

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ LUIZ SILVA SANTOS

**A INFLUÊNCIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO NO DESENVOLVIMENTO DE
TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS: CASO DA CATEDRAL DE BRASÍLIA**

Goiânia
2022

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: André Luiz Silva Santos

Matrícula: 20181011050111

Título do Trabalho: A INFLUÊNCIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO NO DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS: CASO DA CATEDRAL DE BRASÍLIA.

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

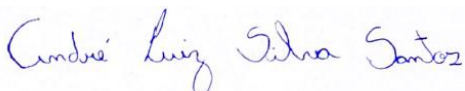
O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia-GO, 09 / 01 / 2023.

Local

Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

ANDRÉ LUIZ SILVA SANTOS

**A INFLUÊNCIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO NO DESENVOLVIMENTO DE
TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS: CASO DA CATEDRAL DE BRASÍLIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Civil, do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus
Goiânia, como parte dos requisitos necessários para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Dr. Fábio de Souza

Goiânia
2022

Sa596a Santos, André Luiz Silva.

A influência do projeto arquitetônico no desenvolvimento de tecnologias construtivas: caso da Catedral de Brasília / André Luiz Silva Santos. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2022.
93 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Fábio de Souza.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

1. Projetos arquitetônicos. 2. Tecnologias construtivas. 3. Catedral de Brasília. I. Souza, Fábio de (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. III. Título.

CDD 720

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

André Luiz Silva Santos

A INFLUÊNCIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO NO DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS: CASO DA CATEDRAL DE BRASÍLIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos quesitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Membros da banca: Dr. Fábio de Souza (orientador), Dra. Cynthia Alexandra Rodrigues (co-orientadora), Me. Marcela Leão Domiciano, Me Vinícius Carrião dos Santos.

Aprovado em 15 de Dezembro de 2022.

Documento assinado eletronicamente por:

- Marcela Leao Domiciano, PROF ENS BAS TEC TECNOLÓGICO-SUBSTITUTO, em 15/12/2022 20:07:57.
- Cynthia Alexandra Rodrigues, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 15/12/2022 17:39:41.
- Fabio de Souza, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 15/12/2022 17:37:02.
- Vinicius Carriao dos Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 15/12/2022 17:32:47.
- Matilde Batista Melo, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - GYN-CCBEC, em 15/12/2022 17:28:08.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 15/12/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 357579

Código de Autenticação: 13d8192635



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
(62) 3227-2736 (ramal: 2736)

DEDICATÓRIA

A Deus em primeiro lugar, minha família, em especial a minha mãe, Rosane da Silva Santos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar estes agradecimentos primeiro, a Deus, por me capacitar e trazer essa vitória para a minha vida. Em segundo lugar aos meus pais Rosane e Luiz Paulino, que não mediram esforços para que eu conseguisse ter a oportunidade de cursar esta graduação.

Um agradecimento especial também aos meus irmãos e familiares que me apoiavam para nunca desistir de ter os estudos.

Um agradecimento especial a todos os professores que fizeram parte e contribuíram para o meu aprendizado durante a graduação, especialmente ao meu orientador, Fabio de Souza, que me ajudou bastante durante a orientação, e também por toda ajuda e determinação tanto para o início, quanto para a conclusão desse trabalho.

A Construservice e a FGR Incorporações por terem aberto as portas do mercado de trabalho e, ter me preparado para seguir trabalhando na área da engenharia, um agradecimento especial aos Engenheiros Raimundo Nonato e Saulo Filho, pela confiança depositada em mim e por todo o suporte e conhecimento que me passaram contribuindo para minha formação profissional;

Ao Engenheiro Ricardo Melo, pelas oportunidades e a confiança depositada em mim, por todo o conhecimento passado que contribuiu para o meu desenvolvimento.

Um agradecimento aos meus colegas de turma e em especial aos meus amigos Thales Pasqualetto, Wanessa Lucas, Alexandre Marques vocês foram de total importância para a conclusão desta graduação, graças aos diversos trabalhos e a confiança depositada.

Um agradecimento especial a Mariza Pesconi, que foi um grande apoio tanto na parte emocional como espiritual com suas orações e palavras de conforto.

E a todos que de forma direta ou indireta que participaram da minha trajetória nesta instituição maravilhosa que é o IFG.

“Tudo que merece ser feito, merece ser bem
feito. Nada louvável se obtém sem esforço.”
(Johnny De' Carli)

RESUMO

O presente trabalho acadêmico visou um estudo acerca da influência da Arquitetura no desenvolvimento de novas tecnologias na Engenharia, enfatizando a importância dos projetos arquitetônicos na criação de novas tecnologias, e a execução de grandes obras de arte, que consolidaram a construção de edificações monumentais ao longo dos séculos. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar as tecnologias aplicadas nos sistemas construtivos desenvolvidas pela Engenharia, ao longo da história, pontuando influências reversas da Arquitetura sobre as referidas tecnologias, empregando uma metodologia qualitativa de estudo de caso, utilizando a Catedral Metropolitana Nossa Senhora Aparecida, mais conhecida como Catedral de Brasília, de autoria de Oscar Niemeyer, como objeto de estudo. Logo, a Arquitetura Brasileira também foi analisada por base nos princípios do racionalismo estrutural, sob forte influência do período modernista. Utilizando-se os exemplos de Lúcio Costa e Niemeyer puderam ser analisadas as influências dos projetos e o legado deixado por eles à produção de tecnologias na engenharia e arquitetura brasileira desde então. Acompanham o texto escrito ilustrações que, além de seu caráter complementar, são imprescindíveis para a compreensão deste trabalho.

Palavras-chave: Tecnologias Construtivas, Catedral de Brasília, Influência do Projeto Arquitetônico.

ABSTRACT

This academic work aimed to study the influence of Architecture in the development of new technologies in Engineering, emphasizing the importance of architectural projects in the creation of new technologies, and the execution of great works of art, which consolidated the construction of monumental buildings over the centuries. Thus, the present study aimed at analyzing the technologies applied to the constructive systems developed by Engineering, throughout history, pointing out the reverse influences of Architecture on the referred technologies, employing a qualitative case study methodology, using the Metropolitan Cathedral Nossa Senhora Aparecida, better known as the Brasília Cathedral, designed by Oscar Niemeyer, as the study object. Therefore, the Brazilian architecture was also analyzed based on the principles of structural rationalism, under the strong influence of the modernist period. Using the examples of Lúcio Costa and Niemeyer, the influences of their projects and the legacy left by them to the production of technologies in Brazilian engineering and architecture since then could be analyzed. The written text is accompanied by illustrations that, besides their complementary character, are essential for the understanding of this work.

Key-words: Building Technologies, Cathedral of Brasília, Influence of the architectural project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista superior de Stonehenge.....	18
Figura 2 - Ilustração de como as pedras das pirâmides eram transportadas	19
Figura 3 - Partenon construído em 447-432 a.C. no Governo de Péricles	21
Figura 4 - Ilustração da reconstrução da Acrópole de Atenas	22
Figura 5 - Pozolana de origem vulcânica	23
Figura 6 - Aqueduto Romano revestido com Pozolana	24
Figura 7 - Coliseu romano revestido concreto com Pozolana	24
Figura 8 - Coliseu (80 d.C.): superestrutura e fundações	25
Figura 9 - Peristilo da Casa do Fauno, em Pompeia	26
Figura 10 - Planta da Abadia de Cluny	27
Figura 11 - Arquitetura Medieval: Arcobotante	28
Figura 12 - Forças atuante no arco	29
Figura 13 - Abóbada de Aresta em uma catedral gótica	29
Figura 14 - Catedral de Milão, início da construção em 1386.....	30
Figura 15 - Basílica de São Pedro, 1506-1626.....	32
Figura 16 - A ponte do ferro sobre o rio Severn, Inglaterra	35
Figura 17 - Imagem do Palácio de Cristal	36
Figura 18 - Construção da Torre Eiffel ao longo de 2 anos	37
Figura 19 - Projeto Final do Teatro Municipal do Rio de Janeiro (RJ)	39
Figura 20 - Vista da Escola Nacional de Belas artes, a esquerda Teatro Municipal	41
Figura 21 - Teatro des Champs-Élysées em Paris.....	42
Figura 22 - Projeto do Antigo Ministério da Educação e da Saúde RJ	46
Figura 23 - Palácio Gustavo Capanema, antigo prédio do Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro.....	47
Figura 24 - Pilotis no ambiente interno no Palácio Gustavo Capanema.....	48
Figura 25 - Projeto que venceu o concurso para construção da nova capital.....	49
Figura 26 - Esplanada dos ministérios em construção	50
Figura 27 - Oscar Niemeyer e a catedral metropolitana de Brasília	51
Figura 28 - Planta e elevação da Catedral, desenhos técnicos iniciais	53
Figura 29 - Catedral Metropolitana de Nossa Senhora Aparecida	55
Figura 30 - Detalhes da Construção do Anel de tração da Catedral de Brasília	58
Figura 31 - Estrutura da introdução.....	59
Figura 32 - Estrutura da revisão bibliográfica.....	60
Figura 33 - Estrutura da Metodologia.....	60
Figura 34 - Estrutura das Considerações Finais	61
Figura 35 - Estrutura da Catedral de Brasília	66
Figura 36 - Vista pelo eixo Monumental da Catedral Metropolitana de Brasília.....	66
Figura 37 - Anel oculto na estrutura da Catedral de Brasília	67
Figura 38 - Anel de compreensão dos pilares da Catedral.....	68
Figura 39 - Anel de tração em aproximação	69
Figura 40 - Apoio da superestrutura nas placas de Neoprene	71
Figura 41 - Estrutura de escoramento dos pilares.....	72
Figura 42 - Representação dos diagramas de esforço cortante e momento	74
Figura 43 - Tipo de aço utilizado na armadura de um dos pilares	75
Figura 44 - Formas da parte superior da seção transversal	76
Figura 45 - Montagem das formas das colunas por etapas.....	77
Figura 46 - Lançamento de concreto nos pilares da Catedral de Brasília.....	78
Figura 47 - Uma das seções equivalentes da Catedral.....	80
Figura 48 - Comparativo de um pilar da Catedral com um pilar sobre efeito de flambagem. 81	
Figura 49 - Operários trabalhando na escavação sendo visível os pilares da galeria técnica da Catedral de Brasília em 1960.....	82
Figura 50 - Operários trabalhando na construção da Catedral de Brasília	83

LISTA DE SIGLAS

ELS	Estado limite serviço
ELU	Estado limite útil
RJ	Rio de Janeiro
SECEC	Secretaria de Estado de Cultura e Economia
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Justificativa.....	14
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	17
2.1 Arquitetura e Tecnologia Através da História	17
2.1.1 Tecnologias na Pré-história.....	17
2.1.2 Tecnologias na antiguidade do oriente próximo	19
2.1.3 Tecnologias na Antiguidade ocidental.....	20
2.1.4 Tecnologias na Idade média	26
2.1.5 Tecnologias na idade moderna.....	31
2.1.6 Tecnologias na Idade Contemporânea	33
2.2 Modernismo e suas tecnologias construtivas	42
2.3 Brasília e sua Catedral.....	48
3. METODOLOGIA.....	54
3.1 Revisão e coleta de dados.....	54
3.2 Delimitação do estudo bibliográfico.....	55
3.3 Pesquisa bibliográfica e tipo de recorte temático	56
3.4 Análise e síntese das informações.....	57
3.5 O estudo de Caso	57
3.6 Estrutura do trabalho	59
4. ESTUDO DE CASO.....	62
4.1 Oscar Niemeyer e Joaquim Cardozo	62
4.2 Catedral e suas tecnologias construtivas	65
4.3 Sistema estrutural da Catedral.....	78
4.4 Tecnologias no Canteiro de Obra	81
5. CONCLUSÃO	84
6. CONTRIBUIÇÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	87
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias construtivas são responsáveis pelos grandes monumentos e obras de artes ao longo dos séculos. Desde as pirâmides egípcias até os modernos arranha-céus, temos exemplos dessa herança da arquitetura e engenharia.

Grandes monumentos arquitetônicos carregam consigo um contexto histórico, econômico e sociocultural da obra. Dessa maneira, essas construções representam um cenário materializado de fatos históricos, perpetuando a identidade e a cultura de uma civilização.

De acordo com Pessoa (2002), em inúmeros países desenvolvidos há uma valorização dos seus monumentos históricos, nesses casos existem uma série de publicações e estudos sobre a engenharia empregada nessas construções sendo possível o aprofundamento do estudo das tecnologias e a criação de programas de manutenção preventiva.

Analisando o cenário brasileiro, Pessoa (2002) evidencia a carência de estudos em relação aos seus monumentos históricos, em especial acerca das grandes estruturas que marcaram o modernismo no século XX no país, como a Catedral Metropolitana de Brasília, objeto alvo deste trabalho.

No contexto histórico vivenciado pelo arquiteto Oscar Niemeyer, autor do projeto da referida catedral, a possibilidade de se erguê-la deu-se graças às tecnologias construtivas desenvolvidas em resposta ao inovador desenho proposto. Dessa forma, o valor histórico deste monumento, que levou mais de 10 anos para ficar pronto, destaca a arquitetura e engenharia brasileira no cenário mundial, ao avultar formas e funções, bem como as tecnologias construtivas, como a desenvolvida através dos cálculos do Engenheiro Calculista Joaquim Cardozo para as obras monumentais da nova capital do Brasil, incluindo a Catedral Metropolitana de Brasília.

1.1 Justificativa

Um dos principais motores do avanço da ciência é a curiosidade humana, que tem sido capaz de abrir novas fronteiras do conhecimento, de nos tornar mais sábios e de, a longo prazo, gerar valores e maior qualidade de vida para o

ser humano. Logo, por meio dos seus métodos e instrumentos, a ciência nos permite analisar o mundo ao redor e ver além do que os olhos podem enxergar.

O empreendimento científico e tecnológico do ser humano ao longo de sua história é, sem dúvida alguma, o principal responsável por tudo que a humanidade construiu até aqui (IPEA, 2019). Suas realizações estão presentes desde o domínio do fogo até às imensas potencialidades derivadas da moderna ciência da informação, passando pela domesticação dos animais, pelo surgimento da agricultura à indústria moderna e, é claro, pelo desenvolvimento tecnológico da Engenharia Civil. Dessa forma, assim como entender a influência das tecnologias construtivas no planejamento dos grandes monumentos e edificações é basal, a influência reversa do projeto arquitetônico, sobre o desenvolvimento de tecnologias que garantissem sua execução, torna-se um assunto relevante.

A construção de Brasília foi a concretização de um projeto nacional que consistia em levar o desenvolvimento para o interior do país. Juscelino Kubitschek¹, então presidente do Brasil, imaginou a construção de Brasília como o resultado do seu plano de modernização do Brasil com o lema de “cinquenta anos em cinco”. As grandes edificações, monumentos e as obras de arte foram pensadas de forma a representar o Brasil como um país moderno, e a criação de tais obras foi entregue aos cuidados do arquiteto Oscar Niemeyer.

Segundo Sarzi (2014), Niemeyer gostava de valorizar o trabalho do engenheiro e habitualmente afirmava em suas publicações que, na boa arquitetura, quando a estrutura está pronta a arquitetura já está presente. Ao longo de sua vida, Niemeyer projetou edificações que desafiavam as tecnologias presentes. Segundo Aguiar e Favero (2020), Niemeyer mobilizava a opinião pública, instigava 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. Dessa maneira, Figuras como os Engenheiros Joaquim Cardozo, José Carlos Sussekind e Bruno Contarini contribuíram para retirada dos projetos de Niemeyer do papel para

¹ Juscelino Kubitschek, responsável pela construção de Brasília, foi o último presidente da República a assumir o cargo no Palácio do Catete. Foi empossado em 31 de janeiro de 1956 e governou por cinco anos, até 31 de janeiro de 1961. Fonte: Couto, R., 2021.

realidade.

Assim, considerando que a tecnologia empregada na construção civil também é fruto da adoção de inovações nos cálculos e tecnologias, concebidas para erguer essas obras monumentais, a possibilidade de um estudo acerca da influência da arquitetura no desenvolvimento de novas tecnologias na Engenharia, enfatizando a importância dos projetos arquitetônicos na criação de novas tecnologias, cálculos estruturais e a execução de grandes obras de arte faz-se importante para a Engenharia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é a discussão, através de levantamento bibliográfico e estudo de caso, acerca da influência reversa dos projetos arquitetônicos no desenvolvimento de tecnologias construtivas.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Contextualizar, historicamente, o avanço tecnológico das obras arquitetônicas;
2. Investigar as tecnologias aplicadas nos sistemas construtivos desenvolvidas pela Engenharia ao longo da história, pontuando influências reversas da Arquitetura sobre as referidas tecnologias;
3. Destacar pontos da influência do partido arquitetônico adotado no projeto da Catedral Metropolitana de Brasília em novas técnicas construtivas, desenvolvidas especialmente para sua concretização.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Considerando as questões que foram analisadas, buscou-se a compreensão do contexto em que a arquitetura possa vir a influenciar nas decisões tecnológicas.

Assim, o presente capítulo fez uma concisa revisão histórica e teórica a qual abordou as tecnologias desenvolvidas ao longo da história ocidental, bem como a construção de Brasília e a sua Catedral Metropolitana, sem, contudo, aprofundar-se no referido objetivo geral do trabalho, que é a discussão acerca da influência dos projetos arquitetônicos no desenvolvimento de tecnologias construtivas, tema esse que será abordado em capítulo posterior.

Dessa forma, o conjunto de conhecimentos foram agregados na construção de um modelo de pesquisa, fornecendo dados para a análise dos resultados e contribuindo no desenvolvimento e entendimento do estudo de caso.

2.1 Arquitetura e Tecnologia Através da História

2.1.1 Tecnologias na Pré-história.

Segundo Borges *et al.* (2017) a tecnologia tem uma grande ligação com o desenvolvimento da sociedade pois, além de influenciar nos sistemas econômicos e sociais, ela é um compilado de conhecimentos, que se transformam em matéria.

Também afirmam que a tecnologia é um caminho para as opções projetuais e construtivas (BORGES *et al.*, 2017). Dessa forma, ela se torna mais um suporte, pois respondem à evolução e geram soluções nas áreas da arquitetura e engenharia.

Stonehenge², projeto que possivelmente seria de um templo religioso, foi considerada um dos marcos iniciais para as tecnologias construtivas. O monumento é como um ponto de partida para essas realizações da humanidade. As pedras horizontais do monumento podem ser consideradas precursoras das

² Stonehenge (3100 a.C. a 2075 a.C.) é uma estrutura composta, formada por círculos concêntricos de pedras, que chegam a ter 5 metros de altura e a pesar quase 50 toneladas, localizada na Inglaterra no condado de Wiltshire. (Fonte: Revista Galileu, 2020).

vigas. Segundo Madeira (2016), Stonehenge, mostrado na Figura 1, foi construído em três etapas, sendo que a primeira foi constituída por uma grande plataforma circular de terra, na qual foram realizadas valas de cremação. A segunda etapa constituiu a construção de dois círculos concêntricos de *menires* (percussores dos pilares) e de um alinhamento de cerca de quinhentos metros de comprimento. Durante a última etapa, procedeu-se à colocação de outro círculo de trinta pedras, é desta etapa, que se conservam mais vestígios.

Figura 1 - Vista superior de Stonehenge



Fonte: Revista Galileu, 2020

As ferramentas de pedras, sem instrumentos ou equipamentos e sem nenhuma tecnologia ou conhecimentos que possuímos no século XXI, revela a dificuldade que tiveram. Todavia, isso foi uma importante evolução que se instalou até o aparecimento dos metais. Logo, com a chegada destes, os avanços das tecnologias das construções foram crescendo exponencialmente para outros períodos.

Para Benévolo (1999), os povos antigos executaram feitos notáveis que até agora questionamos e tentamos entendê-los, surpreendendo-nos cada vez mais. Segundo o autor, monumentos históricos construídos desafiam o nosso entendimento e quando conferimos com a nossa técnica, percebemos que os seus objetivos foram alcançados, mesmo não dispondo de nada do que disfrutamos hoje em dia.

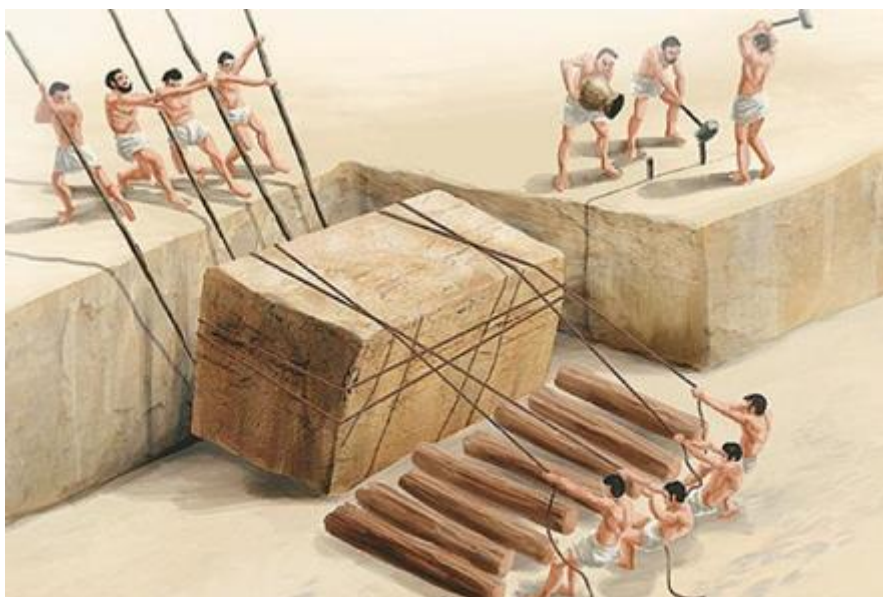
2.1.2 Tecnologias na antiguidade do oriente próximo

Na antiguidade do oriente próximo, as tecnologias hidráulicas foram um dos principais motivos para o sucesso das civilizações, tanto mesopotâmica quanto egípcia (PEDROSA, 2021).

As civilizações conhecidas como hidráulicas utilizavam-se do conhecimento das cheias dos rios Nilo e Eufrates para explorar a agricultura através das suas grandes obras de Engenharia, como os diques. O rio Nilo também foi utilizado como canal de locomoção através das embarcações disponíveis, principalmente das pedras retiradas das jazidas que comporia as pirâmides retratada de forma ilustrativa na Figura 2.

