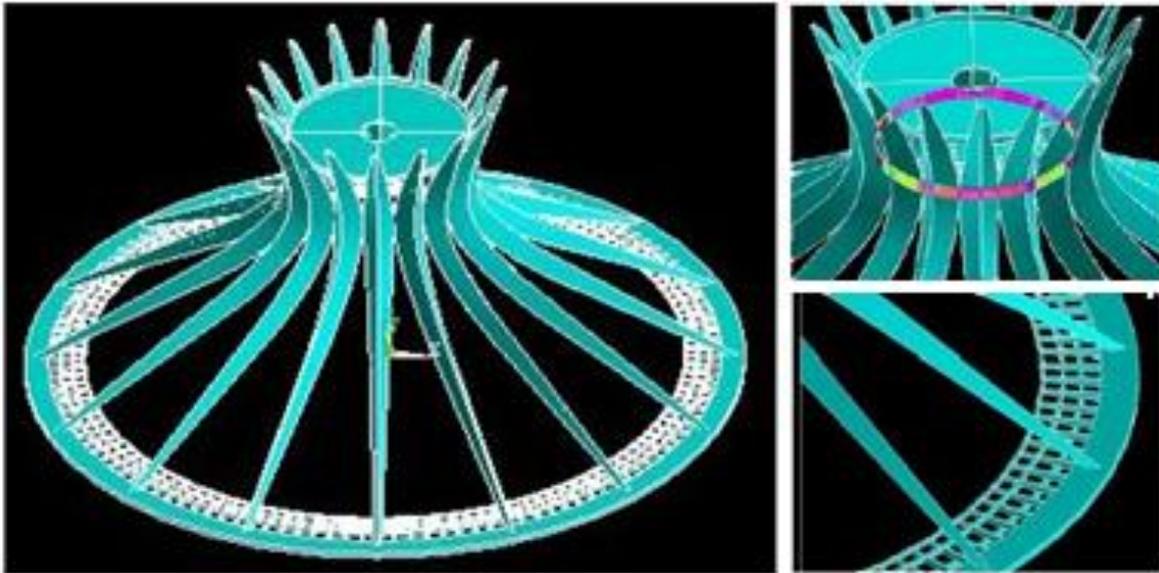


Figura 4: Catedral de Brasília.
Detalhes dos anéis de tração e compressão em modelo computacional.
Fonte: PESSOA; CLÍMACO, 2002.

A estrutura construída, bem como a literatura especializada também fornecem dados adicionais à análise do projeto. A grelha que compõe o anel inferior de tração é fechada por lajes nas faces superior e inferior das vigas radiais e o conjunto se apoia em pilares-parede, que conformam os limites do subsolo⁶.

Do ponto de vista funcional surge a principal contradição proveniente da imposição da forma. Os arcobotantes das construções medievais, com os quais Cardozo chega a fazer uma analogia, tinham como função estrutural equilibrar as forças de tração provenientes das

⁵ Conforme Pessoa e Clímaco (2002, p.23): para o desenvolvimento desse trabalho, por não haver registros do projeto estrutural da Catedral, foi necessário realizar uma pesquisa junto ao arquivo histórico da NOVACAP, Companhia Urbanizadora da Nova Capital, para obtenção dos dados disponíveis do projeto de arquitetura e da execução da obra, bem como entrevistar o arquiteto Carlos Magalhães, que participou da construção de Brasília e deu depoimento escrito aos autores. Utilizando sofisticados programas de análise estrutural, como SAP2000 e ANSYS, os engenheiros desenvolveram um modelo que, aproximadamente, reproduz o edifício com todas as atribuições relativas às propriedades geométricas, mecânicas e materiais correspondentes a cada elemento estrutural.

⁶ Conforme Vasconcelos (1992, p. 104-106): os pilares do subsolo estão regularmente espaçados radialmente a cada 6,00m, salvo na região das três entradas subterrâneas onde esse espaçamento é duplicado. Os pilares foram projetados para receber apenas cargas de compressão axiais às seções transversais, ou seja, os esforços de tração são auto equilibrados na própria grelha e não são transmitidos aos pilares do subsolo. Para a materialização desse sistema foi necessário providenciar a colocação de placas de neoprene, medindo 0,50m x 0,50m x 0,025m, posicionadas entre o fundo do anel inferior e o topo dos pilares-parede, de modo a garantir a transmissão apenas de esforços axiais de compressão, tanto para os pilares quanto para os tubulões que constituem as fundações.



construções de cúpulas e telhados, que atuavam nas paredes portantes das edificações. Para cumprir essa função, eram construídos com a forma arqueada, comprovadamente eficiente para suportar as forças de compressão que neles se desenvolviam como reação às forças de tração provenientes das cúpulas (Figuras 5).