Pesquisadores acreditam que 300 pedras eram assentadas por dia durante a construção das pirâmides, para isso, estudos levam a crer que foram utilizadas rampas, que poderiam ser longas e retas, perpendiculares às laterais ou circulares ao centro (BECK, 2010).

Figura 2 - Ilustração de como as pedras das pirâmides eram transportadas



Fonte: Beck, 2010

Essas civilizações eram politeístas e acreditavam na vida após a morte e, desse modo, a construção de grandes templos religiosos eram importantes. As antigas pirâmides, que eram os túmulos dos faraós, foram construídas com blocos de pedra que chegavam a pesar até duas toneladas, e sua execução podia durar de décadas a centenas de anos com objetivo de abrigar e proteger o corpo do faraó mumificado e seus pertences dos saqueadores de túmulos.

Além disso, as construções deveriam ser extremamente resistentes, protegidas e de difícil acesso. Por isso, os construtores responsáveis planejavam armadilhas e falsos acessos dentro das pirâmides.

Até hoje, não foram encontrados registros de planos ou métodos de sua construção. No entanto, algumas ideias foram consolidadas no projeto das pirâmides, como a pretensão de alcançar lugares altos. Todavia, as tecnologias disponíveis não eram suficientes para a construção do monumento a não ser do formato na quais conhecemos. Logo, os egípcios tinham um bom planejamento de modelos da pirâmide e, além disso, desmoronamento e inclinações indesejadas das primeiras construções os levaram a perceber que as fundações eram bem importantes (BECK, 2010).

Os egípcios tiveram um grande diferencial ao começarem a trabalhar a ideia de fundação profunda. Eles cavavam buracos de estacas em intervalos regulares ao longo do relevo da base e planejavam o local em uma grade, depois escavavam e nivelavam a fundação, além do mais, os construtores instalavam estacas em intervalos regulares. Já em relação aos materiais utilizados na construção das pirâmides o calcário, granito, basalto, argamassa e tijolos de barro cozido estavam mais presentes nas construções. Entretanto, a ausência de ferramentas de ferro, fez por substituir por cobre e pedra cortada para recortar os blocos nas pedreiras. Já na locomoção dos blocos para fora das pedreiras, eram utilizadas alavancas (BECK, 2010).

As pedras de 2,5 toneladas, como representado na ilustração, foram transportadas das pedreiras até o local da construção, mas sabe-se que rodas não seriam uteis na areia e no cascalho do deserto, logo, admite-se que eles usavam trenós de madeira e cordas.

2.1.3 Tecnologias na Antiguidade ocidental

Assim, como os egípcios os gregos seguiram alguns métodos, como construção utilizando pedras. O espaço da ágora³ tornara-se um símbolo da nova visão de mundo que incluía o respeito aos interesses comuns dos que eram

³ Ágora: "assembleia", "lugar de reunião", derivada de (*ἀγείρω*, "reunir") é um termo grego que significa a reunião de qualquer natureza, geralmente empregada por Homero como uma reunião geral de pessoas. Espaço comum onde os cidadãos se reuniam para discutir sobre questões políticas (Fonte: FERNANDES, 2018).

cidadãos. Algumas construções gregas estão preservadas até hoje, sendo consideradas patrimônios da humanidade, tal como o Partenon mostrado na Figura 3, na acrópole de Atenas.

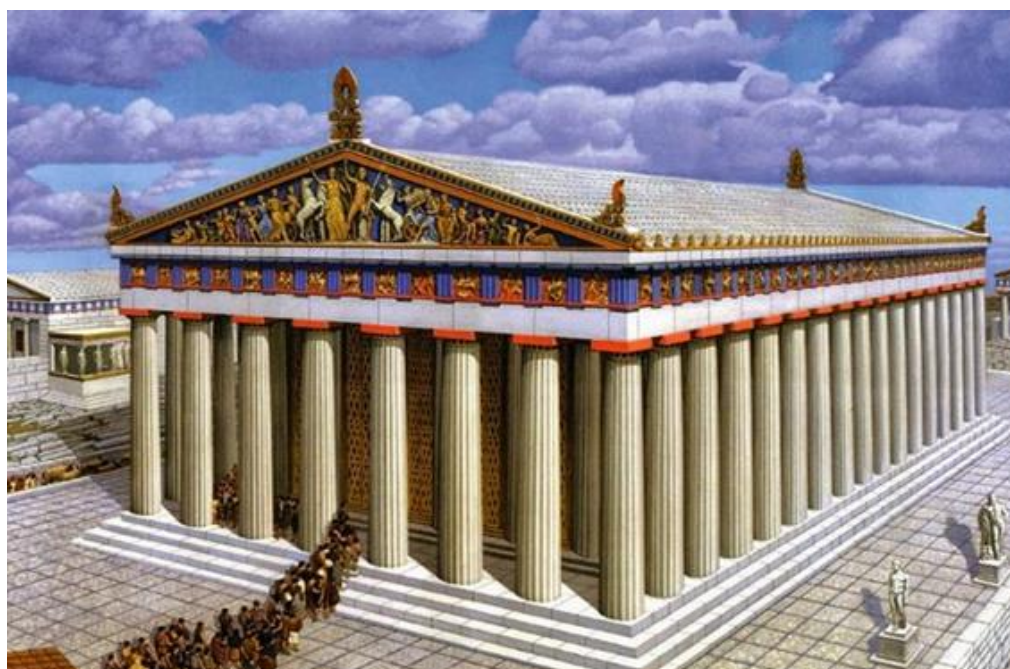
Figura 3 - Partenon construído em 447-432 a.C. no Governo de Péricles



Fonte: Amaral, 2011

Os gregos usavam as estruturas semelhantes das construções atuais, colunas e vigas. Este método em que a viga de pedra é suportada por duas colunas e as estruturas dos telhados feitos de madeira, como mostra na Figura 4, era o que tinham disponível como recurso naquele período. Todavia, o projeto arquitetônico pensado tinha limitações com os materiais de construções disponíveis no período, pois as colunas precisavam ficar próximas umas das outras. Logo, as tecnologias disponíveis permitiam que essas construções fossem feitas com mármore e calcário deixando os tijolos de argila como materiais secundários. Já em relação a madeira, eram usadas nas vigas estruturais (Eyler, 2014).

Figura 4 - Ilustração da reconstrução da Acrópole de Atenas



Fonte: Eyler, 2014

Eyler (2014) também destaca que os gregos antigos não usavam argamassa, mas braçadeiras e buchas para apertar as peças. As peças de mármore e calcário eram extraídas de forma cuidadosa para garantir uma construção adequada para aquele propósito. As ferramentas usadas pelos pedreiros eram manuais, tais como enxada e marreta. O autor também destaca o uso de guindaste para levantar e colocar as peças nos lugares, e que possivelmente estes eram movidos por animais e por pessoas. Apesar de, historicamente, a utilização do guindaste metálico ser patenteado a partir da Revolução Industrial, existem relatos que os antigos gregos usavam tal tecnologia nessa época.

Durante os períodos e civilizações anteriores, os assuntos religiosos era o que manteria a ordem e progresso. Segundo Eyler (2014) a política, filosofia, arte, arquitetura e economia começaram a ser discutidas nas *polis* (cidades) gregas, contrapondo-se às culturas anteriores, que desenvolveram apenas as arquiteturas militar, religiosa e residencial.

Os gregos e romanos foram responsáveis pelo desenvolvimento de espaços próprios à manifestação da cidadania e dos afazeres cotidianos. Quanto a isso, os romanos inspiraram-se na civilização grega, se tornando sucessores de tal cultura.

O Império Romano surgiu de uma única cidade, que foi expandido até chegar em sua crise, com as instabilidades de suas fronteiras. O Império sofreu uma evolução construtiva com surgimento de novas formas e com a intensa utilização de arcos, além de plataformas de concreto como fundações e de fôrmas de madeira para o concreto romano⁴ (Rozestraten, 2007).

Uma fantástica descoberta, que influenciou nas formas arquitetônicas do império romano, foi a pozolana⁵, mostrado na Figura 5, é um aglomerante derivado dessa matéria prima foi usado na construção dos muros de Roma, sendo agregado nas edificações romanas. A pozolana é originário de rochas vulcânicas encontradas na região de Pozzuoli, perto do Monte Vesúvio, no Sul da Itália. Misturadas e moídas com cal, elas se transformam em um material cimentício e foram utilizadas pelos romanos em grandes obras com os Aquedutos na Figura 6 e como o Coliseu, a partir de 65 depois de Cristo na Figura 7 (OLIVEIRA, 2016).

Figura 5 - Pozolana de origem vulcânica



Fonte: Abrão, 2019

⁴ Concreto romano: concreto romano foi descrito por volta de 30 a.C. por Marcus Vitruvius, engenheiro de Otaviano, que se tornou imperador Augusto. A mistura se dá da cinza vulcânica, que os romanos combinaram com cal para formar argamassa. Eles embalsamaram esta argamassa e pedaços de rocha em moldes de madeira imersos na água do mar. (Fonte: Yang, 2013.)

⁵ Pozolana: mistura de cinza vulcânica encontrada nas proximidades do Vesúvio chamada pozolana com cal hidratada, obtinham um aglomerante que endurecia sob a água. Sua reação de endurecimento se dava por processo químico e produzia um material resistente sob a água. (Fonte: Yang, 2013).

Figura 6 - Aqueduto Romano revestido com Pozzolana



Fonte: Eyler, 2014

Figura 7 - Coliseu romano revestido concreto com Pozzolana

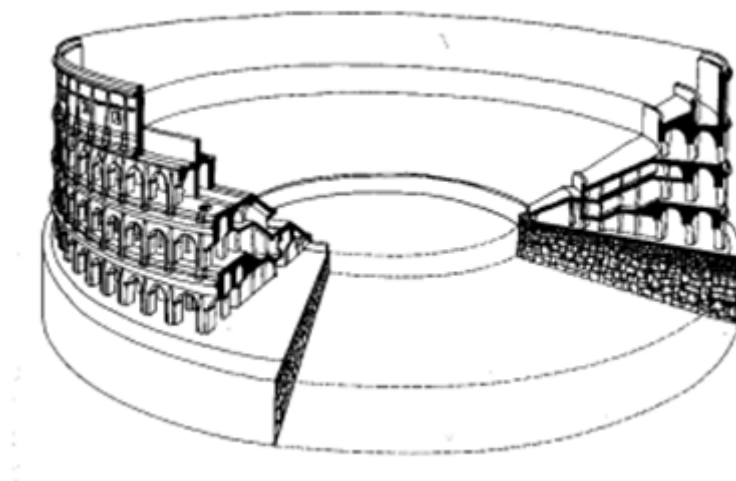


Fonte: Pinto, A., 2006

Para construção dessas imensas obras, como o Coliseu, o projeto arquitetônico necessitava de uma solução para que a edificação suportasse as cargas que seriam transferidas ao solo. Segundo Kaefer (1998), uma das soluções que fora adotada pelos romanos para que o solo pobre e arenoso

suportasse as solicitações e evitasse o recalque foi um radier⁶ com espessura considerável com anel de aproximadamente 12 metros de profundidade como ilustrado na Figura 8. Apesar do alto custo, os *radiers* foram uma solução técnica adequada utilizada pelos romanos.

Figura 8 - Coliseu (80 d.C.): superestrutura e fundações



Fonte: Kaefer, 1998

Nas tecnologias construtivas segundo Albuquerque (2017a), o cimento romano (*opus caementicium*), permitia construções sólidas submersas como as pontes. Este aglomerante constituída das cinzas vulcânicas permitiu o desenvolvimento na concepção de grandes espaços e vãos, além de maiores alturas, monumentalidade e variações plásticas aplicadas às ordens arquitetônicas.

Segundo Kaefer (1998), os romanos também usaram a cal como material cimentício e o uso do concreto e da alvenaria substitui em grande parte o uso de blocos de pedra. Em Roma, boa parte das colunas em estilo grego eram construídas de alvenaria e concreto como mostrado na Figura 9, sendo revestidas com estuque, de forma a imitar o mármore grego. Além disso, Albuquerque (2017a) sugeriu que neste concreto poderia haver a presença de pedaços de turfa e cacos de cerâmica. Logo, segundo o autor, ao comparar aos

⁶ O radier é um tipo de estrutura de fundação superficial, executada em concreto armado ou protendido, que recebe todas as cargas através de pilares ou alvenarias da edificação, distribuindo-as de forma uniforme ao solo. A fundação do tipo radier é empregada quando:

- o solo tem baixa capacidade de carga;
- deseja-se uniformizar os recalques;
- as áreas das sapatas se aproximam umas das outras ou quando a área destas for maior que a metade da área de construção. (Fonte: DÓRIA, 2007).

concretos modernos, como o cimento Portland, o concreto com pozolana requer menos energia para a cura.

Figura 9 - Peristilo da Casa do Fauno, em Pompeia



Fonte: Albuquerque, 2017b

2.1.4 Tecnologias na Idade média

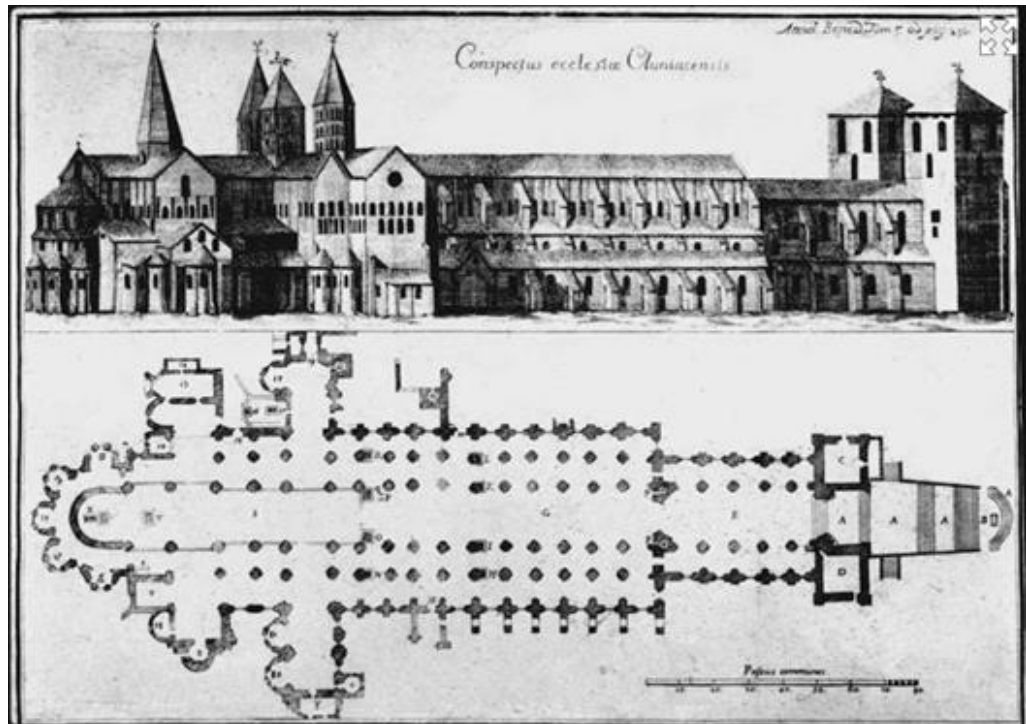
Tratando-se de engenharia na Idade Média, se comparados à antiguidade clássica, houve-se muitas inovações e construções, apesar dos conhecimentos tecnológicos ficarem restritos. Na intitulada “idade das trevas” a Figura do engenheiro ainda não existia, e o surgimento da Figura do artesão (predecessor do engenheiro civil), cujas atribuições iam além de construções de obras, se estendiam às ciências da arquitetura, matemática, astronomia, dentre muitas outras ciências, o que foi uma grande inovação para época (DUARTE, 2010).

Os monumentos arquitetônicos no medievo é a reunião dos estilos arquitetônicos que predominaram no mundo bizantino, românico e gótico. O objetivo dessas grandes construções e dos feudos eram impedir as invasões barbaras. Além disso, as igrejas eram a principal instituição que controlava as massas naquele período. Dessa forma, as grandes construções aumentavam a autoridade dos senhores feudais. No início, as obras eram feitas de madeira protegida por paliçadas e, mais tarde, pedras e rochas (Rozestraten, 2007).

A construção das grandes catedrais, principal monumento construtivo da Idade Média, é acompanhada por toda a população e a vida cotidiana da

comunidade se dá próximo desse perímetro (SANTOS, A., 2016). O conhecimento tecnológico e construtivo é guardado pelas corporações de ofícios⁷, e totalmente restrito. As tecnologias construtivas do período desenvolveram-se principalmente no projeto das catedrais como visto na Figura 10, estando o conhecimento tecnológico sob o controle das corporações de ofícios (PORTES, 2011).

Figura 10 - Planta da Abadia de Cluny



Fonte: Rozestraten, 2007

As construções verticais começaram a ganhar espaço em relação aos formatos horizontais da arquitetura românica, o que fez com que as construções pegassem que estivessem mais perto do céu. Nas estruturas arqueadas a transmissão de cargas resulta de um fluxo de tensões de compressão até os apoios, sem transmissão de tensões de tração, como apresentado na Figura 12. Assim, a Tecnologia Estrutural que possibilitou esse avanço é a adoção do arcobotante, mostrado na Figura 11, cujo formato de meio arco, tem como principal característica o fornecimento de apoio e distribuição do peso entre paredes e colunas (ROZESTRATEN, 2007).

⁷ Corporações de Ofício: associações que agrupavam indivíduos com fins religiosos, econômicos ou político-sociais. Associações de fins econômicos procuravam garantir o monopólio de determinadas atividades. E as organizações político-sociais reunia a plebe artesã para fazer frente aos mercadores detentores de poder. (Fonte: Beck e Teixeira, 2019).

Já nas abóbadas, a construção é feita com nervuras de pedra e enchimento de tijolo (abóbada de aresta), o que as tornam mais leves que as abóbadas românicas. Para Souza (2019), tal característica torna viável a obtenção de vãos construtivos com a utilização de materiais de baixa resistência à tração. Como ainda não havia feito a descoberta do aço e de outros materiais mais resistentes à tração, predominavam as construções em arco, pois os materiais disponíveis eram de origem granular ou rochosa, que resistem aos esforços de compressão⁸.

Figura 11 - Arquitetura Medieval: Arcobotante

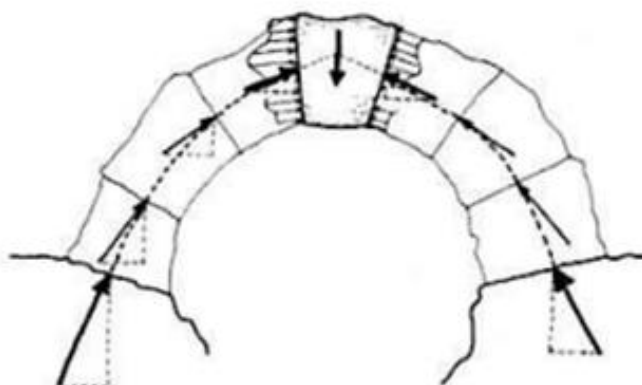


Fonte: Rozestraten, 2007

Existe um conceito chamado de linha de pressão nos arcos, um formato para o qual o carregamento existente não provoca momento fletor como mostra na Figura 12, logo, o único esforço presente é o de compressão. Este é o principal motivo pelo qual mesmo sem terem conhecimentos avançados acerca de cálculos de estruturas, as civilizações antigas conseguiam construir grandes obras com arcos de grandes dimensões (SOUZA, M., 2019).

⁸ Esforços de Compressão: Os materiais de construção estão constantemente submetidos a solicitações como cargas, peso próprio, ação do vento, entre outros, chamamos de esforços. Dependendo da forma como os esforços se aplicam a um corpo, recebe uma denominação. Os esforços compressão são esforço aplicado na mesma direção e sentido contrário que leva a um “encurtamento” do objeto na direção em que está aplicado. (Fonte: Schiel, 1984).

Figura 12 - Forças atuante no arco



Fonte: Huerta, 2001

As construções das catedrais góticas foram desenvolvidas a partir das construções do estilo românico. Os grandes monumentos arquitetônicos caracterizavam-se por abóbodas arredondadas sustentadas por arcos semicirculares como apresentado na Figura 12. Em razão dessas características, as construções em estilo românico necessitavam de pesadas e grandes estruturas para manterem-se erguidas.

Os grossos pilares de pedras garantiam essa sustentação, mas limitavam a altura das construções e dificultavam a entrada de luz, em decorrência da necessidade de manter as paredes. Para superar essa limitação, a arquitetura gótica desenvolveu uma tecnologia construtiva, as abóbadas de aresta como mostradas na Figura 13, que tornava mais leves as estruturas (CATALDI *et al.*, 2002).

Figura 13 - Abóbada de Aresta em uma catedral gótica



Fonte: Cataldi *et al.*, 2002

Na arquitetura gótica, as construções monumentais ocorreram principalmente nas catedrais e nas igrejas. Dessa forma podemos observar certas características como destacada abaixo:

A arquitetura de estilo gótico surge de uma modificação estrutural importante da arquitetura românica. As construções típicas são os castelos fortificados, os torreões de defesa e as catedrais. As abóbadas são construídas com nervura de pedra e enchimento de tijolo (abóbada de aresta), o que as torna muito mais leves que as abóbadas românicas; o arco preferencial deixa de ser o arco pleno e passa a ser o arco quebrado (arco ogival); os contrafortes, devido aos empuxos menores, transformam-se em arcos botantes – braços externos perpendiculares à superfície do edifício, que sustentam, nas igrejas, a arquitetura central (Santos, A., 2016).

O estilo Gótico destacou-se na arquitetura quando se descobriu que era possível fazer edificações com pedra e vidro. O estilo mudou o conceito de construção, todavia era necessário inovações tecnológicas para que o monumento pudesse ser concluído. Um exemplo interessante é a catedral de Milão, apresentada na Figura 14, que foi concluída com mais de 400 anos, uma vez que não havia tecnologias construtivas suficientes quando esta foi projetada e desenhada no papel.

Figura 14 - Catedral de Milão, início da construção em 1386



Fonte: Cataldi *et al.*, 2002

A arquitetura ocidental atingiu um grande patamar em tecnologia e beleza. As abóbadas cada vez mais elevadas e maiores apoiavam-se sobre as pilastras e ou feixes de colunas. O estilo gótico, por exemplo, ficou marcado na concretização das catedrais europeias, como: Notre Dame; Chartres; Colônia; Amiens. As catedrais góticas caracterizam-se pelo verticalismo e aparato, denominando o cenário da arquitetura durante a Idade Média, devido a supremacia e influência que a instituição religiosa transmitia para a população (SANTOS, A., 2016).

Segundo Cole (2012) citada no artigo Arquitetura Gótica no portal estilos arquitetônicos, na arquitetura gótica uma série de suportes que eram constituídos por contrafortes que possuíam a função de equilibrar de modo externo o peso excessivo das abóbadas.

2.1.5 Tecnologias na idade moderna

Foi com o Renascimento Científico⁹ que se deu uma proposta de reestruturação de cidade, deixando a ideia de feudos ofuscadas com a queda do Império Romano do Oriente. A busca de racionalidade do espaço urbano, teve na representação em perspectiva, o instrumento fundamental para sua concretização. Dessa forma, os monumentos arquitetônicos passaram a retomar as influências da antiguidade clássica como forma de negação ao medievo, todavia a busca de identidade estava como um dos principais objetivos dos renascentistas. Logo, os antigos tratados arquitetônicos romanos são redescobertos pelos novos arquitetos, influenciando as técnicas construtivas. A relativa liberdade de pesquisa científica que se obteve permitiu algum avanço nas técnicas construtivas, permitindo novas experiências e a concepção de novos espaços (SANTOS, A., 2016).

Durante esse período entra-se em uma parte especial para a história da engenharia, os tempos de modernização, e a partir daí que a engenharia ganhou um enorme destaque e as inovações ocorreram na parte conceitual e

⁹ Chama-se Renascimento Científico o período de desenvolvimento da ciência durante os séculos XV e XVI. Esta época foi pautada no racionalismo, no humanismo e nos conhecimentos da Antiguidade Clássica que mudaram a mentalidade das pessoas. (Fonte: Queiroz, 1995)

intelectual. Segundo Cataldi *et al.* (2002), “grande parte disso deveu-se ao desenvolvimento do cálculo diferencial, da geometria analítica e da trigonometria”.

Ainda segundo o autor, com a criação da imprensa na idade moderna houve a construção dos primeiros manuais com técnicas de projeto e construção. Desse modo, não só a base matemática foi criada, mas a engenharia já estava sendo moldada. Segundo Guimarães (2019), a engenharia se especificou-se ainda mais as atribuições e competências. Ainda segundo o autor, a Figura do artesão medieval deixa de existir abrindo espaço à Figura do engenheiro civil¹⁰, sendo o inglês John Smeaton em 1768, o primeiro profissional da área.

Segundo Silveira (2010) a Basílica de São Pedro, como mostrada na Figura 15, foi construída no período de 18 de abril de 1506 e foi concluída em 18 de novembro de 1626. A basílica é um famoso local de peregrinação, por suas funções litúrgicas e associações históricas. Para a autora os edifícios renascentistas expressam fundamentos e visões do mundo através da utilização do repertório clássico advindo da antiguidade. A Basílica de São Pedro, projetada por Bramante, demonstra o renascimento de forma clara como evidencia a planta em cruz grega.

Figura 15 - Basílica de São Pedro, 1506-1626



Fonte: Cataldi *et al.*, 2002

¹⁰ 4 O termo “Engenheiro Civil” surge na época de criação das Escolas Politécnicas no século XVIII para designar a formação em engenharia não militar. Até então, a construção de obras estruturais, como principalmente no período da revolução industrial, era feita por engenheiros militares. (Fonte: Guimarães, 2019).

Outras conquistas empregadas no cenário das catedrais europeias durante o Renascimento segundo Siveira (2010) foi a cúpula octogonal da catedral de Florença de Brunelleschi, que não usou andaimes apoiados no solo ou concreto na construção. O *domo* projetado por Brunelleschi continua sendo a maior cúpula de alvenaria já construída.

De acordo com Mora (2014), sem vestígios de desenhos ou esboços, os segredos de sua construção permanecem um enigma até os dias de hoje, a complexidade da tarefa da qual fora encarregado Brunelleschi, nos coloca a pensar a respeito do tempo que pode levar a construção de obras dessa dimensão.

Segundo o Autor, há uma ênfase acentuada na centralização espacial e a interna utilização de relações geométricas nas obras de Brunelleschi, construindo o ambiente e articulando os seus elementos. A simetria e o geometrismo traduzem um dos objetivos fundamentais do Renascimento colocando o homem no centro do universo.

2.1.6 Tecnologias na Idade Contemporânea

No final do século XVIII e início do XIX houve um grande avanço tecnológico com o advento da Revolução Industrial. Nesse período foram descobertas novas possibilidades construtivas e estruturais, de forma que os antigos materiais (como a pedra e a madeira) passaram a ser também substituídos gradativamente pelo concreto (betão) e mais tarde pelo concreto armado¹¹ e pelo metal, uma vez que a disponibilidade dos novos materiais era maior. Dessa maneira, buscava-se uma conclusão espacial e formal mais racional e objetiva, todavia ainda não se tinha uma ideia clara de como aplicar as novas tecnologias em uma nova arquitetura (SANTOS A., 2016).

Segundo Argan (1957) a modernidade foi impulsionada pela revolução industrial que trouxeram mudanças drásticas na forma de vida da sociedade. Para o autor a realidade não é o modelo idealizado pelo artista, mas sim sua matéria-prima.

Para Costa e Yayi (2011), a revolução industrial foi de fato um avanço

¹¹Concreto armado é um tipo de estrutura que utiliza armações feitas com barras de aço. Essas ferragens são utilizadas devido à baixa resistência aos esforços de tração do concreto, que tem alta resistência à compressão (Fonte: Wight e MacGregor, 2011)

espetacular para a sociedade, tanto nos aspectos tecnológicos como também para economia, saúde e no desenvolvimento sociocultural. O processo de industrialização na Europa do século XVIII trouxe grandes inovações tecnológicas nas áreas da Engenharia e Arquitetura. Todavia, esse modelo de progresso abre um leque para reflexão dos danos ambientais causados por tal modelo de desenvolvimento.

Os movimentos como Antropocentrismo e Cientificismo na Europa, levou o ser humano a entender melhor a natureza e usar ela para o seu próprio conforto. Dessa forma, a ciência conseguiu demonstrar que o homem era capaz de transformar a natureza conforme a suas vontades. Borges *et al.* (2017) comentam que este processo se fez necessário para abrir os caminhos da evolução na construção civil, analisando a racionalização dos processos neste período, como a produção em massa, ponderando a necessidade da rapidez na produção e considerando também o fator da padronização ser um caminho para a arquitetura moderna, mas garantindo muitas melhorias no ramo da construção, como a introdução de equipamentos de produção mecânicas impulsionados a água e por energia à vapor.

Na construção civil a Primeira Revolução Industrial¹² gerou grandes impactos. O carvão como fonte de energia e o ferro como matéria prima começou a ser produzido em escala industrial e este foi introduzido na construção civil. As melhorias nos transportes, por meio das estradas de ferro, locomotivas e navios a vapor, impactaram a forma com que a matéria prima das construções chegava à obra contribuindo assim, com uma boa logística (RIBEIRO, 2005).

A primeira estrutura industrial foi a ponte de ferro sobre o rio Severn, em 1775-1779, no centro de Inglaterra como mostrada na Figura 16. A sua estética estava muito longe das formas arquitetônicas habituada pela sociedade, sendo o trabalho de engenheiros duramente criticado pelos arquitetos. Todavia, o projeto da ponte necessitava de uma tecnologia que suportasse mais cargas do que as antigas pontes de pedras e madeiras. Mesmo com estes novos materiais férreos a forma de se construir não era alterada. Devida essa massificação de

¹² "A Primeira Revolução Industrial corresponde à primeira fase da Revolução Industrial, período caracterizado pelo grande desenvolvimento tecnológico iniciado na Europa e que, posteriormente, espalhou-se pelo mundo, provocando inúmeras e profundas transformações econômicas e sociais. Esta se iniciou por volta de 1760, marcando a transição de um sistema feudal para o sistema capitalista, e durou até meados de 1850 (Fonte: Souza, A., 2012).

estruturas grande porte, arquitetos começaram a perder seu espaço para os engenheiros (BENÉVOLO, 1999). A partir de uma larga produção e muita procura, estes materiais, vidro e ferro fundido, começaram a se baratear.

Figura 16 - A ponte do ferro sobre o rio Severn, Inglaterra



Fonte: Carvalho, 2008

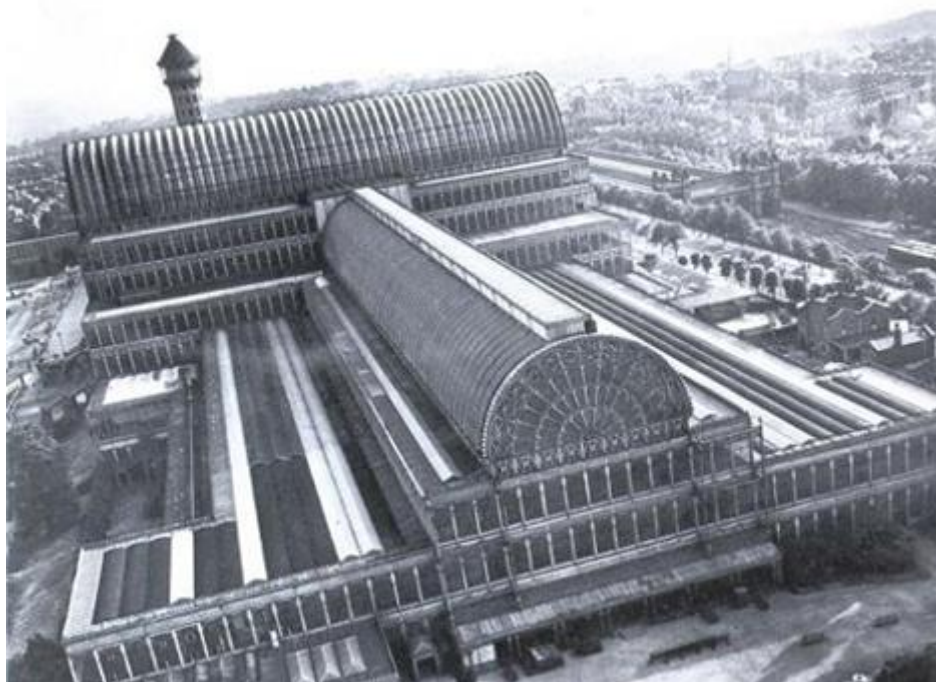
Com a necessidade de vias mais largas e o sistema conseguir absorver toda esse quantitativo de massa do operariado, existiu a necessidade de projetos com estruturas grandiosas e sistemas que aguentassem a demanda da população urbanizada (COSTA, 2022). Na Figura 17 o grande pavilhão que recebeu a “grande exposição de 1851”¹³ foi desenhado pelo arquiteto Joseph Paxton. O edifício de ferro fundido possuía 564 metros de comprimento com um pé direito que chegava a 33 metros.

Segundo Strauch (2008), Paxton pensou o edifício a partir de um sistema construtivo de estufas. A estrutura demorou cerca de dez meses para ser concluída. Os principais materiais usados na construção foram o ferro, madeira e vidro, tudo pré-fabricado e apenas montado localmente. A principal estrutura modular e funcional e que ao mesmo tempo tivesse um aspecto e aparência que representasse o avanço tecnológico e industrial que a exposição universal simbolizava. Apesar de não existir mais, a memória da construção é viva até

¹³ A exposição do Palácio de Cristal de 1851, inicia o período mais áureo da sua história como a nação mais poderosa do globo, dona de uma frota naval maior do que a de todo o resto do planeta reunido. (Fonte: Eyler, 2014).

hoje.

Figura 17 - Imagem do Palácio de Cristal



Fonte: Strauch, 2008

Na Segunda Revolução Industrial¹⁴ a construção civil obteve também grandes avanços, principalmente, na produção em escala do aço, no setor de transportes e na concepção do concreto armado. A expansão das linhas férreas viabilizou a expansão da indústria do aço contribuindo na construção de estações ferroviárias de grande porte. O desenvolvimento do setor de transportes, com o motor a combustão, atuou na diminuição dos custos e do tempo de transporte dos materiais de construção como na primeira revolução industrial (RIBEIRO, 2005).

O engenheiro francês Joseph Louis Lambot, em 1849, inventou o concreto armado, e a tecnologia criada por ele consiste na utilização conjunta do aço e concreto para a construção; o concreto com a função de resistir à compressão e o aço aos esforços de tração, possibilitando, a construção de estruturas de concreto mais resistentes (CARVALHO, 2008).

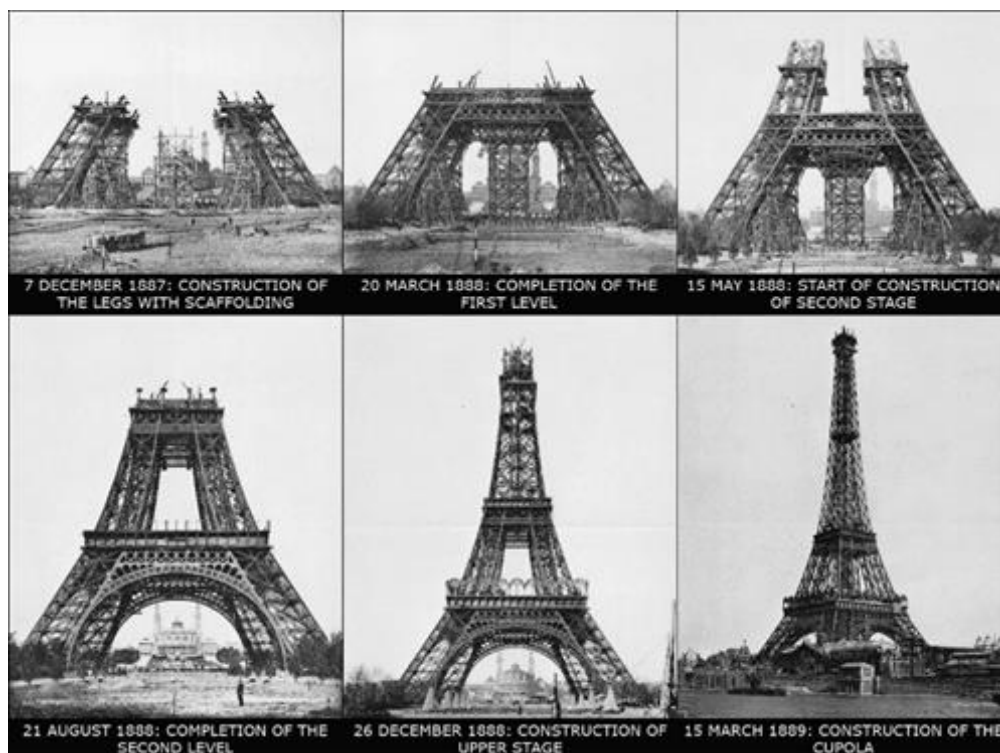
Esse novo momento da revolução industrial, bem como o aumento das

¹⁴ "A Segunda Revolução Industrial é a continuidade do processo de revolução na indústria. A industrialização que, antes, limitava-se à Inglaterra, expandiu-se para os Estados Unidos, França, Rússia, Japão e Alemanha. O ferro, o carvão e a energia a vapor, característicos da 1ª Revolução Industrial, agora dão lugar aos representantes da segunda fase: o aço, petróleo. (Fonte: Lima e Neto, 2017).

funções públicas, exigem, por sua vez, empenho cada vez maior do Estado para atender as necessidades da população, o que geraram fatores extremamente importante a serem observados como: o aumento da população conduzindo a criação de um número jamais visto de casas e a necessidade de novos materiais e a racionalização destes para produção de moradias. Dessa forma, as obras devem ocorrer de maneira rápida e eficiente. Logo, seria necessária uma racionalização da construção, e os engenheiros e os arquitetos tinham a possibilidade de realizar isso com o desenvolvimento de novos materiais, como o aço, o vidro, e o concreto, para citar os mais importantes, era possível uma fabricação praticamente industrial e seriada de edifícios (COSTA e YAYI, 2011).

Segundo Costa e Yayi (2011) um dos maiores marcos desta produção pós Revolução Industrial, que utiliza e demonstra essas técnicas e estes novos materiais construtivos é a Torre Eiffel, como mostrado na Figura 18, obra idealizada pelo engenheiro francês Gustave Eiffel, toda em estrutura de aço e que foi pensada de forma racional, de maneira a suportar toda a força do vento, já que o projeto possuía mais de 300 metros de altura. Dessa forma, o projeto confirma claramente a intenção de explicitar as renovações e o desenvolvimento das técnicas e dos materiais construtivos.

Figura 18 - Construção da Torre Eiffel ao longo de 2 anos



Fonte: Fiederer, 2016

De Fusco (1984) afirma que a arquitetura da engenharia é a manifestação mais significativa no campo construtivo da cultura do século XIX e, não sendo um fenômeno meramente técnico, marca a passagem mais clara entre o passado e o presente da história da arquitetura, sem o qual é impossível pensar o nascimento do movimento moderno

No cenário Brasileiro, Santos, P. (1982) cita que o Brasil possuiu três momentos da arquitetura nas cidades: Colonial, Império e Republicano. Segundo o autor nos primeiros anos do governo da Coroa Portuguesa, o país possuía grande influência do Barroco¹⁵. Com a vinda da família real para a capital Rio de Janeiro, em 1808, o governo trouxe novos hábitos e com eles uma corte com uma nova visão racionalista, com construções arquitetônicas neoclássicas e com produtos industrializados de origem inglesa.

Segundo Santos, P. (1982) o desenvolvimento industrial brasileiro só irá alçar novo patamar durante a chamada “Era Mauá”¹⁶ com o início da industrialização brasileira, e o desenvolvimento ferroviário, que, com o emprego das primeiras pontas de ferro fabricadas na Europa e montadas aqui por engenheiros das empresas que já funcionavam no território brasileiro, logo o setor da Construção Civil iniciou sua própria era Industrial. O autor também destaca que a entrada dos produtos pré-fabricados em ferro, nas edificações, como nas casas de porte médio de um ou dois pavimentos ou até mesmo sobrados de cinco, sete ou mais janelas de frente, mostrava a uniformidade da técnica na execução de cada elemento, determinada pela fabricação desses em série que foi uma característica da Era Industrial.

Já na transição do império para República, com a *Belle Époque* e com a chegada da energia elétrica, as tecnologias construtivas começaram acompanhar as tendências de uma nova era moderna que se concretizou nas décadas seguintes. Segundo Souza (2012), as obras neoclássicas vigentes despertaram uma reflexão sobre o significado das formas, quanto à repetição de padrões clássicos, incentivando um novo pensar sobre a arquitetura, que

¹⁵ Barroco é o estilo artístico que floresceu entre o final do século XVI e meados do século XVIII, inicialmente na Itália, difundindo-se em seguida pelos países católicos da Europa e da América, antes de atingir, em uma forma modificada, as áreas protestantes e alguns pontos do Oriente. (Fonte: Pinto P., 2003).

¹⁶ A Era Mauá é determinada pelas ações do Barão de Mauá, político e industrial brasileiro, no intuito de acelerar o cenário industrial do País. (Fonte: Lopes e Motta, 2016).

refletisse o legado da revolução industrial. Logo, para alcançar à modernidade a solução adotada pelos engenheiros e arquitetos foi o desenvolvimento de novos conceitos de projeto, valorizando as novas tecnologias construtivas.

Nada obstante, é apenas ao final do século XIX que vão aparecer as estruturas metálicas em pisos e colunas de sustentação, substituindo os barrotes de madeira e as antigas paredes mestras, metodologia essa que vai se tornar habitual desta data em diante, ao menos na cidade do Rio de Janeiro, capital da república, onde o governo central está preocupado em revitalizar e modernizar a cidade, retirando o aspecto colonial e , equiparando-a às cidades europeias como Paris, por exemplo (RIBEIRO, 2005).

Um dos monumentos arquitetônicos que tiveram grande influência com desenvolvimento das técnicas construtivas foi o Teatro Municipal do Rio de Janeiro, retratado na Figura 19, foi inaugurado no início do século XX. O prédio está assentado sobre 1180 estacas de madeira de lei, técnica construtiva comum à época, quando ainda não se utilizavam estacas de concreto armado como ocorre nas construções atuais. As fundações necessitaram de um estaqueado de madeira que foi executado com bate-estaca a vapor. Conta-se o caso do estaqueamento das fundações do Teatro Municipal, que teria consumido toda uma floresta.

Figura 19 - Projeto Final do Teatro Municipal do Rio de Janeiro (RJ)



Fonte: SECEC RJ, 2019

De acordo com Ribeiro (2005):

No período colonial as fundações quase que invariavelmente eram executadas em vala corrida, algumas vezes em poço, muito raramente utilizava-se o estaqueamento. A profundidade das fundações, que até então dificilmente ultrapassava 1 metro, passou a ser função da carga da edificação e da resistência do terreno (RIBEIRO, 2005, p.3).

Com a tecnologia das Construções e o incremento da ciência da engenharia de solos a partir dos estudos politécnicos, a prática na execução das fundações alterou-se bastante, estas passaram a ser executadas com maiores cuidados, tal como o escalonamento, que propiciava uma maior superfície de contato e, portanto, uma melhor distribuição da carga no solo.

De acordo com Santos, P. (1982), no Rio de Janeiro, nas duas primeiras décadas do século XX, as edificações foram feitas com estruturas mistas: de alvenaria nas paredes perimetrais e a região central de ferro, principalmente as edificações de maior porte, como as que foram construídas na Avenida Central, embora as estruturas metálicas já estivessem presentes nas construções daquele período.

O autor também cita que o construtor do prédio da Escola Nacional de Belas Artes, Figura 20, se propunha a executar o projeto obedecendo os desenhos fornecidos, não só na aparência geral, como nas divisões das diversas repartições, porém ressaltava ele: “será permitida a introdução de colunas e vigas de aço mesmo nas paredes exteriores e interiores reduzindo a grossura das mesmas paredes onde seja conveniente”.