Figura 5: Catedral de Brasília. Arcobotantes invertidos.

Fonte: <https://pixabay.com/pt/catedral-metropolitana-de-bras%C3%ADlia-1205602/>.

Catedral de York Minster, Inglaterra. Arcobotantes tradicionais.

Fonte: <http://www.historyasstories.com/wp-content/uploads/2015/01/H1.-Close-up-flying-buttresses-York-Minster.jpg>.

As colunas curvas de Niemeyer têm, entretanto, sua função subvertida. Uma vez que, devido à forma curva invertida, à distância entre os apoios e à direção de incidência das cargas, estão submetidas a esforços preponderantes de flexão, como é possível constatar nos diagramas de momentos fletores e de esforços cortantes provenientes de modelagem computacional, deixam de funcionar como colunas. Os resultados atuais confirmam a hipótese do comportamento estrutural inusitado antecipada por Joaquim Cardozo.

O que se deduz dessa análise é que a imposição da forma influencia o comportamento da estrutura, e que, apesar de Cardozo inicialmente associar as “colunas curvas” de Niemeyer a arcobotantes invertidos, estas, na verdade, se comportam como vigas. Entretanto, no edifício da Catedral, independentemente do comportamento ou função, tudo é estrutura, como queria Niemeyer e como possibilitou Cardozo, e ali a imposição da forma, longe de ser limite se mostrou como uma fronteira que, ultrapassada, permitiu sua materialização. Materialização que possibilitaria a experiência empática pretendida por Niemeyer.

Legibilidade estrutural

A forma elaborada por Niemeyer para a “cúpula da nave” da Catedral, aqui caracterizada como forma-estrutura atectônica, obrigou Cardozo a formular um sistema estrutural que, apesar de fundamentado nos preceitos da simplicidade estática, pela provável associação daquela estrutura espacial a um conjunto de pórticos planos, escamoteia sua imediata compreensão. A legibilidade estrutural baseada no caminho racional das forças desaparece deixando ao sujeito incógnitas e mistérios que dificultam sua leitura, mas por outro lado instigam a imaginação. Ao se referir ao trabalho de Eduardo Torroja e de Nervi, Sekler comenta:

O trabalho de Torroja e Nervi é muito adequado para nos lembrar da simples verdade de que a expressão tectônica poderosa não precisa estar vinculada



a um sistema que remeta à interação entre horizontalidade e verticalidade relacionada ao pórtico. (SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 94)

Possivelmente, ao associar a estrutura da “cúpula” da Catedral, que é uma estrutura espacial, a um conjunto de pórticos planos, cujo modelo se distanciava dos pórticos clássicos, Cardozo pode ter feito uma transposição analógica que vai na direção do entendimento de Sekler, abandonando a interação entre horizontalidade e verticalidade. Na realidade, o fato do caminho das forças não ser observável em uma apreensão imediata não retira do objeto construído sua expressão tectônica. É possível observar, portanto, que mesmo uma forma atectônica pode se expressar tectonicamente.

A legibilidade estrutural da “cúpula” pode se dar de modos diferentes, dependendo se é apreendida pelo lado externo ou interno do edifício. No lado externo, a base, constituída pelo anel de tração que recebe os esforços das “colunas curvas”, fica fora do campo de visibilidade do sujeito, dando a impressão que estas flutuam, imprimindo ao edifício o efeito de leveza pretendido por Niemeyer. O apoio superior configurado no anel de compressão também não é visível como tal, por estar situado no ponto de tangência entre os pilares, levando o sujeito a acreditar que estes apenas se tocam naquele trecho para em seguida voltarem a se separar, providenciando, um pouco acima desse ponto, o necessário apoio para a laje da cobertura que sustenta a cruz.

Já o interior da “nave” se constitui de um espaço livre de elementos estruturais, sendo perceptíveis apenas os elementos opacos e translúcidos do teto, agora não mais como elementos estruturais e sim como elementos de uma cobertura. A legibilidade do espaço delimitado por uma delgada cobertura⁷, não coincide necessariamente com a legibilidade estrutural, pois ali todos os elementos, vidro e “faixas” curvas, parecem flutuar. Além de cobrirem o espaço de modo praticamente coplanar, dificultando a percepção de que apenas alguns são estruturais, a armação metálica das esquadrias e os vidros nelas fixados podem possivelmente induzir a uma leitura em que as colunas curvas formam com eles um único conjunto. A sensação de leveza induz à obliteração da estrutura portante.