Uma das influências da arquitetura presentes na Escola Nacional de Belas Artes é a arquitetura eclética¹⁷, muito empregada neste período, com os estuques em argamassa nas fachadas, pois com o advento do cimento Portland, multiplicaram-se, pelas facilidades técnicas que este material trazia e pela maior resistência mecânica, cura hidráulica mais rápida além de melhor adesão a estruturas metálicas (RIBEIRO, 2005).

¹⁷ Arquitetura Eclética refere-se a um período de transição da arquitetura predominante desde meados do século XIX até as primeiras décadas do século XX. Em arquitetura, o ecletismo é a mistura de estilos arquitetônicos do passado para a criação de uma nova linguagem arquitetônica. (Fonte: Bonametti, 2006).

Figura 20 - Vista da Escola Nacional de Belas artes, a esquerda Teatro Municipal



Fonte: Ferrez, 1910

Após esse período, as obras arquitetônicas começaram a seguir um novo padrão de estilo cultural, nas primeiras décadas do século XX, a partir da ascensão do totalitarismo e dos regimes fascistas, que se inspiraram no modelo norte-americano de produção fordista, como Art Déco. De acordo com Pinto, P. (2003), o Art Déco, foi o estilo presente no Brasil durante a Era Vargas. Todavia, esta arte foi pouco estudada no Brasil, pois a influência fascista gerava fortes reações da sociedade intelectual, sendo desprezada pelos intelectuais e pesquisadores.

Como um novo estilo arquitetônico que negava as edificações neoclássicas, o Art Déco necessitava da utilização das novas tecnologias construtivas para obtenção do produto final. Uma das tecnologias que estiveram alinhadas com as obras desse movimento foi realmente o concreto armado, que foi fundamental para o desenvolvimento e a aparência do Art Déco.

Segundo Loupiac (2013), o Teatro *des Champs-Élysées*, em Paris, como mostrado na Figura 21, foi executado em Concreto Armado, foi o primeiro edifício Art Deco concluído na capital francesa. Apesar do concreto dar maior

liberdade nas formas, a construção de concreto do edifício não foi apenas uma escolha arquitetônica, mas as condições do subsolo necessitavam do Concreto para realização do monumento.

Figura 21 - Teatro des Champs-Élysées em Paris



Fonte: Loupiac, 2013

O Art Déco foi um estilo de artes visuais, arquitetura e design que conseguiu se desvincular da linha clássica e barroca, mantendo, porém, a devida consideração a ornamentação, uma ornamentação original, ora mais orgânica, ora mais geométrica, sem se deixar dominar pelo viés estritamente funcionalista e monótono do modernismo. Todavia, isso só foi possibilitado graças o desenvolvimento das tecnologias construtivas da era industrial como uso do concreto armado, permitindo linhas retas e formas retangulares bem marcadas. O ápice do estilo Art Decó foi o surgimento dos arranha-céus americanos, que representaram um avanço gigante na engenharia e exibiram uma sociedade moderna e tecnológica. (PINTO, P., 2003).

2.2 Modernismo e suas tecnologias construtivas

No Brasil, durante as comemorações do Centenário da Independência, em 1922, os sentimentos de nacionalismo, já despertados durante o período da 1ª Guerra Mundial, se intensificaram nas academias, tanto nas áreas da Literatura

como também da Arquitetura. A Semana de Arte Moderna em fevereiro de 1922 em São Paulo, objetivava, de certa forma, causar rupturas com os pensamentos e expressões que só designavam a arte como restrita às elites cafeicultoras. De certo modo, observa-se a temática expressa nas principais obras, observando assim, uma profunda preocupação com a atitude de “ser nacional”, “*tupi or not tupi*”, como escreveria Oswald de Andrade no seu manifesto de 1928 (BITTAR, 2005).

Segundo Loupiac (2013), a arquitetura moderna surge juntamente com a gênese do Movimento Moderno. As transformações estéticas propostas surgem pelas vanguardas no início do século XX, em especial o Cubismo e o Construtivismo. Nesse período, os modernistas brasileiros consideravam que a forma arquitetônica não deveria ser somente ligada aos princípios das vanguardas, mas, deveria buscar uma conciliação entre os princípios consagrados pela tradição com a atualização tecnológica, a adequação aos novos programas, o uso das técnicas construtivas disponíveis e a preocupação com as condições climáticas e outras referências locais (MARQUARDT, 2005).

Os primeiros conceitos que viriam a constituir a arquitetura moderna surgiram no final do século XIX, e consistiam nas revoluções da tecnologia, engenharia e materiais de construção, com desejo de romper com os estilos arquitetônicos históricos e fazer algo funcional e novo.

Segundo Fry (1982) a arquitetura nos primeiros anos do século XX tinha o domínio das classes privilegiadas. Com o propósito de ruptura com esse domínio, a linguagem arquitetônica modernista buscava uma integração e democratização, trazendo o conceito de funcionalidade do edifício e, dessa maneira, transformando a era da máquina em arte.

As transformações que a sociedade brasileira vivenciou durante a Era Vargas, foram decorrentes do modelo socioeconômico, onde a sociedade deixa de ser agrária expressando, paulatinamente, um novo modelo de desenvolvimento industrial, cujo movimento modernista almejava a integração de suas raízes com a experiência dos países centrais e a herança europeia, transmutando tudo em cultura, como pregava o manifesto antropofágico do referido período modernista.

Couto, J. (2000) cita que nas primeiras décadas do século XX, as tendências construtivas necessitariam de um novo elemento que permitisse

materializar o racionalismo e a modernidade de base tecnológica representados pelas grandes máquinas. Dessa maneira, o desenvolvimento tecnológico que passava a ser, lentamente, a nova emblemática no mundo ocidental deslocava a problemática para as novas construções, consideradas obras da engenharia naquele momento e fornecendo a base para a transformação da linguagem arquitetônica.

No início da década de 1920 o Modernismo, como expressão da modernidade, representava uma nova civilização industrial, que significou a confirmação da cultura tecnológica. A arquitetura modernista foi justamente baseada na abstração de elementos tecnológico. Todavia, tratava-se de inovações eminentemente tecnológicas com analogias às estruturas das catedrais góticas da Idade Média e que aparecerá em todas as abordagens sucessivas ao modernismo e vigente até os dias de hoje (LE CORBUSIER, 1977).

Banham (2006) cita a funcionalidade da arquitetura e a tecnologia, a nobreza do funcionalismo que não pode ser esquecida, “a forma segue a função”. Ele cita, sobre este processo, uma aceitação arquitetônica nos anos 20, e que a nova arquitetura não devia ser defendida por sua estética ou simbolismos, mas com bases lógicas e econômicas. Segundo o autor, a chegada do concreto armado e os avanços técnicos para as inovações arquitetônicas no século XX, permitiu o salto na plasticidade e resistência entre os materiais na construção civil. Essas novas tecnologias permitiram a criação de estruturas não vistas ainda na arquitetura.

Segundo Couto, J. (2000) a relação da tecnologia e arquitetura na obra de um dos principais nomes da arquitetura Brasileira no Século XX, Lúcio Costa, levantam atualmente diversas questões a serem examinadas em sua obra edificada. Dessa forma, Lúcio Costa queria saber como aqueles elementos técnico-construtivos, oscilando entre sofisticação técnica e materialização rude, poderiam dar concepção da nova arquitetura moderna mundial daquele momento. Dessa maneira, percebemos que as características e o valor da tecnologia na arquitetura modernista são muito estudadas, pois, a tecnologia faz parte da composição e do projeto arquitetônico e que essa ligação também referencia as influências do contexto na Composição arquitetônica de Lucio Costa.

Couto, J. (2000) também ressalta que as obras no período modernista são os objetos da aplicação da tecnologia construtiva da época aos elementos da teorização de Lúcio Costa. Consequentemente, as suas obras permite a avaliação de como as tecnologias construtivas referenciam as formas arquitetônicas. As obras de Lúcio Costa mostram, de fato, o material rico, qualidades de sintaxe dos elementos construtivos com os elementos formais. Segundo o autor, essa sintaxe também é vista como uma coordenação entre os elementos arquitetônicos e de sua composição.

Durante o período do modernismo as contribuições tecnológicas na arquitetura de Costa, de certa maneira, contribuíram para enraizamento desse período em que a indústria e a engenharia concretizavam as ideias da arquitetura, viabilizando e determinando a composição do formato final dos monumentos. Visando a contribuição tecnológica das obras de Lúcio Costa, Couto, J. (2000) conseguiu analisar algumas obras em pontos que tornam-se interessantes e importantes para engenharia como:

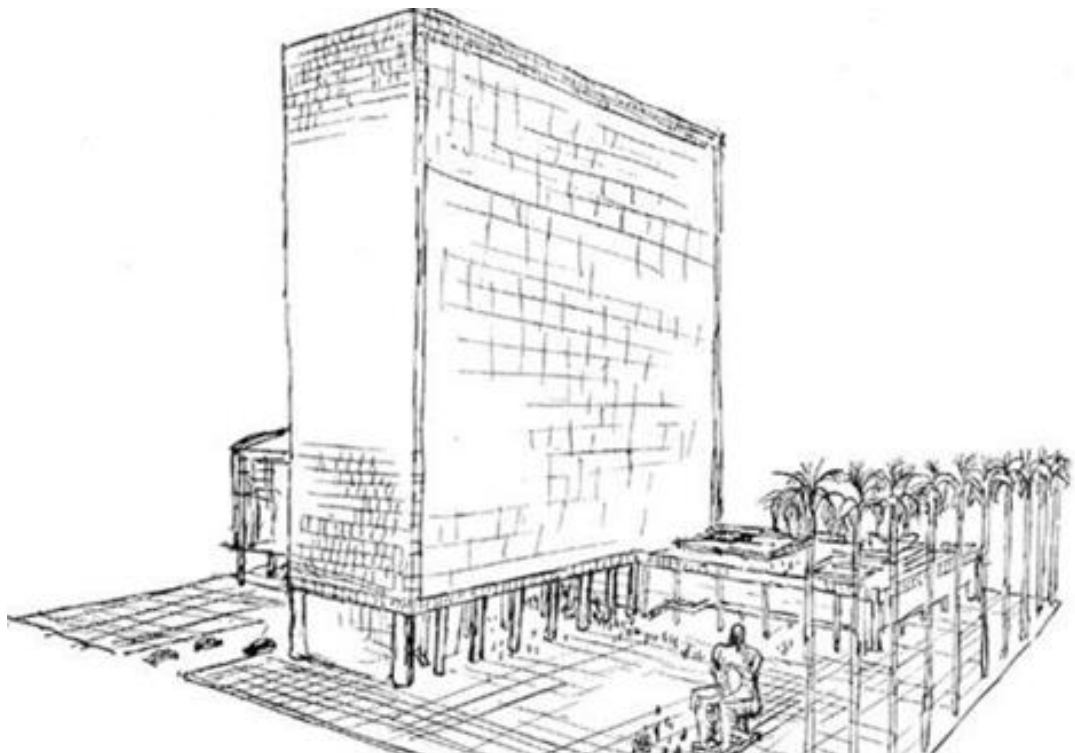
- Composição com o sistema estrutural – destacando as vigas, treliças planas, espaciais, pilares ou colunas, balanços, sistemas de lajes, nervuras, grelhas de aço, concreto armado ou madeira.
- Composição com os elementos referentes ao clima - reconhecendo como os elementos tecnológicos de controle de vedações e aberturas além dos efeitos da dilatação e do vento.
- Composição com os elementos das técnicas construtivas – reconhecendo como os elementos e materiais de forma particular e das técnicas construtivas compõem a forma adotada.
- Composição com os elementos das instalações técnicas – reconhecendo os elementos técnicos com influência na composição, em que as formas tem ligação aos sistemas de instalação como: iluminação, hidráulica, mecânica, condicionamento artificial do ar, circulações, comunicações e segurança.

O edifício do Ministério da Educação e Saúde, mostrado na Figuras 22 e Figura 23, é considerado o marco inicial da arquitetura moderna Brasileira, e foi

objeto de estudo de caso por Couto, J. (2000). Construído na antiga capital federal, Rio de Janeiro, no governo Vargas, no período de 1936 a 1945, o projeto final resultou da adaptação do projeto original de Le Corbusier por uma equipe de arquitetos que contava com Lúcio Costa e Oscar Niemeyer, e caracteriza-se pela exposição das tecnologias construtivas utilizadas em sua forma.

Nele Consiste os Princípios corbusianos, que segundo Le Corbusier não se tratava de uma adaptação ao clima ou aos materiais da região, mas sim da flexibilização dos “cinco pontos corbusianos”¹⁸ para se obter máximo proveito dos efeitos. Dessa forma, o caráter tecnológico aplicado ao Ministério e sua coordenação modular, possibilitou um alto desempenho racional construtivo pelo ajuste e adequação dos vários sistemas.

Figura 22 - Projeto do Antigo Ministério da Educação e da Saúde RJ



Fonte: Folha de São Paulo, 2018

¹⁸ Cinco pontos de Le Corbusier: fachada livre; janelas em fita; pilotis, terraço jardim; planta livre (Fonte: Loupiac, 2013).

Figura 23 - Palácio Gustavo Capanema, antigo prédio do Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro



Fonte: Nunes *et al.*, 2020

Na concepção das técnicas e materiais construtivos empregados no edifício, evidencia a adequação do material ao clima litorâneo e sua aplicação pertinente, cujos revestimentos e azulejos, após décadas, ainda estão preservados.

Na concepção estrutural, segundo Couto, J. (2000), Costa queria se basear no o sistema de estrutura independente, tipo *dom-ino*¹⁹, com uma estrutura em recuo em relação à fachada, uma lógica construtiva baseada na incorporação de elementos definidores do espaço arquitetônico sobre uma estrutura-suporte e com as lajes em balanço.

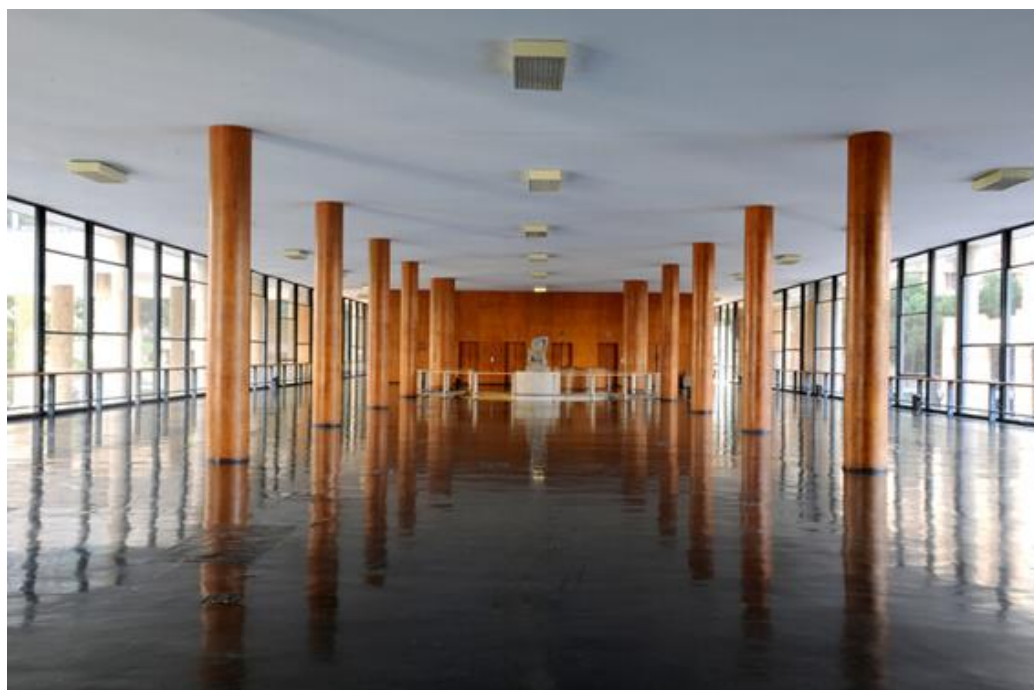
Esse tipo de estrutura em dom-ino foi adotada por Costa e sendo empregado pela primeira vez em um grande edifício, um desafio de cálculos estruturais enfrentado pelo engenheiro Emílio Baumgart. Como solução para o contraventamento, Baumgart contrariou as normas vigentes e atribuiu às lajes

¹⁹ O sistema *dom-ino* define-se pela utilização de lajes horizontais, numa comunicação livre através do uso de escadas, onde o recuo dos pilares permite desenvolver a retórica da fachada livre da estrutura. É uma ideia para a fabricação em série, que combina uma ordem que Le Corbusier estabeleceu, analisando as suas características formais ao perceber-se que as relações entre os seus elementos são, para além de físicas, dimensionais e proporcionais, superando as justificativas meramente funcionais para o arranjo entre os seus elementos. (Fonte: Palermo, 2006).

planas do pilotis, a função de vigas dispostas horizontalmente, apoiadas nas paredes cegas laterais.

A partir desse período surgiu o termo de laje cogumelo, que são lajes apoiadas diretamente nos pilares. Já os pilotis, são um espaço vazado, como mostrado na Figura 24, concebido para ser a transição entre o domínio público e o privado, é composto com a inovação tecnológica dos cálculos estruturais do concreto armado. Dessa forma, Observa-se a influência do projeto arquitetônico no desenvolvimento de tecnologias construtivas, tema do presente trabalho, uma vez que o pilotis sugerido em projeto é composto por inovação tecnológica dos cálculos estruturais do concreto armado, revelando a altura, o espaçamento e esbelteza das colunas (COUTO, J., 2000).

Figura 24 - Pilotis no ambiente interno no Palácio Gustavo Capanema



Fonte: Nunes *et al.*, 2020

2.3 Brasília e sua Catedral

Com a intenção de dar continuidade do processo de interiorização do território brasileiro, Juscelino Kubitschek com seu *Slogan*, Cinquenta anos em Cinco, define pela construção de Brasília em 1956. Para construção da nova capital federal fora organizado um concurso, cujo vencedor foi Lucio Costa.

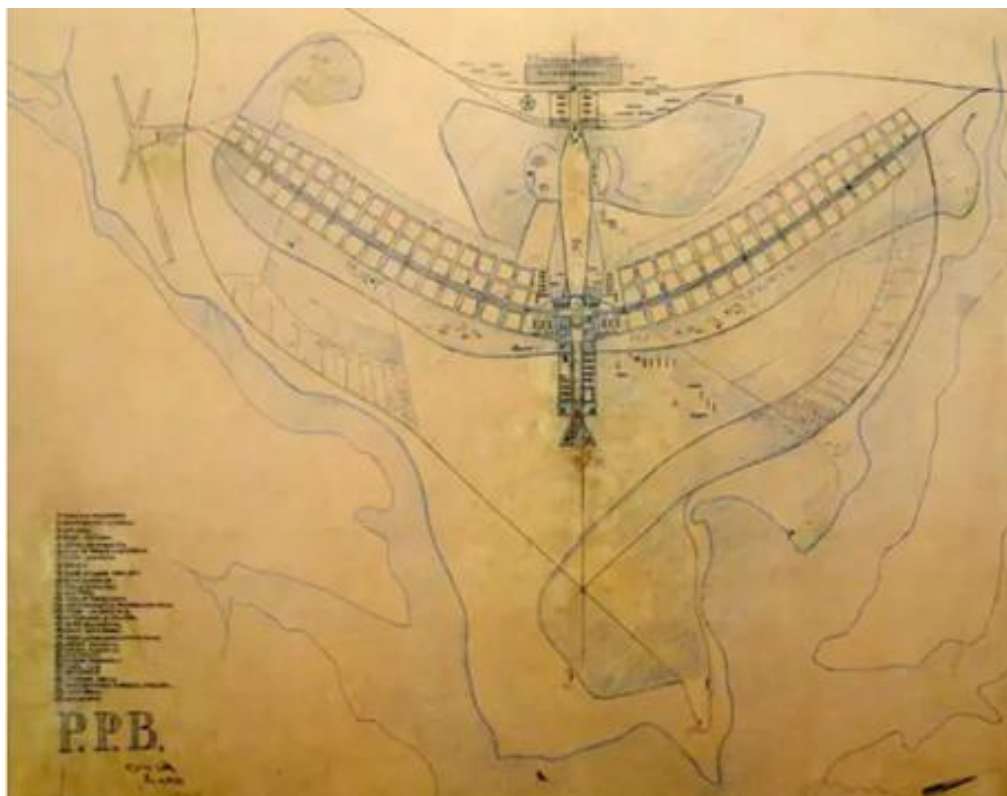
O projeto urbanístico da nova capital federal, segundo Lúcio Costa, “nasceu de um gesto primário de quem assinala um lugar”: dois eixos de

cruzando com ângulos retos, referenciando um próprio sinal de cruz”, o que também fazia referência ao cruzeiro do sul. Entretanto, devido as questões topográficas o traçado do eixo horizontal teria que ser adaptado, como mostrado na Figura 25, com as questões hidrográficas e do relevo, fazendo o traçado de Brasília lembrar uma forma estilizada de um avião (PESSOA, 2002).

A capital federal apresenta um caráter moderno, obras que eram bem diferentes dos padrões das outras grandes cidades brasileiras, principalmente em questões de horizontalidade. Brasília foi construída com avenidas largas para prever os congestionamentos, além disso, tudo parece ser distante, pois a cidade foi construída para o automóvel (PESSOA, 2002).

O eixo transversal Leste-Oeste (Plano Piloto) recebeu os centros cívicos e administrativo, além do setor comercial e cultural. Nele se conFigura os edifícios autônomos que compõem a praça dos três poderes.

Figura 25 - Projeto que venceu o concurso para construção da nova capital



Fonte: Tavares, 2004

O responsável pelos projetos dos edifícios públicos e monumentos da nova capital foi Oscar Niemeyer, como mostrado na Figura 26. A parceria entre Oscar Niemeyer e Lúcio Costa possibilitou a construção de uma cidade monumental totalmente projetada, o que era diferente da antiga capital, na qual

essa era moldada conforme a urbanização espontânea, até a necessidade de intervenção pelo então prefeito Pereira Passos, no Governo de Rodrigues Alves.