Os anéis de tração na base e de compressão no topo também são igualmente ilegíveis estruturalmente, a partir do interior do edifício. O que se percebe é apenas a potência de criação de um enorme espaço interno a partir da construção de uma cobertura, sem configuração explicitamente estrutural, que não parece descarregar seu peso nas paredes da periferia, ao contrário, transmite a sensação de flutuação intencionada por Niemeyer.

Quanto à legibilidade estrutural, portanto, a “cúpula” da Catedral de Brasília é ambígua. Externamente os elementos que se elevam em curva podem ser lidos estruturalmente, mesmo que pareçam flutuar, pois é nítida sua condição de nervura e de suporte para a laje da cobertura. Internamente, entretanto, a estrutura, também flutuante, é pouco perceptível como estrutura funcional, de característica portante.

Ainda nessa categoria de análise está a questão do esforço técnico que Wisnik, conforme mencionado anteriormente, sugere ser determinante, porém invisível, em inúmeros projetos de Niemeyer. Esforço técnico que, no entanto, deveria ser entendido em toda a abrangência do termo, onde, entre outros aspectos, estariam incluídos o projeto estrutural que confere a condição de equilíbrio surpreendente, e a legibilidade estrutural dela proveniente, além do próprio processo construtivo. O esforço técnico, em projetos ancorados no princípio da forma-estrutura, neste caso forma-estrutura atectônica, começa no projeto da estrutura portante, que é resultado da imposição da forma.

⁷ Característica da arquitetura da denominada Escola Carioca que Forty descreve como “delgadas superfícies curvas de concreto e uma negação de formas ortogonais” (FORTY, 2013, p. 124).



Essa imposição dará origem, por meio de uma operação formal, à criação de um modelo estrutural fundamentado pelas propriedades físicas e mecânicas dos materiais que o constituem. A partir daí determina um processo construtivo específico, configurando, portanto, uma interdependência existente nas etapas do processo, e todo esse conjunto se traduz em esforço técnico. A materialização da estrutura é também a materialização desse esforço técnico, que, portanto, não pode ser invisível. No caso da “cúpula da nave” da Catedral, esse esforço técnico se mostra por meio da legibilidade estrutural que se dá no seu exterior, ficando o interior reservado para a experiência das formas leves e surpreendentemente sustentáveis mencionadas por Wisnik.

Como dito anteriormente, Telles argumenta que Niemeyer não deposita na matéria “nenhuma carga expressiva assim como retira dela qualquer tensão estrutural” (TELLES, 1988, p. 79). O fato da legibilidade estrutural, que se dá no objeto construído e, portanto, na matéria, não estar claramente amparada na apreensão visual do caminho das forças, não implica que as tensões estruturais sejam retiradas e o esforço necessário à sua consecução seja sublimado, como alega Telles⁸. Estão todos materializados na construção.

A utilização do concreto aparente na Catedral, material conhecido por suas propriedades estruturais, e, por isso, associado a uma legibilidade estrutural a ele intrínseca, já seria uma decisão tectônica específica vinculada à expressão da técnica. No entanto, a pintura branca, fruto de intervenção realizada em 1987, retira das colunas curvas sua potência estrutural e, conseqüentemente, sua legibilidade imediata enquanto elementos de uma estrutura portante, sobretudo internamente. Ainda assim, o esforço técnico se reflete na experiência empática vivida pelo sujeito sob a “cúpula” da Catedral que parece flutuar.

Materialidade estrutural

Niemeyer compreendeu como poucos o potencial do concreto armado como material estrutural. A representação arquitetônica da monoliticidade por meio da utilização do concreto armado, que, segundo Forty, confere ao material uma das características da modernidade (FORTY, 2013, p. 34), foi por ele explorada em alguns projetos que realizou no início de sua carreira, como a Igreja da Pampulha. Todavia, foi em Brasília que explorou tal propriedade na direção do seu limite. Em um ensaio sobre a forma, referindo-se às possibilidades do material, Niemeyer escreveu que “não podia compreender como, na época do concreto armado que tudo oferecia, a arquitetura contemporânea permanecesse com um vocabulário frio e repetido, incapaz de exprimir aquele sistema em toda a sua grandeza e plenitude” (NIEMEYER, 1978, p. 20).

A forma plástica evoluiu na arquitetura em função das novas técnicas e dos novos materiais que lhe dão aspectos diferentes e inovadores. Primeiro, foram as formas robustas que as construções em pedra e argila obrigavam; depois, surgiram as abóbadas, os arcos e as ogivas, os vãos imensos, as formas livres e inesperadas que o concreto permite e os temas modernos solicitam. (NIEMEYER, 1978, p. 16)

⁸ De fato, a configuração estrutural implementada pela construção estará sempre presente na matéria construída, pois não há construção sem estrutura, mesmo que essa se configure de maneira empírica, como nas construções da antiguidade até meados do século XVIII. Qualquer objeto construído estará submetido, pelo menos, à força da gravidade. A possibilidade desse objeto se manter elevado do solo, e em equilíbrio, indica que as forças que ali atuam caminham em direção ao centro de gravidade da terra através de sua matéria constituinte. Tais forças podem caminhar por massas, planos ou por elementos lineares, em objetos construídos com diferentes materiais, cujas características físicas e mecânicas determinam suas resistências a essas forças, configurando tipologias estruturais distintas. Não há, portanto, construção sem estrutura.



Figura 6: Catedral de Brasília. Concreto aparente, foto de 1970.

Fonte: <http://www.archdaily.com.br/br/01-14553/classicos-da-arquitetura-catedral-de-brasilia-oscar-niemeyer>.

Catedral de Brasília. Pintura branca, foto de depois de 1987.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Catedral_BSB_lomd_01.jpg.

A “cúpula” da Catedral em concreto aparente, de certa maneira, se coloca no espaço como a versão em negativo daquela pintada de branco. A primeira informa a potência da implementação do conceito forma-estrutura como matriz de expressão tectônica, proveniente da interação entre arquitetura e engenharia estrutural, onde o concreto aparente comunica a presença da técnica. A segunda estará mais próxima da esfera simbólica, onde a característica escultórica pretendida por Niemeyer pode estar mais evidente afastando a noção de construção tão presente no concreto aparente.

De qualquer maneira, em ambas as configurações, a estrutura da “cúpula da nave” da Catedral se manifesta como matriz de expressão tectônica, seja pela construção e/ou pela experiência empática. Além disso a estrutura exposta e incorporada na arquitetura, em qualquer das duas versões, mantém visível a lógica moldável e indivisível do concreto armado (WISNIK, 2004. In: ANDREOLI; FORTY, p. 30), propriedade monolítica de sua materialidade, apropriada em inúmeros projetos por Niemeyer.

Brandão extrai do ensaio de Heidegger *A Origem da Obra de Arte* o que diferencia o objeto artístico do objeto instrumental. Para Heidegger, segundo Brandão, a matéria tende a desaparecer no objeto instrumental onde, por exemplo, “a pedra desaparece no calçamento, o concreto desaparece na laje, o aço desaparece na tesoura [...]” (BRANDÃO, 2000, p. 3). Já na obra de arte a matéria se revela, e é assim que Niemeyer lida com o concreto, quando extrai do material toda a potência de sua plasticidade unida à sua capacidade resistente como material estrutural.

Considerações Finais

O princípio forma-estrutura que caracteriza a “cúpula da nave” da Catedral de Brasília pode ser considerado uma síntese potente do trabalho conjunto de Niemeyer e Cardozo. Síntese cuja geratriz se encontra no princípio forma-estrutura que nesta obra, especificamente, é caracterizado como forma-estrutura atectônica, cuja potência expressiva mobiliza corpos e mentes a partir dos âmbitos material e simbólico.

Espera-se, por meio desta discussão, contribuir para a ampliação do campo relacionado ao conceito tectônica, além de colocar em pauta o tema do atravessamento transdisciplinar entre arquitetura e engenharia estrutural, no sentido de estimular uma revisão historiográfica



que venha recuperar para a história a importância da contribuição da engenharia estrutural no desenvolvimento da Arquitetura Moderna Brasileira.