Figura 26 - Esplanada dos ministérios em construção



Fonte: Governo do Distrito Federal, 1959

Os monumentos arquitetônicos projetados por Niemeyer foram possíveis de se concretizar graças o uso da Engenharia com suas tecnologias construtivas. O uso do concreto armado em formas curvas com tamanhos monumentais possibilitou a criação de edifícios com uma estética única, espaços públicos e privados levando Brasília a caracterização de Patrimônio Cultural da Humanidade²⁰.

Segundo Pessoa (2002) na Capital Federal existem inúmeras edificações de características arquitetônicas modernistas. O Congresso Nacional, Palácio da Alvorada, Supremo Tribunal Federal, Palácio do Itamaraty e a perspectiva ortogonal das formas simétricas dos Ministérios, além da Catedral de Brasília, mostrada ao fundo com Niemeyer na Figura 27.

²⁰ O conceito de Patrimônio Cultural da Humanidade encerra o entendimento de que sua aplicação é universal. Os sítios do Patrimônio Mundial pertencem a todos os povos do mundo, independentemente do território em que estejam localizados. Marco da arquitetura e urbanismo modernos, Brasília é detentora da maior área tombada do mundo – 112,25 km² – e foi inscrita pela UNESCO na lista de bens do Patrimônio Mundial em 7 de dezembro de 1987, sendo o único bem contemporâneo a merecer essa distinção. (Fonte: Patrimônio Cultural da Humanidade, 2022).

Figura 27 - Oscar Niemeyer e a catedral metropolitana de Brasília



Fonte: Muller, 2003

A Catedral de Brasília, objeto de estudo de caso desse trabalho, está localizada em uma praça autônoma de forma isolada, representando a separação da Igreja e do Estado, reafirmando a laicidade do Estado (PESSOA, 2002). O autor, também ressalta que a localização fora escolhida por uma questão de escala, para valorização do monumento.

Niemeyer, à época, afirmou que o projeto de uma catedral permite a maior liberdade de concepção, dada a simplicidade do programa com relação ao ritual sacro. Para o projetista, desenvolver ambientes cujo sistema construtivo seja aplicável é um grande desafio. Consequentemente, o problema é assim conduzido para o setor das grandes estruturas, sendo necessário técnicas de engenharia mais avançadas. E, nessa evolução, estão as primeiras construções em pedra, e as conquistas da arte romana e gótica, até a época presente (NIEMEYER, 1958).

A Catedral de Brasília é um monumento cujo projeto arquitetônico é de autoria de Niemeyer e o projeto estrutural do Engenheiro Calculista Joaquim Cardozo. Ela está localizada próxima à Esplanada dos Ministérios e foi construída em dois períodos diferentes, delongando por mais de uma década até sua conclusão. Na Primeira Fase (1959 a 1960) foi executada a estrutura da Catedral. No período de (1969 a 1970) retornaram à construção e foram edificadas as estruturas dos espelhos d'água, Batistério e o Campanário.

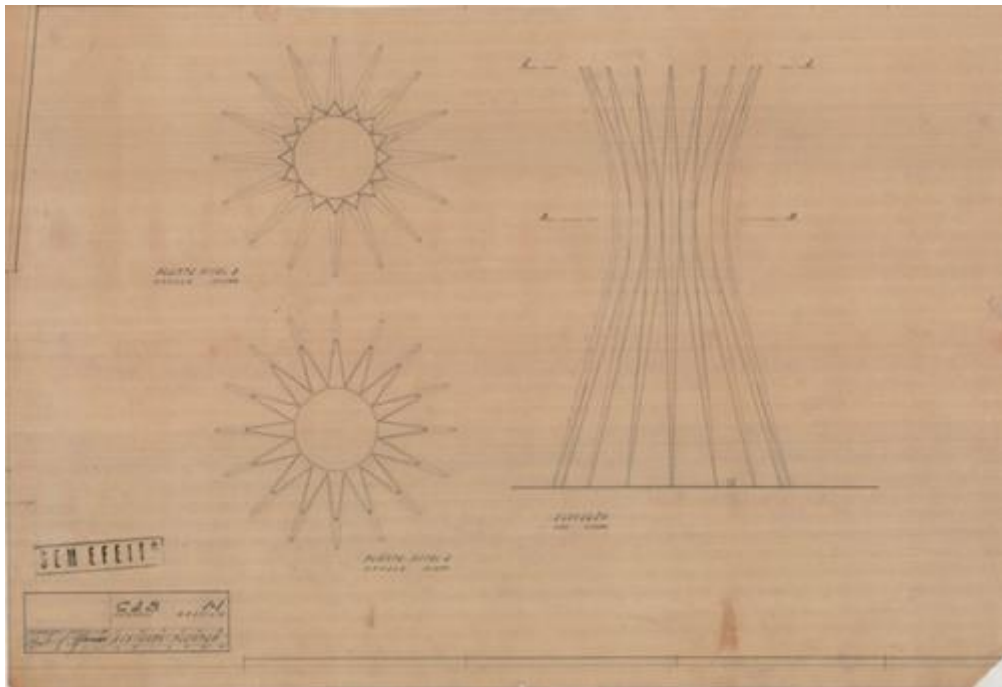
A catedral, assim como Brasília, é tombada como patrimônio cultural da humanidade. O projeto da catedral é uma obra original e majestosa, cujo

projetista fez uso de uma solução cenográfica: do corredor subterrâneo da entrada, escuro, aludindo ao purgatório, até a chegada na nave, iluminada pelos vitrais que simbolizam a chegada do fiel ao reino celestial. Entre as colunas, os vidros refratários e de cor neutra foram pensados de modo a manter o interior em ambiente suave. Além disso, Oscar Niemeyer teve a ideia de lançar uma estrutura de elementos com formato hiperbólico. Dessa forma, ele pensou em uma estrutura composta por 16 montantes de concreto que ao invés de se unirem elas convergem de forma bruta com tensão, com aspecto de duas mãos estendidas de dedos abertos de clamor. Há também alguns que comparam com a coroa de Cristo (BRITO *et al.*, 2000 *apud* Pessoa, 2002).

Segundo Niemeyer a Catedral de Brasília foi projetada com uma pureza que se apresentada de qualquer ângulo é vista de mesma maneira. A forma circular adotada, que além de garantir essa característica, oferece à estrutura uma disposição geométrica, racional e construtiva dando destaque na escala do monumento e também dando destaque a sua localidade próxima aos ministérios.

De acordo com Brito *et al.* (2000, *apud* Pessoa, 2002), Niemeyer contava com total confiança em Joaquim Cardozo para os cálculos estruturais da obra. Inicialmente o projeto arquitetônico utilizava-se de 21 hipérboles e altura de 40 metros. Por questões estéticas foram reduzidas a 16 hipérboles com 30 metros de altura, como mostrado na Figura 28. O anel da base, em um primeiro momento, seria de 70 metros e apoiado no chão e uma coroa no topo. Todavia, por questão de estabilidade, a coroa ficou 10 metros abaixo do topo, e anel da base com 60 metros de diâmetro. A catedral traz um contraste, segundo o autor, da simplicidade da planta baixa com a complexidade da solução estrutural e volumétrica do monumento.

Figura 28 - Planta e elevação da Catedral, desenhos técnicos iniciais



Fonte: Lima, 2019

Internamente na estrutura da catedral esta é toda revestida de mármore, somando uma carga aproximada desse material de 50 KN. Dessa forma, a Catedral possui três esculturas em duralumínio suspensas por cabos de aço no centro do monumento, totalizando uma carga de 5 KN e todas esculturas foram realizadas pelo escultor Dante Crose e Alfredo Ceschiatti, em 1970. Além disso, a catedral, em uma de suas reformas, foi reinaugurada com instalações vitrais da artista plástica Marianne Peretti, com um total de 2.200 m² de área pesando cerca de 80 toneladas (BRITO *et al.*, 2000 *apud* Pessoa, 2002).

Apesar da breve descrição da Catedral, alguns dados referentes ao monumento como os materiais utilizados, os métodos e técnicas construtivas, estarão discorridos nos próximos capítulos.

3. METODOLOGIA

Este trabalho de conclusão de curso teve como base uma metodologia qualitativa, através de um estudo de caso²¹, embasado por uma revisão bibliográfica. Assim, após a etapa de levantamento de dados bibliográficos, foi realizada uma pesquisa *in loco*, motivada pelo ensejo de entender e interpretar o assunto abordado, aplicando tais conhecimentos no referido estudo de caso.

No estudo de caso, o pesquisador é o principal instrumento de coleta e análise de dados, quando não é o único, como isso haverá momentos em que sua condição humana será altamente vantajosa, permitindo reagir imediatamente, fazer correções, descobrir novos horizontes, bem como, terá situações em que essa condição pode levar a cometer erros, perder oportunidades, envolver-se demais com certos casos e menos com outros. Saber lidar de forma consciente e ativa com sua condição humana é o desafio principal que o pesquisador deverá enfrentar (ANDRÉ, 2008, p. 38-39).

Segundo o autor, o estudo de caso é uma forma particular de estudo, em geral, recorre a técnicas de coleta de dados comuns a outras metodologias como: observação, entrevista, análise de documentos, gravações, anotações de campo, mas, “não são as técnicas que definem o tipo de estudo, e sim o conhecimento que dele advém”.

O caminho metodológico adotado foi desenvolvido conforme descrito a seguir:

3.1 Revisão e coleta de dados

A etapa inicial do trabalho foi composta por uma revisão bibliográfica de trabalhos científicos pertinentes já realizados, tais como artigos, publicações, Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC), Dissertações, Teses e documentos impressos, entre outros materiais acadêmicos e não acadêmicos relacionadas ao tema. Concomitantemente foi realizado levantamento de dados importantes

²¹ O Estudo de Caso – enquanto método de investigação qualitativa – tem sua aplicação quando o pesquisador busca uma compreensão extensiva e com mais objetividade e validade conceitual, do que propriamente estatística, acerca da visão de mundo de setores populares. Interessa ainda as perspectivas que apontem para um projeto de civilização identificado com a história desses grupos, mas também fruto de sonhos e utopias. (Rocha, 2004).

para o desenvolvimento do trabalho, acerca do objeto de estudo, junto a órgãos do Distrito Federal, como a NOVACAP²², entre outros.

Assim, nessa primeira etapa do trabalho, foi preciso delimitar um universo de pesquisa de um extenso acervo encontrado impresso e principalmente, digital. As informações contidas nessa pesquisa foram encontradas tanto em publicações digitais, como em acervo bibliográfico da biblioteca do Instituto Federal de Goiás no campus Goiânia, além de pesquisas na Biblioteca Central da Universidade de Brasília.

Outros lugares em que houve a busca por informações e registros fotográficos foram a supracitada NOVACAP e o próprio monumento objeto do estudo de caso - a Catedral Metropolitana de Brasília, ilustrada na Figura 29.

Figura 29 - Catedral Metropolitana de Nossa Senhora Aparecida



Fonte: Autor, 2022

3.2 Delimitação do estudo bibliográfico

Após a coleta das informações, iniciou-se a etapa de delimitação da bibliografia, uma vez que havia muitos materiais nos portais digitais, mas nem

²² A Companhia Urbanizadora da Nova Capital (Novacap) é uma empresa estatal brasileira do Distrito Federal, fundada em 19 de setembro de 1956 mediante aprovação da Lei nº 2874/1956[2] sancionada pelo presidente Juscelino Kubitschek, que previa em seu Art 2º a constituição da Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (Novacap) e no Art 3º as atribuições da Novacap. (Silva, 2006).

sempre de qualidade. Sendo assim, foi necessário uma filtragem e direcionamento da pesquisa.

Assim, nessa fase das pesquisas bibliográficas, focou-se no estudo de desenvolvimento de tecnologias construtivas que contribuíram para realização de vários monumentos históricos e edifícios que são mencionados durante todo o trabalho ao longo dos séculos.

Como base de dados para a pesquisa, foi utilizada a plataforma Periódico Capes, através do acesso Cafe. Dessa maneira, através da supracitada plataforma, foi possível o acesso a publicações em revistas acadêmicas e artigos científicos. Além desse portal, o uso do Google Acadêmico direcionou tanto a trabalhos e publicações não acadêmicas, quanto acesso à depoimentos de pessoas que participaram em várias construções de autoria de Niemeyer e Lucio Costa.

3.3 Pesquisa bibliográfica e tipo de recorte temático

Foram encontrados artigos científicos, sobre tecnologias construtivas ao longo da história da humanidade. Para encontrar e armazenar publicações relevantes sobre o recorte “A Influência do projeto arquitetônico no desenvolvimento de tecnologias construtivas”, fez-se necessário, em um primeiro momento, uma busca automatizada para encontrar artigos e publicações acadêmicas e não acadêmicas que pudessem servir como base de apoio para início do trabalho e, em seguida, foi comparada as referências com a de outros artigos de revisão para ter uma aproximação do recorte temático.

Alguns critérios de inclusão e de exclusão foram levados em consideração, uma vez que a busca por bibliografias gerou um conjunto de artigos considerados não pertinentes ao tema e outros com algumas deficiências metodológicas notáveis que diminuía a validade da informação que continham. Os artigos de publicação internacionais foram considerados, uma vez que a arquitetura de Oscar Niemeyer é de grande referência modernista. Já os relatos pouco pertinentes e artigos sem qualquer natureza de cunho metodológico foram descartados.

Esses artigos, em sua grande maioria, foram encontrados através do portal Periódico Capes, por meio de pesquisas automatizadas compostas. Dessa maneira, utilizou-as seguintes palavras chaves com diferentes combinações

entre si, vinculadas por operadores booleanos disponíveis no portal (“OR” e “AND”): Tecnologias, Grécia, Arquitetura, Projeto, Estrutura, Idade Média, Revolução Industrial, Forma, Catedral de Brasília, Engenharia, Monumentos, Modernismo, Art Déco, Joaquim Cardozo, Brasília, Lúcio Costa, Niemeyer.

3.4 Análise e síntese das informações

Nessa etapa do trabalho houve a necessidade de dividir a temática de estudo ao longo da linha do tempo, pesquisando sobre as tecnologias construtivas desenvolvidas para alcance do resultado esperado desde a pré-história, passando pela antiguidade ocidental e chegando na idade contemporânea, especificamente no Brasil do século XX com a ascensão do movimento modernista e suas influências socioculturais.

Com intuito de obter a maior delimitação de informações ao longo da história da arquitetura mundial, priorizou-se a busca por artigos e pesquisas que retratassem pelo menos um monumento marcante daquele período vivenciado, além dos métodos e tecnologias desenvolvidas para concretização desses monumentos e ou obras de arte.

Outro ponto também importante para construção do corpo do trabalho foi a organização e combinação da informação extraída, uma vez que há muita informação disponível, e assim evitar que as informações coletadas gerassem conflitos de ideias ao longo do trabalho acadêmico. Logo, o estudo das tecnologias construtivas utilizadas buscou uma compreensão e justificativa da influência que o projeto arquitetônico provocou no desenvolvimento de tecnologias construtivas, ao longo dos anos, e seus desdobramentos no estudo de caso abordado.

3.5 Etapa estudo de Caso

O método qualitativo que caracteriza esse trabalho é o estudo de caso e este está delimitado no estudo da Catedral Metropolitana Nossa Senhora Aparecida. Esta matéria foi embasada, além da visita *in loco* e dos relatórios fotográficos, em fontes documentais, como mostrado na Figura 30, e de referência que influenciaram a organização e desenvolvimento do estudo de caso. Outras fontes como entrevistas, relatos e documentários, em publicações

não acadêmicas, referentes à temática aqui desenvolvida, fornecem uma dada sistemática do conhecimento em questão.

Figura 30 - Detalhes da Construção do Anel de tração da Catedral de Brasília



Fonte: Governo do Distrito Federal, 1959

Para a construção da temática do estudo de caso foi necessário, como citado ao longo do trabalho, a investigação das tecnologias construtivas influenciadas pelos projetos já idealizados ao longo da linha do tempo. O estudo da bibliografia do próprio Oscar Niemeyer, e de outros críticos de sua arquitetura, foi realizado cronologicamente, com foco nas suas principais obras, para identificar sua contribuição no desenvolvimento de tecnologias construtivas no período modernista, especialmente na tecnologia do concreto armado, que permitia formas livres e moldadas de aparência leves.

Além disso, para entender a influência do projeto da Catedral de Brasília nas decisões tecnológicas, foi necessário um estudo bibliográfico acerca do responsável pelos cálculos estruturais que possibilitou que a estrutura se concretizasse, o Engenheiro Civil Joaquim Cardozo, apreciação essa essencial para a construção desse trabalho.

As tecnologias da Catedral de Brasília que foram analisadas ao longo do trabalho tiveram como base a dissertação de Mestrado de Diogo Fagundes Pessoa. “A estrutura da Catedral de Brasília: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução intervenções e propostas de manutenção” feito em 2002, através de pesquisa, armazenamento, processamento e análise

de dados bibliográficos, identificou os estudos de tecnologias desenvolvidas que foram e ainda estão sendo empregadas na construção civil.

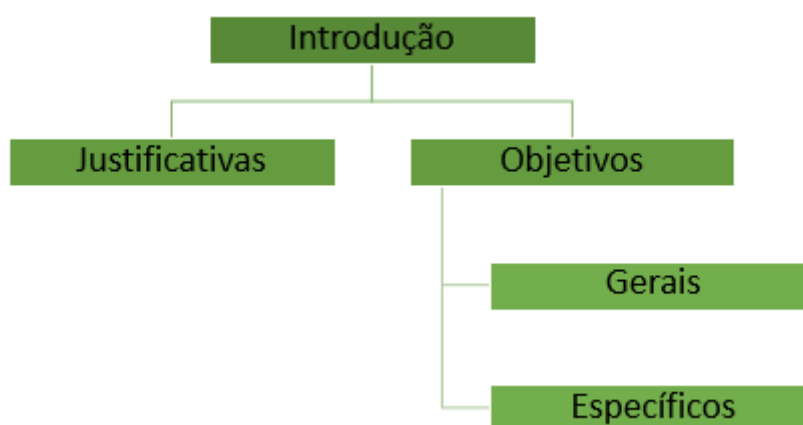
Além da análise dos estudos, relatórios de empresas como da NOVACAP, presente em vários dos artigos selecionados também foi fonte de pesquisa, além disso, foi pesquisado em repertórios de órgãos governamentais como “Brasília 360”, produzido pela câmara dos deputados sobre as construções daquele monumento e o estado da implementação de inovações que foram usados.

Com base na bibliografia citada sobre o desenvolvimento de tecnologias construtivas ao longo da história, estas cujo noção de projeto teve influência foram selecionadas. Foram vários procedimentos analisadas, sendo que o método em que a forma e o desenho mais influenciaram para o desenvolvimento das tecnologias tiveram maior destaque. Além disso, foi apresentado um embasamento teórico sobre as tecnologias construtivas desenvolvidas ao longo de toda contextualização histórica.

3.6 Estrutura do trabalho

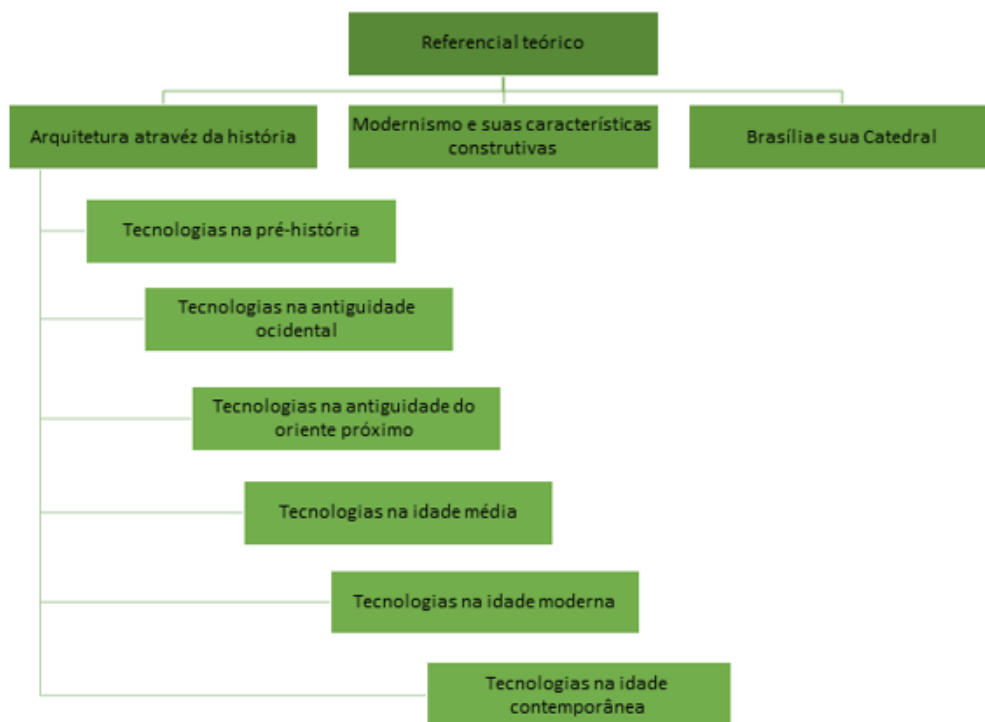
Considerando o método apresentado, a pesquisa foi composta de introdução, referências bibliográficas, metodologia, resultados esperados e referencias, como a estrutura definida a seguir.

Figura 31 - Estrutura da introdução



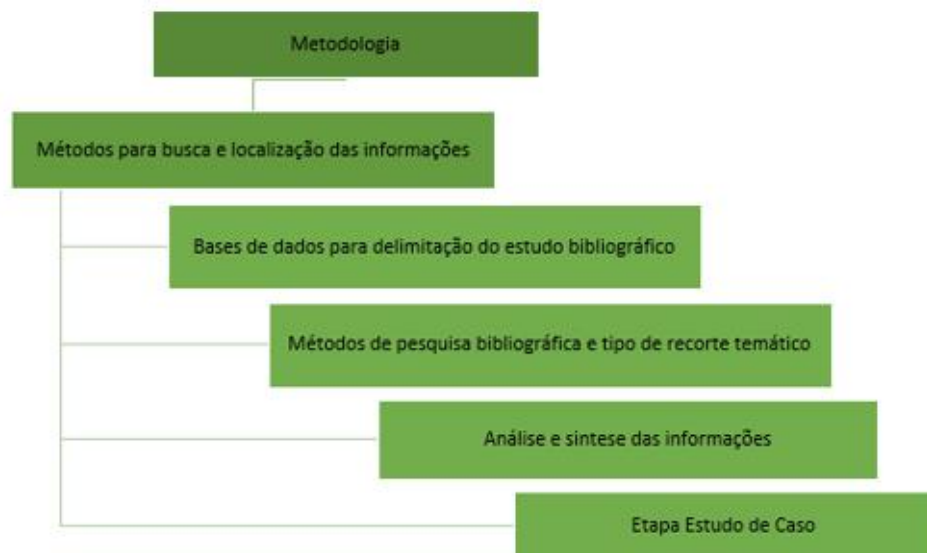
Fonte: Autor, 2022

Figura 32 - Estrutura da revisão bibliográfica



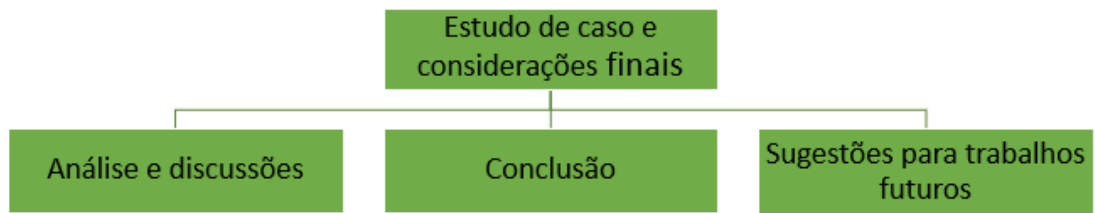
Fonte: Autor, 2022

Figura 33 - Estrutura da Metodologia



Fonte: Autor, 2022

Figura 34 - Estrutura das Considerações Finais



Fonte: Autor, 2022

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Oscar Niemeyer e Joaquim Cardozo

Por meio do estudo de obras marcantes na arquitetura nacional e internacional foi possível observar a importância do conhecimento técnico e do sistema estrutural para a realização de uma arquitetura de boa qualidade. Desde a arquitetura gótica da catedral de Notre Dame, na França, com seus arcos funiculares, transferindo os esforços para os apoios pelo caminho mais natural, e passando pela construção das mais importantes pontes pelo mundo, pode-se observar a aproximação do sistema estrutural ao resultado formal e do espaço arquitetônico (INOJOSA e BUZAR, 2010).

Segundo o autor o trabalho de Niemeyer em Brasília é publicado em diversas publicações nacionais e internacionais, entretanto poucos engenheiros escrevem sobre as concretizações tecnológicas que acompanharam esse trabalho. Esse “desprezo” à história da Engenharia Estrutural de Brasília é questionado por Muller (2003), que destaca a obra da construção de Brasília como um acontecimento marcante na engenharia e na arquitetura mundial. Outro questionamento é a falta de estudos específicos, além disso, o autor ainda expõe outro problema, uma vez que boa parte das edificações de relevância histórica no país não apresenta registros adequados de sua concepção, cálculo e projeto estrutural.

Além disso, a nova capital federal pode ser considerada uma das cidades da Revolução Industrial, demandas por novos programas, infraestrutura e redes de comunicações que criaram um cenário ideal para a modernização da arquitetura e das técnicas construtivas. Isso se reflete principalmente sobre a tecnologia de inserção do concreto armado no período pós-1940 no Brasil, chegando-se à década de 1960 no auge desse período com a inauguração de Brasília. De acordo com Freitas (2013), tal processo foi reconhecido como momento de vulgarização de um conhecimento, antes, tido, como científico.

Os projetos arquitetônicos dos Palácios e Monumentos de Niemeyer são caracterizados pela sua própria estrutura, buscando assim soluções inovadoras, mas sempre dentro da lógica do sistema estático, buscando sempre o seu limite máximo da resistência dos materiais. Oscar Niemeyer procurou um apuro

tecnológico que permitisse a execução das suas formas projetadas e contou com apoio de Joaquim Cardozo. Para Inojosa e Buzar (2010), Niemeyer gostava de valorizar o trabalho do engenheiro, e ele sempre costumava dizer em suas publicações que na boa arquitetura quando a estrutura está pronta a arquitetura está presente.

Em 1956, Oscar Niemeyer foi nomeado diretor do departamento de arquitetura da Companhia Urbanizadora da Nova Capital (Novacap), empresa encarregada da construção de Brasília. Juntamente com Lúcio Costa elaborou um dos mais importantes exemplares da arquitetura mundial contemporânea, símbolo maior da arquitetura e do urbanismo brasileiros. Na nova capital federal projetou, entre outros edifícios, o Palácio da Alvorada, o Congresso Nacional, o Palácio do Planalto além do objeto do estudo de caso a Catedral de Brasília.

Os trabalhos de Niemeyer sempre foram marcados pela ousadia estrutural e pelo desafio tecnológico que esse atrevimento proporcionava a seus calculistas. Consecutivamente levando o concreto armado ao limite técnico permitido em cada época, Niemeyer teve uma relação muito especial com os engenheiros calculistas que acompanharam sua carreira, principalmente Joaquim Cardozo, que fora o engenheiro calculistas dos monumentos da Nova Capital como afirmou Inojosa e Buzar (2010).

Executar as estruturas projetadas por Oscar Niemeyer só foi possível graças a engenharia brasileira, sendo mais específico graças ao engenheiro calculista Joaquim Cardozo. Este participou dos projetos da Arquitetura Moderna no Brasil entre as décadas de 1930-1960. O trabalho do Calculista é reconhecido por ter levado o concreto armado ao limite enquanto meio construtivo, seja em edificações-ícones no Brasil como na Nova Capital do Brasil (NASCIMENTO, 2007).

Joaquim Cardozo e Oscar Niemeyer iniciaram sua colaboração em 1940, com o Cassino e a Igreja da Pampulha, na capital mineira. Segundo Macedo e Silva (2016), a engenharia brasileira firmara uma sólida base na tecnologia do concreto armado, Niemeyer e Cardozo procuraram soluções empíricas e inovadoras.

Na arquitetura de Niemeyer, amparada no talento inventivo de Joaquim Cardozo, o arquiteto pode explorar sua criatividade e criar formas puras, livres, onde a estrutura já exhibe a arquitetura, sem a necessidade e os excessos, sendo

que a beleza surge do equilíbrio a estrutural da forma.

Durante esse período, a carreira de Joaquim Cardozo é marcada pelos maiores desafios estruturais, como nos projetos da Catedral de Brasília, como também da Cúpula da Câmara dos Deputados, que além de cálculos extremamente complexos e sem referências na arquitetura vigente, tinham prazos, pois o *slogan* da capital era “50 anos em 5”, sendo necessárias investigações imediatas e as vezes até antecipadas, trazendo problemas e soluções (SANTANA, 1998).

Dessa forma observa-se que, através dessas inovações, fora desenvolvido uma tecnologia para responder aos ideais arquitetônicos almejados, como nave alta com grandes vitrais com grande transparência que, como no período gótico, demonstrasse o poder das instituições religiosas, haja vista que essas instituições sempre edificaram os seus monumentos, templos ou outras formas simbólicas, materializando o local do culto, como também exibindo o poder da instituição ao comunicar a mensagem religiosa proclamada, que une e identifica a comunidade de seus fiéis. Portanto, pode-se aludir que o mesmo processo pelo qual as tecnologias construtivas foram surgindo ao longo da história, em resposta aos partidos adotados, pôde ser verificado na edificação da Catedral de Brasília.

Já nos outros monumentos como, Palácio do Planalto e do Alvorada, os desafios eram os reduzidos pontos de apoio das colunas e a esbeltez dos perfis e das grandes e finas lajes desenhadas por Niemeyer segundo Inojosa e Buzar (2010),.

À vista disso, podemos enxergar Joaquim Cardozo como responsável por uma verdadeira revolução técnica na engenharia brasileira, estimulado e inspirado pelos projetos de grandes arquitetos com quem trabalhou durante toda sua carreira.

Segundo Nascimento (2007) a contribuição de Cardozo para a Arquitetura Moderna e o Urbanismo no Brasil não reside apenas no incrível talento que ele demonstrou ter na composição e no cálculo de estruturas de edificações projetadas para diversas de nossas metrópoles ao longo da vida profissional. A contribuição de Joaquim Cardozo está presente também no esforço, que empreende junto a outros engenheiros e arquitetos, em formar e consolidar um novo pensamento sobre a arte de construir no país.

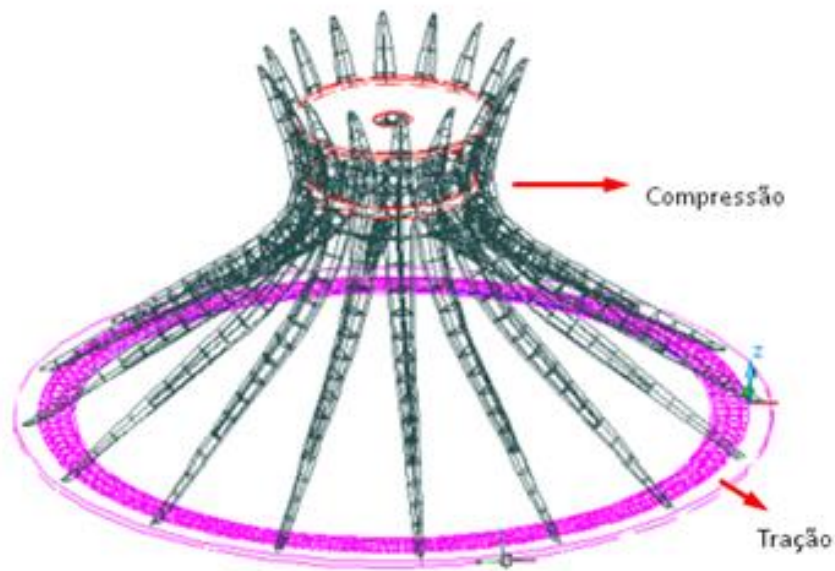
Segundo Macedo e Silva (2016), Joaquim Cardozo foi o interlocutor mais relevante de Niemeyer, se não em números de projetos mais em relevância. Para os autores o engenheiro contribuiu não só para as soluções estruturais das formas que Niemeyer pensou, como colunas leves e delgadas para sustentar toneladas de cargas, o que exige uma maturidade muito grande além cálculos estruturais muito precisos. Mas a forma abstrata de pensar do engenheiro foi decisiva no modo de projetar do Arquiteto durante e após a construção de Brasília.

Até os anos de 1930 a arquitetura e a engenharia não eram atividades dissociadas. Durante esse período engenheiros e arquitetos detinham tanto capacitação técnica e sólida quanto conhecimentos humanistas, possibilitando um intercâmbio de conhecimento, desenvolvendo uma sólida tradição de cálculos e construções de estruturas em concreto armado. Segundo Macedo e Silva (2016), o avanço das tecnologias envolvendo o concreto armado foi possibilitado pelo intenso intercâmbio tecnológico com centros de pesquisa europeus, além da grande emigração de jovens que se formaram na segunda metade do século XIX e início do século XX, além da imigração de profissionais e a construção de centros de pesquisa locais.

4.2 Catedral e suas tecnologias construtivas

Voltando para cenário do estudo de caso, a Catedral de Brasília é sustentada por uma sólida estrutura autoequilibrada composta por 16 pilares dispostos de forma circunferencial com relação a planta baixa de forma que ela dá a mesma vista olhada de todos os ângulos. A estabilidade da estrutura da Catedral, projetada por Niemeyer, foi possível graças o desenvolvimento de cálculos estruturais por Joaquim Cardozo de forma que os dois anéis de concreto trabalhassem de forma conjunta e oposta como mostrada na Figura 35.

Figura 35 - Estrutura da Catedral de Brasília



Fonte: Pessoa (adaptado), 2002

Segundo Muller (2003) no projeto da Catedral, Niemeyer utilizou a solução técnica como principal elemento arquitetônico. “Plasticamente livre e tecnicamente ousada”, esse recurso resume a beleza e o simbolismo que pede a função social de uma catedral, além de cumprir ainda outra função, muito evidente nas grandes catedrais do mundo, de expressar o potencial tecnológico de uma época como mostrada na Figura 36.

Figura 36 - Vista pelo eixo Monumental da Catedral Metropolitana de Brasília



Fonte: Autor, 2022

Segundo Inojosa e Buzar (2010) a simplicidade do programa arquitetônico e da planta baixa do conjunto contrasta com a complexidade estrutural adotada. Segundo o autor, apesar do interior da catedral ser todo revestido em mármore e com a presença das três esculturas de Alfredo Ceschiatti, os Anjos pendurados no teto como se pairassem sobre os visitantes, o grande destaque na Catedral continua sendo sua estrutura como mostrada na Figura 37.

Figura 37 - Anel ocultado na estrutura da Catedral de Brasília



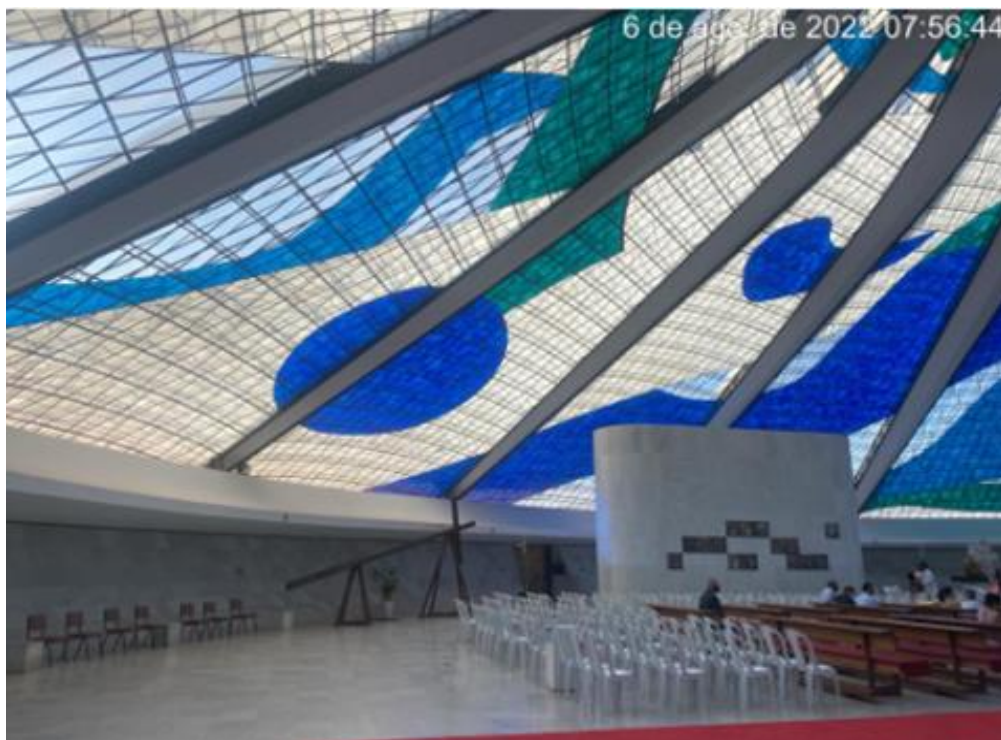
Fonte: Autor, 2022

Já em relação a composição estrutural, o anel superior da estrutura tem a função de absorver os esforços de compressão dos 16 pilares dispostos. Esse anel apresenta uma seção transversal de 22 cm de base e 90 cm de altura, passando por dentro dos pilares, não sendo notado aos olhos dos observadores como mostrado na Figura 36.

Já o anel inferior, Cardozo introduziu no nível do piso para absorção dos

esforços de tração, funcionando basicamente como tirante, reduzindo as cargas nas fundações, as quais só recebem apenas esforços verticais. Esse elemento estrutural é composto de quatro anéis, unidos por vigas laterais formando uma grelha, o anel mais externo combate aos esforços de tração mais externa, enquanto demais anéis absorvem menos carga. A grelha²³ composta por esses anéis funciona como uma marquise, que invade o interior da catedral, que ao contrário do anel superior, esse consegue ser visível na parte interna da catedral como mostra nas Figuras 38 e 39.

Figura 38 - Anel de compreensão dos pilares da Catedral



Fonte: Autor, 2022

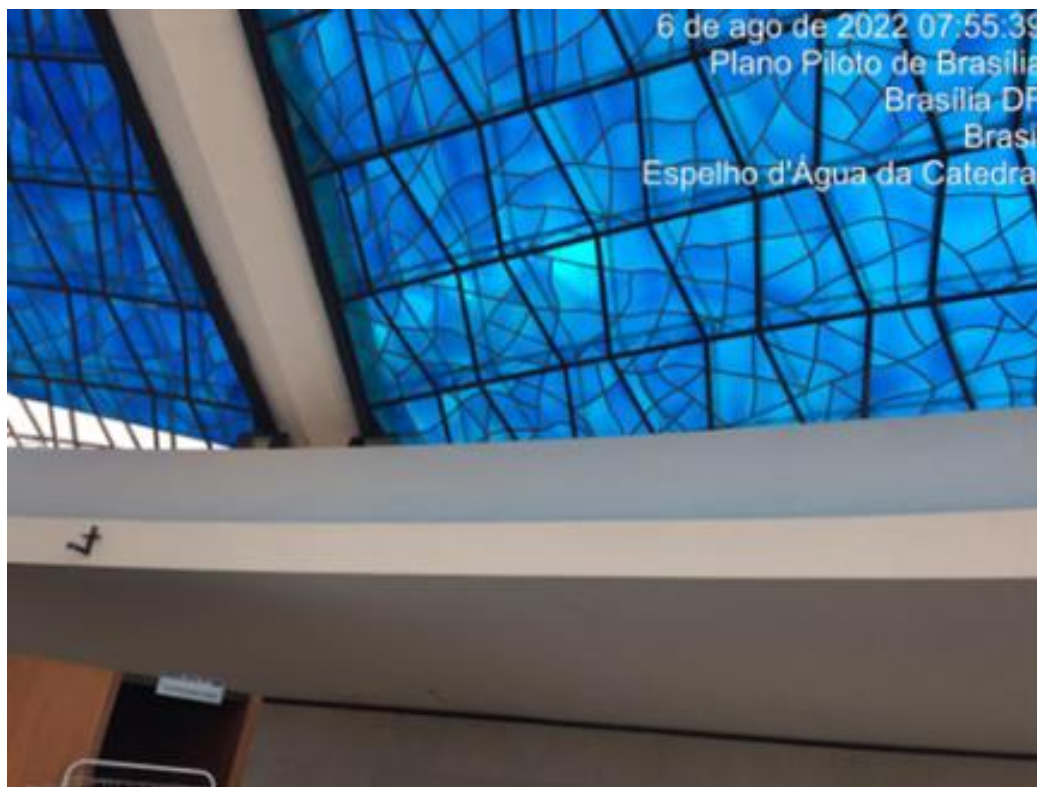
Segundo Cardozo (2009) em seu texto a Construção de Brasília:

A estrutura da Catedral é constituída de seis elementos de forma estranhíssima, 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 constitutivos da estrutura. Esses arcobotantes sustentam, ao alto, uma laje de coberta

²³ Estrutura formada pela repetição de elementos simples para cobrir grandes vãos, resistindo principalmente a cargas transversais fora do plano. As grelhas são estruturas planas com cargas na direção perpendicular ao plano, incluindo momentos em torno de eixos do plano. Os apoios de uma grelha apresentam apenas uma componente de força, que é na direção vertical, e duas componentes de momento. (Fonte: Martha, 2010).

de forma circular, com 16 metros de diâmetro, assim como sustentam, lateralmente, grande esquadria de vidros. A forma da catedral está teoricamente envolvida por uma série de superfícies tangentes: tronco-de-cone, zona de pseudo-esfera, duas zonas de toro (internas), e, na parte mais alta, uma zona de hiperbolóide de uma folha, e de revolução.

Figura 39 - Anel de tração em aproximação



Fonte: Autor, 2022

Já na laje de cobertura não existe função estrutural, servindo apenas como elemento vedação. Segundo Magalhães (2009), funcionário da Novacap e arquiteto responsável técnico da obra, em depoimentos escritos em 2001, os pilares do subsolo 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 concretização 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. O uso do

Neoprene faz com que a junção dos pilares com a fundação seja rótula, ou seja, anulando os momentos fletores²⁴ e transferindo para as fundações apenas os esforços verticais (PESSOA, 2002).

O Neoprene, utilizado como uma das tecnologias construtivas, possibilitou somente a transferência de esforços verticais da superestrutura para infraestrutura da Catedral de Brasília é um elemento estrutural absorvedor dos momentos fletores do vínculo superestrutural, mesoestrutural ou infraestrutural. Sua utilização é semelhante a uma rótula, havendo a união entre duas barras de uma estrutura em que não há transferência de momento fletor, dessa forma há uma liberdade de rotação em meio de uma estrutura e outra, transmitindo apenas esforços axiais e transversais (THOMAZ *et al.*, 2014).

Segundo Reis *et al.* (2018) na composição química do Neoprene encontra-se um elastômero incorporado com chapas de aço intercaladas com suas camadas. Por meio da vulcanização, as camadas do elastômero se aderem quimicamente às chapas de aço, contendo módulos de deformação transversal e longitudinal, além disso, no material existe uma alta resistência à compressão e alta resistência a intempéries.

O Neoprene também é muito utilizado nas superestruturas por conta da alta deformabilidade transversal e longitudinal, acondicionam movimentos de translação, seja qual for a direção e movimentos rotacionais ao redor de qualquer eixo por deformação elástica, assim, transferindo de um elemento estrutural a outro as cargas de projeto e absorvendo os deslocamentos em operação, tendo entre a superestrutura e a mesoestrutura ou infraestrutura uma articulação elástica (REIS *et al.*, 2018). Dessa forma, pode-se comparar que muitas estruturas de edifícios históricos como as antigas catedrais que não possuíam esse sistema de amortecimento, sofreram com os desgastes ao longo dos séculos, pois as placas de Neoprene que podem durar até 100 anos, amortecem as vibrações provocadas pela sobrecarga e o peso próprio, além de suportar a dilatação e a contração natural do concreto e ainda evitar o contato direto das

²⁴ O momento fletor representa a soma algébrica dos momentos relativos à seção YX, contidos no eixo da peça, gerados por cargas aplicadas transversalmente ao eixo longitudinal. Produzindo esforço que tende a curvar o eixo longitudinal, provocando tensões normais de tração e compressão na estrutura. Fonte: Hibbeler, 2010

estruturas de concreto.