Referências

- BASTOS, M. A. J.; ZEIN, R. V. **Brasil: Arquiteturas após 1950**. São Paulo: Perspectiva, 2015. 429 p.
- BRANDÃO, C. A. L. Linguagem e Arquitetura: O problema do conceito. **Revista Interpretar**, Belo Horizonte, v.1, nº1, novembro, 2000. Disponível em: <<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents>>. Acesso em: 05 mar. 2018. CARDOSO, J. A construção de Joaília. In: MACEDO, D. M.; SOBREIRA, F. J. A. (Org.). **Forma Estática-Forma Estética: ensaios de Joaquim Cardozo sobre arquitetura e engenharia**. Brasília: Edições Câmara, 2009, p. 177-179.
- _____. Forma Estática-Forma Estética. In: MACEDO, D. M.; SOBREIRA, F. J. A. (Org.). **Forma Estática-Forma Estética: ensaios de Joaquim Cardozo sobre arquitetura e engenharia**. Brasília: Edições Câmara, 2009, p. 135-136.
- _____. Algumas ideias novas sobre Arquitetura. In: MACEDO, D. M.; SOBREIRA, F. J. A. (Org.). **Forma Estática-Forma Estética: ensaios de Joaquim Cardozo sobre arquitetura e engenharia**. Brasília: Edições Câmara, 2009, p. 147-152.
- FRAMPTON, K. **Studies in tectonic culture: The poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture**. Chicago: John Cava, 1995. 430 p.
- FORTY, A. **Concrete and Culture: A material history**. London: Reaktion Books, 2013. 335 p.
- HUXTABLE, A. L. **Pier Luigi Nervi**. New York: George Braziller, 1960. 128 p.
- LARANJEIRAS, A. C. R. **Modelo abstrato de análise estrutural**. Correspondência eletrônica com Monica Cavalcante de Aguiar recebida por <monica@justinoemonica.com.br> em 18 set. 2017.
- MAHFUZ, E. O clássico, o poético e o erótico: método, contexto e programa na obra de Oscar Niemeyer. In: GUERRA, A. (Org.). **Textos fundamentais sobre história da arquitetura moderna brasileira**: v.2. São Paulo: Romano Guerra, 2010. p. 279-298.
- NIEMEYER, O. **A forma na arquitetura**. Rio de Janeiro: Avenir, 1978. 54 p.
- _____. **Oscar Niemeyer**. Cadernos do Arquiteto: Brasília/Alvorada, Brasília/Catedral. São Paulo: Instituto Lina Bo e P. M. Bardi/ Fundação Memorial da América Latina/ Fundação Oscar Niemeyer, Garilli, 1998, n.p.
- _____. Depoimento. **Revista Módulo**, n. 9, p. 3-6, fev. 1958.
- _____. Catedral de Brasília. **Revista Habitat**, n. 51, p.2-3, nov./dez. 1958.
- NIEMEYER, O.; SUSSEKIND, J. C. **Conversa de amigos: correspondência entre Oscar Niemeyer e José Carlos Sussekind**. Rio de Janeiro: Revan, 2002. 252 p.
- PESSOA, D. F.; CLÍMACO, J. T. S. Catedral de Brasília: Histórico de Projeto /Execução e Análise da Estrutura. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, v.2, n.2, p. 21-30, jul. 2002.
- SEKLER, E. F. Structure, Construction, Tectonics. In: KEPES, G. (Org.). **Structure in Art and in Science**. New York. George Braziller, 1965, p. 89-95.
- _____. The Stoclet House by Joseph Hoffmann. In: FRASER, D.; HIBBARD, H. LEWINE, M. J. **Essays in the History of Architecture Presented to Rudolf Wittkower**. London: Phaidon, 1967, p. 229-244.
- TELLES, S. S. Oscar Niemeyer, Técnica e Forma. In: GUERRA, A. (Org.). **Textos fundamentais sobre história da arquitetura moderna brasileira**: v.1. São Paulo: Romano Guerra, 2010, p. 251-262.
- _____. A Arquitetura Modernista. Um espaço sem lugar. In: GUERRA, A. (Org.). **Textos fundamentais sobre história da arquitetura moderna brasileira**: v.1. São Paulo: Romano Guerra, 2010, p. 23-34.

13º Seminário
do_co,mo,mo_
brasil

Salvador – BA
7 a 10 de outubro de 2019



_____. **Arquitetura Moderna no Brasil: O desenho da superfície.** São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 1988. Dissertação de Mestrado.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil: Recordes-Realizações-História.** São Paulo: Pini, 1992. 277 p.

WISNIK, G. Modernidade Congênita. In: ANDREOLI, E.; FORTY, A. (Org.). **Arquitetura Moderna Brasileira.** London: Phaidon, 2004. p. 20-55.