Olhando para a fundação da Catedral, esta é composta por 16 tubulões com 28 metros de profundidade, de onde nascem os 16 pilares que suportam um anel de tração com 60 metros de diâmetro, separados por placas de Neoprene, como já comentado anteriormente. Deste anel, saem as 16 colunas que caracterizam a catedral como mostrado na Figura 40. Dessa forma, à medida que sobem os pilares, vão se encurvando e aumentando sua seção, que é triangular.

Figura 40 - Apoio da superestrutura nas placas de Neoprene



Fonte: Campos, 2010

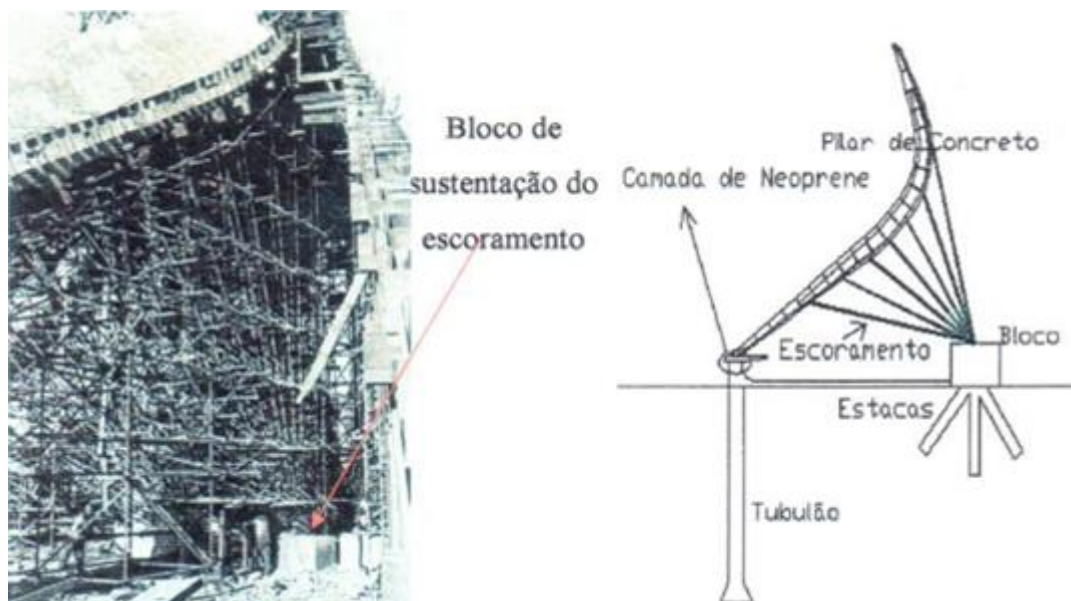
Aproximadamente em uma altura de 20 metros, as colunas se encontram, apresentando sua seção máxima. Nesse encontro há um anel de compressão de 13 metros de diâmetro embutido que impede que as colunas se fechem como mostrada na Figura 29. A partir daí, as colunas voltam a se afastar e afilar para cima, terminando pontiagudos com diâmetro de 23 metros.

Segundo Inojosa e Buzar (2010), os engenheiros que trabalharam com

Niemeyer também exerceram um importante papel na formação do arquiteto, conseguindo soluções estruturais inéditas em diversas épocas para possibilitar a realização da inventividade formal da arquitetura de Niemeyer.

Para executar a estrutura da catedral com êxito, por exemplo, foi necessário além dos cálculos de Joaquim Cardozo, o uso de estruturas auxiliares, como tecnologias construtivas, que serviriam de apoio aos escoramentos. Foram necessário a construção de 16 Blocos de fundação, com cada um dos blocos apoiados em 5 estacas de apoio como ilustrado na Figura 41. Correlacionando com as Catedrais medievais a tecnologia desenvolvida naquele período foram os arcos para transmissão das cargas para o solo. Além disso, nas laterais da catedral, ao invés de rígidas colunas e paredes maciças, comuns nas catedrais românticas, vemos a eliminação da massa através de uma sequência de arcos botantes e contrafortes que transmite as cargas até as fundações (LOPES *et al*, 2006). Dessa maneira, há uma relação direta da influência do projeto arquitetônico no desenvolvimento de tecnologias construtivas para colocar as estruturas das catedrais em pé.

Figura 41 - Estrutura de escoramento dos pilares



Fonte: Pessoa, 2002

Segundo o depoimento de Magalhães (2009), o projeto de escoramento da Catedral de Brasília foi montado em forma de leque e de material metálico para suportar a carga total das estruturas dos pilares. Além disso, Magalhães (2009) citou que a quantidade de escoramentos na Catedral de Brasília era surreal. Assim, as estacas de sustentação do escoramento foram cortadas na

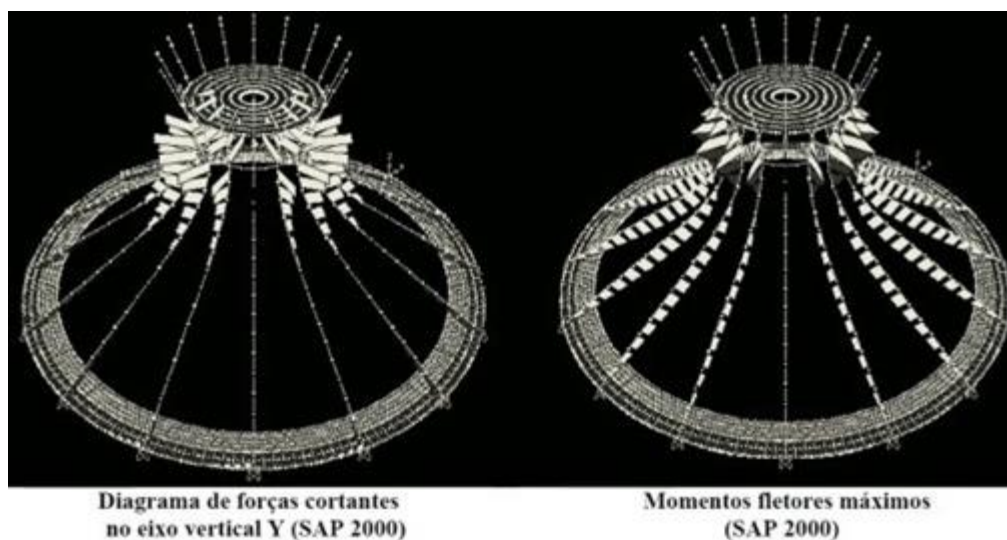
altura do nível do piso inferior e permanecem até hoje no subsolo do terreno da Catedral.

Apesar de não ter registros disponíveis sobre o projeto estrutura da Catedral de Brasília, a estrutura construída, bem como a bibliografia, também fornece dados adicionais à análise do projeto da Catedral. Segundo Aguiar e Favero (2020) a grelha que compõe o anel inferior de tração por exemplo é fechada por lajes nas faces superior e inferior das vigas radiais e o conjunto se apoia em pilares-parede²⁵, que conformam os limites do subsolo.

Segundo o autor, ponto de vista funcional surge a principal contradição proveniente da imposição da forma. Os arcobotantes das construções medievais, com os quais Cardozo (2009) chega a fazer uma analogia, tinham como função estrutural equilibrar as forças de tração provenientes das 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 como mostrado anteriormente na Figura 11. Todavia, segundo Aguiar e Favero (2020), as colunas curvas de Niemeyer têm 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 principais de flexão, como é possível constatar nos diagramas de momentos fletores e de esforços cortantes derivadas dos softwares, mostrado na Figura 42, essas estruturas de concreto deixam de funcionar como colunas, pois não estão presentes os esforços de compressão, o que mostra a influência novamente do projeto para desenvolvimento de tecnologias capazes de fazer pilares atuarem estruturalmente como vigas.

²⁵ Segundo Wight e MacGregor (2011), os Pilares-parede ou “Shear walls” são estruturas de superfícies planas capazes de resistir a carregamentos laterais, provenientes de vento ou ações sísmicas, bem como os carregamentos gravitacionais. Sendo assim, estas fazem parte do sistema de contraventamento do edifício. (Fonte: Medeiros, 2016).

Figura 42 - Representação dos diagramas de esforço cortante e momento



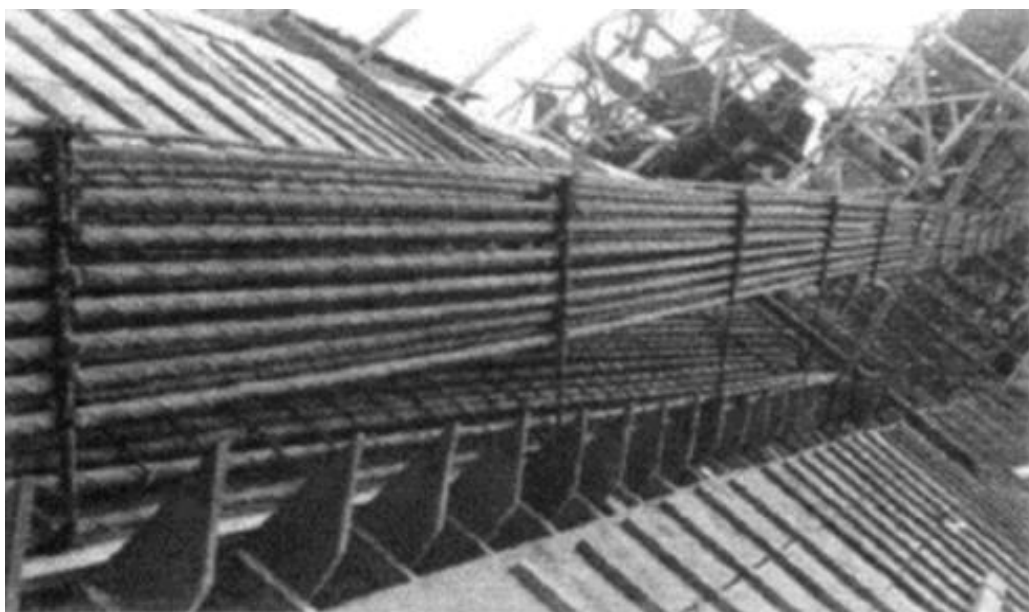
Fonte: Pessoa, 2002

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, podendo associar a influência do projeto com o desenvolvimento de tecnologias construtivas, e que, apesar de Cardozo inicialmente associar as “colunas curvas” de Niemeyer a arcobotantes invertidos, estas, na verdade, se comportam como vigas, e também é evidenciado na Figura 42. Entretanto, para Aguiar e Favero (2020), no edifício da Catedral, independentemente do comportamento ou função, tudo é estrutura, como queria Niemeyer e como possibilitou Cardozo, e ali a prescrição da forma, longe de ser limite se mostrou como um limite que, superada, permitiu sua materialização.

Vale ressaltar que o projeto da catedral de Brasília possibilitou também no desenvolvimento de tecnologias no campo dos materiais de construção. Naquele período a estrutura só pôde ser executada graças a flexibilidade e versatilidade do concreto armado.

Apesar de não haver plantas do projeto estrutural como comentado anteriormente, pode-se saber através de relatos de Magalhães (2009) que o aço utilizado na estrutura era CA 50, todavia para esse período não era comum utilizar esse tipo de aço, o mais provável pelas imagens disponíveis pela NOVACAP seria o aço CAT 50, como mostrado na Figura 43 (PESSOA, 2002).

Figura 43 - Tipo de aço utilizado na armadura de um dos pilares



Fonte: Pessoa, 2002

Nos pilares da catedral para alcançar os 30 metros de altura, foi necessárias mais de 70 barras de aço, e como a seção dos pilares variam, na região de maior seção foram utilizadas 90 barras de aço de 1 polegada de diâmetro, segundo Magalhães (2009). Todavia, como não era possível o transpasse pela grande quantidade de aço na seção, foi necessário o uso da tecnologia de soldagem para emenda dos vergalhões.

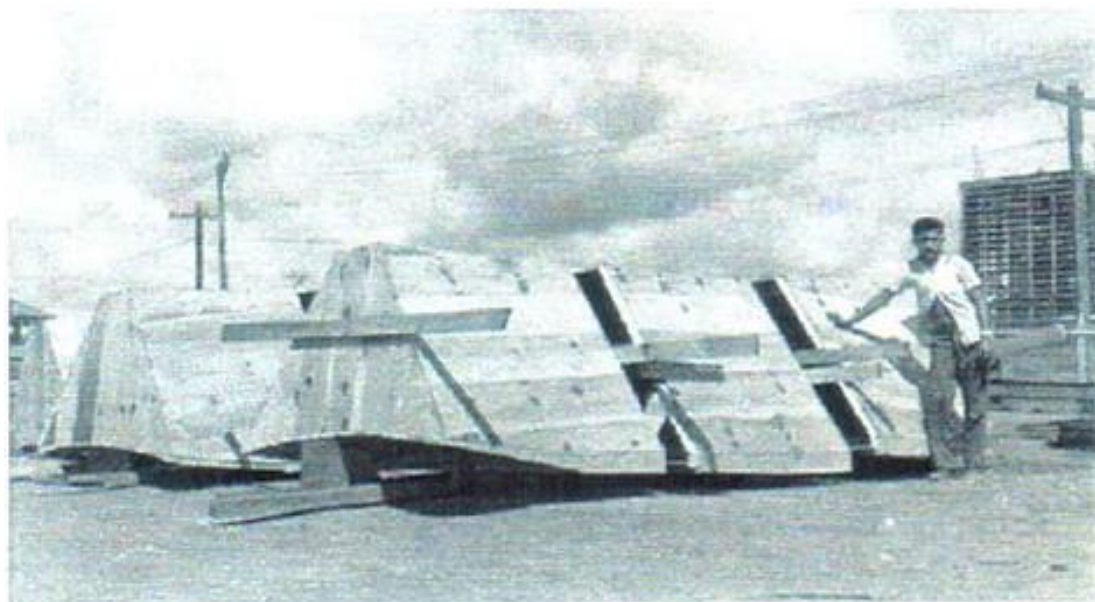
O concreto utilizado durante a execução dos pilares era dosado *in loco*, e as jazidas eram de vários lugares do país. O cimento por exemplo vinha de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso, a areia era da região e a brita do entorno de Brasília. A tensão de ruptura do concreto à compressão, com 28 dias, era de 350 kgf/cm². Segundo o responsável técnico o controle tecnológico era bastante rigoroso e o coeficiente de segurança 0,75. Chegando ao valor de 262,5 kgf/cm², o que já era extremamente alto para norma vigente (PESSOA, 2002).

Como a estrutura desenvolvida por Niemeyer era de caráter monumental, tecnologias construtivas tiveram que ser desenvolvidas para concretização do projeto. As formas de madeiras desenvolvidas segundo Magalhães (2009) foram verdadeiras “obras de arte”, uma das colunas tiveram que ser desenhadas em tamanho real no canteiro de obras, para posteriormente obter-se 20 cortes transversais, e assim, poder moldar em concreto a forma projetada por

Niemeyer. A seguir na Figura 44 mostra a parte superior das formas concebidas como caixão perdido.

Para Aguiar e Favero (2020) Niemeyer compreendeu como poucos o potencial do concreto armado como material estrutural. A representação arquitetônica simples por meio da utilização do concreto armado confere ao material uma característica da modernidade. Apesar de ter explorado essa tecnologia em outras obras, foi em Brasília que explorou tal propriedade na direção do seu limite. Segundo o autor em um ensaio sobre a forma, referindo-se às possibilidades do material, Niemeyer escreveu disse que não podia compreender como, na época do concreto armado que tudo oferecia, a arquitetura contemporânea permanecesse fria e repetido, incapaz de explorar sua grandeza.

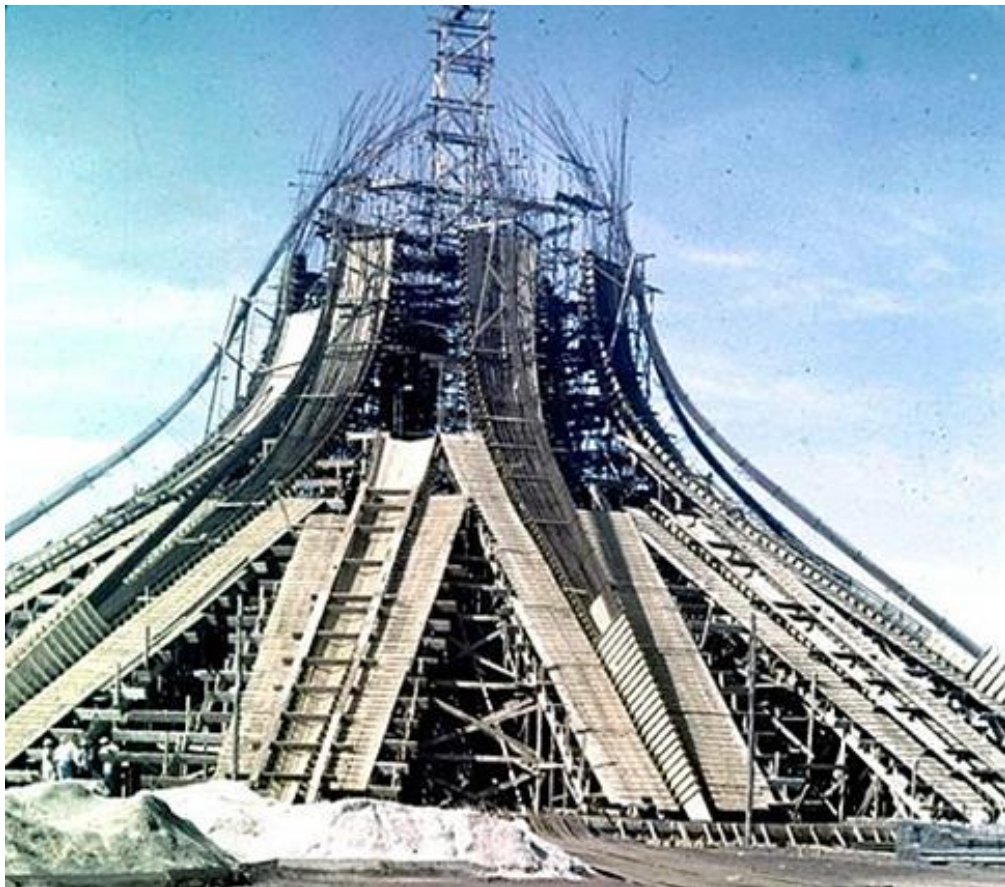
Figura 44 - Formas da parte superior da seção transversal



Fonte: Pessoa, 2022

Para execução dos pilares foram produzidos primeiramente as formas da parte inferior e depois colocaram-se as armações, em seguida as formas laterais e superiores das formas, como mostrado na Figura 45.

Figura 45 - Montagem das formas das colunas por etapas



Fonte: Muller, 2003

Para a concretagem dos pilares foi necessário um pouco mais de inovações tecnológicas. Entre elas o uso do guindaste para garantir o lançamento do concreto nas partes mais altas da catedral como mostrado na Figura 46. Além disso, os seguimentos de concretagem eram realizados a cada quatro metros, segundo Magalhães (2009), dessa maneira evitaria a segregação de agregados e aglomerantes, evitando que o agregado graúdo segregasse para parte inferior do trecho recém concretado. Além disso, também não havia a tecnologia do concreto autoadensável²⁶ que só fora inventado em 1988, por um grupo de pesquisadores japoneses que queriam um concreto capaz de atender a demanda por estruturas com alta taxa de armadura, o que seria o caso da catedral de Brasília.

²⁶ Concreto Auto-adensável tem como características mais importantes: A capacidade de preencher os espaços sem nenhuma intervenção mecânica (fluidez); Coesão suficiente para o preenchimento desses espaços sem que haja separação dos seus elementos constituintes (estabilidade). Em 1997, é utilizado em seu grande teste: a construção da famosa ponte Akashi-Kaikyo, no Japão. Fonte: Tutikian e Molin, 2008.

Figura 46 - Lançamento de concreto nos pilares da Catedral de Brasília



Fonte: Muller, 2003

A cura do concreto foi feita através da molhagem das formas. Uma vez que as formas só poderiam ser retiradas juntamente com os escoramentos. Segundo Pessoa (2002), os escoramentos foram retirados de cima para baixo de forma circular, e de acordo com responsável técnico era previsto um deslocamento vertical de 17 cm após a retirada dos escoramentos com 28 dias após a última concretagem.

4.3 Sistema estrutural da Catedral

Segundo Telles (2010), na Arquitetura Moderna brasileira identificam-se duas estratégias projetuais diferentes: o “desenho de formas” e o “desenho de estruturas”. Dessa maneira, a noção de espaço presente no “desenho de formas de Niemeyer” e no “desenho de estruturas” em suas obras é caracterizada pela maneira de como os projetos “expressam sua relação com a superfície e o volume”, além de estabelecer em quais termos se dá a legibilidade das edificações provenientes destas duas estratégias de projeto.

Telles (2010) também configura diferentes abordagens para o mesmo problema: a criação do espaço; porém, a categorização de projetos baseada no

desenho de estruturas, vai de encontro ao desenho de formas, dessa maneira, parece atribuir ao segundo certa diminuição no que diz respeito a pouca legibilidade das estruturas portantes e as implicações construtivas para sua realização, ou seja, desenvolvimento de tecnologias construtivas para sua execução.

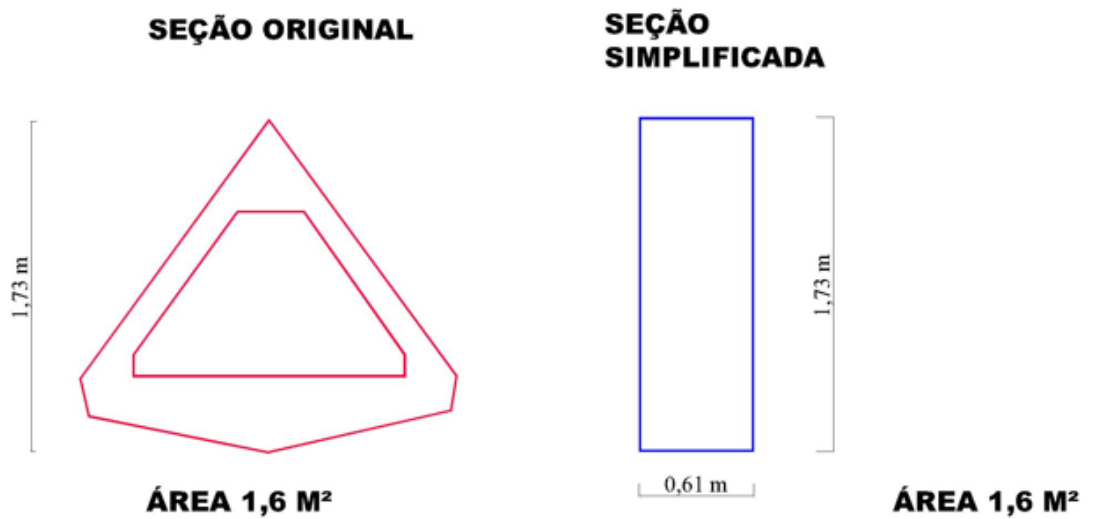
Para uma análise mais detalhada da estrutura para entender a influência do projeto arquitetônico para desenvolvimento dos cálculos estruturais para garantir a execução com êxito da Catedral, podemos analisar o dimensionamento que Pessoa (2002) fez de um típico pilar da Catedral considerando a NB-1 da ABNT NBR 6118 e comparando com softwares computacionais.

Os esforços considerados além do peso próprio, foram as cargas permanentes, sobrecarga e ação do vento (força horizontal). Seguindo a norma foram considerados os esforços de compressão, tração e flexão, além disso, considerou que cada seção transversal do pilar permaneceria plana.

O coeficiente de Majoração continua sendo $\gamma_f = 1,4$, como na ABNT NBR 6118, pois considera a sobrecarga dos vitrais juntamente com sua estrutura, além da ação do vento. Para determinar o índice de esbeltez λ , de acordo com a NB-1/78, são feitas diferentes considerações nos cálculos da peça segundo Pessoa (2002), pois o formato do pilar não dá um valor específico, sendo necessário simplificações de cálculos. Consequentemente abre-se uma análise cuidadosa para uma estrutura tão complexa, uma vez que há muita diferença entre o que foi pensado e executado, sendo assim, necessário levar em consideração cisalhamento pela ruptura do concreto, ruína por instabilidade a fluência do material, além do estado limite útil (ELU) e estado limite de serviço (ELS) que são exigidos pela norma atual.

Para o cálculo das seções foram necessário simplificações da geometria, de forma a combater a momento fletor e os esforços normais e de compressão. Para simplificar os cálculos Pessoa (2002) criou uma seção simplifica de mesma área de forma que seu comportamento fosse equivalente o da seção original como mostrado na Figura 47.

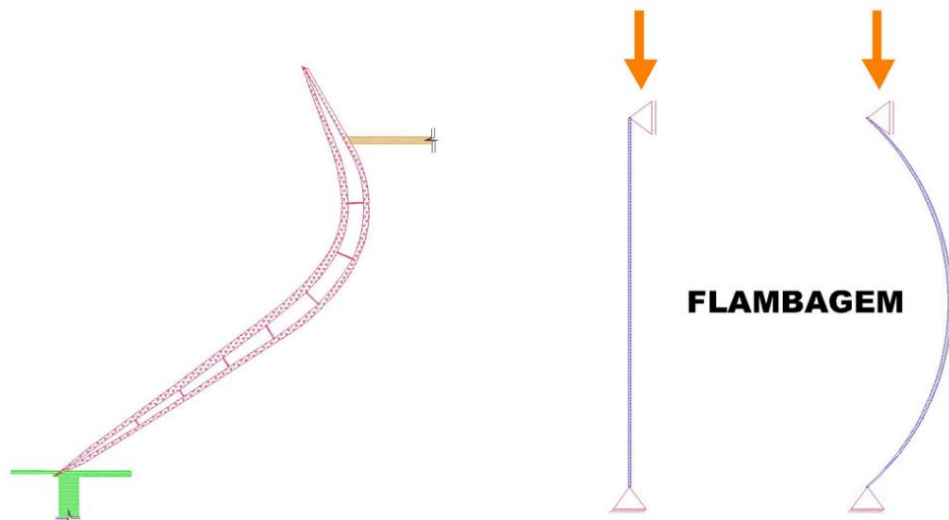
Figura 47 - Uma das seções equivalentes da Catedral



Fonte: Pessoa (adaptado), 2002

Sabe-se que para o projetista estrutural o lançamento dos pilares é uma das fases mais importantes de um projeto. O mau dimensionamento destes elementos, pode levar a sérios problemas, como estruturas instáveis, estruturas que não atendem às condições de serviço ou mesmo a um aumento no custo final da obra. Segundo Pessoa (2002), na norma vigente daquele período a verificação das seções transversais deve ser feita à flexo-compressão, considerando uma excentricidade accidental e_a , para levar em conta a incerteza da localização da força normal no projeto e o desvio dos pilares durante a sua construção. Além disso, vale também lembrar que os efeitos de 2ª ordem devido a flambagem não se aplica no pilar da Catedral, uma vez que devido sua forma e geometria do projeto não existe flambagem, já que o pilar “já se encontra flambado”, como evidenciado na Figura 48.

Figura 48 - Comparativo de um pilar da Catedral com um pilar sobre efeito de flambagem



Fonte: Pessoa (adaptado), 2022

Analisando as armaduras longitudinais utilizadas originalmente no projeto e com a NBR-1/78 observou-se que o número de barras de 25mm dimensionamento pela norma é inferior ao número de barras projetada por Joaquim Cardozo. Dessa forma, percebe-se que os pilares do projeto original estão dimensionados a favor da segurança, se comparados ao dimensionamento segundo as normas daquele período. Em relação as armaduras verticais, há somente uma fotografia, dessa forma levantando a análise por hipóteses. De acordo com modelo comparativo utilizado por Pessoa (2002), no modelo menos conservador pode-se supor que a bitola utilizada seria de 10mm com o espaçamento de 20 cm. Todavia o espaçamento necessário seria de 9cm, o que significa que o dimensionamento transversal não foi muito conservador.

4.4 Tecnologias no Canteiro de Obra

Para Magalhães (2009), levantar uma estrutura como a Catedral de Brasília era preciso ter uma competência especial. Enfrentar formas concebidas como experimentação, sendo fundamentada por princípios operativos e não por variações na sintaxe. “Uma compreensão fundada sobre um conjunto de conhecimentos e experiências orientada para superar uma adquirida noção de espaço”. Procedimentos técnicos, artísticos e científicos se misturam nas margens de aproximação entre os resultados do cálculo e do pensamento

(TELLES, 2010).

Para Ferro (2006) as relações entre forma plástica e modo produção, o levaram a imaginar o canteiro de obras como campo de experiência, capaz de produzir autoconhecimento a partir de interações entre pessoas, como mostrado na Figura 49 e 50, que poderiam adquirir a capacidade de ultrapassar as tensões que vivem no campo profissional da arquitetura e da engenharia. Segundo o autor o projeto e canteiro se comunicam sendo este “síntese e verificação dos momentos anteriores (forma, força, materiais: meios espirituais e meios de produção). Assim, a técnica fica então situada no limiar entre o trabalho manual e a tecnologia, sendo consecutivamente reorientada e adaptada nos movimentos sucessivos que se desenham as relações entre os diferentes saberes presentes na produção de uma obra.

Figura 49 - Operários trabalhando na escavação sendo visível os pilares da galeria técnica da Catedral de Brasília em 1960



Fonte: Lima, 2019

Figura 50 - Operários trabalhando na construção da Catedral de Brasília



Fonte: Lima, 2019

Segundo Lima (2019) a Catedral de Brasília foi guiada por elementos que ajudaram a pensar sobre os limites da liberdade do trabalho e da realização de uma nova sociedade por meio da forma. De outro ponto de vista, registros das técnicas revelam aspectos do contexto produtivo em que a obra é traçada. Para o autor o canteiro de obras é considerado como lugar de convergências entre as dimensões do desenho e da forma configuradas por meio do trabalho e é assunto de elaboração a respeito de um inventário técnico que está para ser feito, com aprofundamento sobre procedimentos construtivos e que considere com maior gravidade as biografias de todos os atores.

5. CONCLUSÃO

Durante a análise dos monumentos construídos ao longo da nossa história percebe-se que há uma influência do projeto arquitetônico no desenvolvimento de tecnologias na construção civil. Observa-se, através disso nas antigas catedrais góticas, nas quais foram desenvolvidas tecnologias como os arcos botantes e arcos de plena cintra, para responder os ideais arquitetônicos criados no período gótico, que eram naves altas e os grandes vitrais das catedrais. Dessa forma, os antigos construtores levaram anos para o desenvolvimento de técnicas construtivas para a conclusão daqueles monumentos.

Com advento da Revolução Industrial e o surgimento da Figura do engenheiro, houve-se um grande avanço tecnológico, pois com as novas possibilidades construtivas e estruturais que foram surgindo, as matérias primas tradicionais passaram a ser substituídas gradativamente pelo concreto (betão) e mais tarde pelo concreto armado e pelo metal, este foi uma das primeiras evoluções no ramo da construção, e possibilitou arquiteturas ainda não vistas.

Após o surgimento do concreto armado a evolução da arquitetura não parou e quem possibilitou toda esta transformação foram as inovações tecnológicas. Dessa maneira, foram surgindo novos métodos construtivos e possibilidade de criação de novos projetos nunca antes executados, mostrando assim uma influência reversa, o que possibilitou a criação de novas formas e estruturas graças a aplicação das novas tecnologias em uma nova arquitetura.

A concepção de um projeto arquitetônico impõe-se a alguns requisitos como as necessidades físicas, formas, costumes e cultura, propriedades físicas dos materiais de construção se resultam de sistemas construtivos, contidas a desempenhos estruturais específicos. Segundo Salvadori (2006), antes o projeto estrutural era arquitetado a partir do conhecimento adquirido de forma empírica, a constante superação técnica e econômica dos limites impostos à construção possibilita a criação de variadas formas que exigem a solução de problemas estruturais. Logo, saber como se comportam as Estruturas para o profissional técnico tem se tornado cada vez mais importante, tanto para a proposta de soluções coerentes, quanto para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas aos problemas provenientes do aparecimento de técnicas de

construção.

Na Catedral de Brasília, a estrutura complexa bastou para definir uma forma arquitetônica inédita que destacou a arquitetura e a engenharia brasileira no cenário internacional, como afirmou Inojosa e Buzar (2010). Segundo Niemeyer, a função dessa obra extrapola a função social de uma catedral, ela também expressa o potencial tecnológico de uma época, função comum das grandes catedrais do mundo.

Em várias obras de Niemeyer é possível ver claramente a presença do sistema estrutural na forma arquitetônica, mostrando a influência do projeto para desenvolvimento de técnicas construtivas e conseguir tirar a obra do papel. Também é possível concluir que o sistema estrutural é, muitas vezes, o elemento que define a forma. Essas análises, tanto históricas quanto técnicas de grandes obras de Oscar Niemeyer, e também da arquitetura nacional, contribuem para um entendimento da importância do conhecimento técnico e tecnológico para a produção de uma arquitetura.

Logo, os trabalhos de Niemeyer sempre foram destacados pela forma estrutural e pelos desafios tecnológicos que essa estrutura proporcionava a seus executores e calculistas, sempre levando concreto armado ao limite permitido dos ELU e ELS. Oscar Niemeyer tinha um bom relacionamento com os engenheiros calculistas que acompanharam sua carreira, entre eles Joaquim Cardozo. O engenheiro que trabalhou em várias obras de autoria de Niemeyer exerceu um importante papel na carreira do arquiteto, conseguindo soluções estruturais inéditas em diversas épocas para possibilitar a execução do projeto arquitetônico de Niemeyer. Dessa forma, o estudo de uma obra como da Catedral de Brasília revela a importância do conhecimento técnico e do sistema estrutural para a realização de obras com uma arquitetura monumental.

Para Niemeyer conseguir executar as formas livres, simples e puras, presentes em sua obra, este procurou apoio tecnológico e soluções estruturais, mas que, obedecendo sempre a lógica natural, conseguisse atingir os limites máximos dos materiais utilizados. Em diversas ocasiões Niemeyer utiliza seu vasto conhecimento técnico para garantir uma leveza arquitetônica marcante em sua obra, comoonato nas suas obras de Brasília.

Através de soluções estruturais, desenvolvimento de tecnologias construtivas e desenvolvimento de soluções empíricas no próprio canteiro de

obras houve a possibilidade de produzir autoconhecimento a partir de interações de obras, assim construindo algo em favor do resultado estético e possibilitando que o projeto possa sim ser executado, como foi o caso da Catedral de Brasília.

Diante do exposto, o presente estudo, acerca da influência da Arquitetura no desenvolvimento de novas tecnologias na Engenharia, corrobora na ênfase da importância dos projetos arquitetônicos na criação de novas tecnologias, cálculos estruturais e a execução de grandes obras, objetivo maior desse TCC.

6. CONTRIBUIÇÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A produção artística e arquitetônica na obra de Oscar Niemeyer na capital federal do Brasil, tanto em nível nacional quanto internacional, ainda não possui muitos estudos focados nas soluções tecnológicas adaptadas pelo referido arquiteto brasileiro.

Para futuros trabalhos sugere-se à análise de dados mais aprofundados das tecnologias desenvolvidas e empregadas, utilizando métodos de vistorias e propondo hipóteses de novas alternativas viáveis de execução, utilizando ainda softwares como ferramentas que possibilitem a compatibilização de projetos e análise do sistema estrutural. Uma vez que não há todos os registros dos projetos estruturais, como projeto de formas, dessa forma faz-se necessário a obtenção desses dados para completar o conjunto de informações que poderia ser usado numa futura dissertação.

A metodologia empregada nesse trabalho, por meio das caracterizações arquitetônica, histórica e tecnológica, possibilita o desenvolvimento de futuros trabalhos, que objetivem compreender aspectos da engenharia que contribuíram para o desenvolvimento da arquitetura modernista. Estudos estes que resgatariam dados históricos e técnicos, contribuindo para elevação do Brasil no cenário da arquitetura mundial.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRÃO, Pedro Cesar Rodrigues. **O uso de pozolanas como materiais cimentícios suplementares: disponibilidade, reatividade, demanda de água e indicadores ambientais.** São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-26032019-084557/publico/PedroCesarRodriguesAlvesAbraoCorr19.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2022
- AGUIAR, Monica e FAVERO, Marcos. **Catedral de Brasília: Forma-estrutura atectônica e experiência empática.** Salvador, 2020. Disponível em: <<https://docomomobrasil.com/wp-content/uploads/2020/04/110543.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2022.
- ALBUQUERQUE, Marcelo. **Tecnologias de construção romanas.** Curitiba, 2017a. Disponível em: <<https://arteculturas.com/tag/opus-sectile/>>. Acesso em: 08 ago. 2022
- ALBURQUEQUE, Marcelo. **Domus itálica em Pompeia.** Curitiba, 2017b. Disponível em: <<https://arteculturas.com/tag/casa-do-fauno/>>. Acesso em: 15 mai. 2022
- AMARAL, Leandro. **Arquitetura grega: 6 principais características.** 2011. Disponível em: <<https://arquitetoleandroamaral.com/arquitetura-grega/>>. Acesso em: 22 jun. 2022.
- ANDRÉ, Marli Eliza Dalmazo Afonso. **Estudo de caso em pesquisa e avaliação educacional.** Editora Liber Livros: Brasília, 2008. 68 p. (Série Pesquisa: Vol. 13)
- ARGAN, Julio. C. Walter Gropius y la Bauhaus. **Nova Visão.** Buenos Aires, 1957. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5643/000517922.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 de maio de 2022
- BANHAM, Reyner. **Teoria e Projeto Na Primeira Era da Máquina.** 3º edição, Editora Perspectiva, São Paulo, 2006. Disponível em: <<https://www.fag.edu.br/upload/contemporaneidade/anais/594c067111760.pdf>>. Acesso em: 23 de maio 2022
- BENÉVOLO, Leonardo. **História da arquitetura moderna.** 1999. 8ª edição revisada e ampliada. Barcelona: Gustavo Gili, SA.
- BECK, Vinicius Carvalho. **A matemática no Egito Antigo.** Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://editora.pucrs.br/anais/erematsul/comunicacoes/38VINICIUSCARVALHOBECK.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2022
- BECK, Maurício e TEIXEIRA, Karoline da Cunha. **Do mesmo e do diferente: Das corporações de ofício às universidades corporativas.** Ilhéus, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.20337/ISSN2179-3514revistaENTREMEIOSvol20pagina101a110>>. Acesso em 15 jun. 2022
- BITTAR, William. **Formação da arquitetura moderna no Brasil (1920-1940).** Anais do 6º seminário do.comomo. Rio de Janeiro: UFRJ e UGF, 2005.
- BORGES, Ana Gabriela Rigo; DUTRA, Amanda Caroline; OLDONI, Sirlei Maria. **A Arquitetura como expressão tecnológica.** Cascavel, 2017. Disponível em: <<https://www.fag.edu.br/upload/contemporaneidade/anais/594c067111760.pdf>> Acesso em: 20 de maio 2022

- BONAMETTI, João Henrique. **A arquitetura eclética e a modernização da paisagem urbana brasileira**. Curitiba, 2006. Disponível em: <<https://periodicos.unespar.edu.br/index.php/revistacientifica/article/view/1741/1086>>. Acesso em 08 out. 2022
- BRASIL, Patrimônio Cultural da Humanidade. **Restauração do Palácio do Planalto**. Brasília, 2022. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/restauracao/brasil-patrimonio-cultural-da-humanidade>>. Acesso em: 18 de out. 2022.
- CAMPOS, Macário. **As Construções de Brasília**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://macariocampos.blogspot.com/2010/11/as-construcoes-de-brasil.html#axzz7jpkxtccY>>. Acesso em: 15 de out. 2022.
- CARDOZO, Joaquim. **A construção de Brasília. Forma estática–forma estética: ensaios de Joaquim Cardozo sobre Arquitetura e Engenharia**. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, p. 177-179, 2009.
- CARVALHO, João Dirceu Nogueira de. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. Tecnológica, v. 17, p. 19-28, 2008.
- CATALDI, Giancarlo; MAFFEI, Gian Luigi; VACCARO, Paolo. **Saverio Muratori e a escola Italiana de tipologia projetual**. Florença, 2002, Disponível em: <<http://revistademorfologiaurbana.org/index.php/rmu/article/view/300/125>>. Acesso em: 05 jul. 2022
- COLE, Emily. **História Ilustrada da Arquitetura**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<https://www.academia.edu/16308968/Hist%C3%B3ria>>. Acesso em: 12 ago. 2022
- COSTA, Marco Túlio Sousa; YAYI, Abiola Akandé. **Influência da Indústria sobre a sociedade moderna**. 2011. Disponível em: <<http://industriaemodernismo.blogspot.com/2011/06/revolucao-industrial-influencia.html>>. Acesso em: 22 de maio de 2022
- COSTA, Andréa. **O surgimento do urbanismo e as propostas de solução para as cidades**. Natal, 2022. Gestão Desportiva e de Lazer. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/andreacosta/lazer-e-urbanismo/aula-05-a-08-propostas-urbanisticas-do-sec.-xix>>. Acesso em: 18 dez. 2022
- COUTO, José Alberto Ventura. **O papel da tecnologia na arquitetura modernista de Lúcio Costa**. Porto Alegre, 2000. 161 f: il. color. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5643/000517922.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 de maio de 2022
- COUTO, Ronaldo Costa. **Juscelino Kubitschek**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=_ZgwEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP6&dq=Juscelino+Kubitschek&ots=UoIfVuLgXz&sig=vrkZKDDJdwLs-D5QE_raYq1-wmM#v=onepage&q=Juscelino%20Kubitschek&f=false>. Acesso em 04 jun. 2022
- DE FUSCO, Renato. 2v. **História crítica da Arquitetura contemporânea**. Madri, Blume, 1984.
- DÓRIA, Luís Eduardo. **Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier**. Maceió, 2007. Disponível em: <https://ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Luis%20Eduardo%20Santos%20Doria.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2022

- DUARTE, Paulo André Neves. **História da Evolução da Engenharia Civil**. Portugal, 2010. Tese de Doutorado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Disponível em: <<https://www.proquest.com/openview/81da8cdf51ae4565ae8c37d2545800ea/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>>. Acesso em: 18 dez. 2022
- EYLER, Flávia Maria Schlee. **História antiga: Grécia e Roma: a formação do ocidente**. Petrópolis, 2014. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=nukbBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT7&dq=tecnicas+de+constru%C3%A7%C3%B5es+grecia&ots=XCbUr_y6wt&sig=d28Db3gKmCO_SOD6QxlvjRVJyow#v=onepage&q=tecnicas%20de%20constru%C3%A7%C3%B5es%20grecia&f=false>. Acesso em 11 jun. 2022
- FERNANDES, Emerson. **Diálogo: natureza, pensamento, linguagem e expressão**. Rio de Janeiro, 2018. Tese de doutorado – Departamento de Filosofia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/35896/35896.PDF>>. Acesso em: 18 de mai. 2022
- FERREZ, Marc. **Vista da Escola Nacional de Belas artes, a esquerda Teatro Municipal**. Rio de Janeiro, 1910. Disponível em: <<https://brasilianafotografica.bn.gov.br/brasiliana/handle/20.500.12156.1/4754>>. Acesso: 18 de out. 2022.
- FERRO, Sérgio. **Arquitetura e Trabalho Livre**. São Paulo: Cosac Naify, 2006.
- FOLHA DE SÃO PAULO. **Oscar Niemeyer**. São Paulo. 2018. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/folha/galeria/album/p_2003728-oscar_niemeyer-03.shtml>. Acesso em: 02 out. 2022.
- FIEDERER, Luke. **Clássicos da Arquitetura: Torre Eiffel / Gustave Eiffel**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/80180/classicos-da-arquitetura-torre-eiffel-gustave-eiffel>>. Acesso em: 20 out. 2022.
- FREITAS, Maria Luiza de. **Oh Brutus! As bases de constituição da cultura técnica da tecnologia construtiva do concreto armado no Brasil**. Recife, 2013. Disponível em: <https://docmomobrasil.com/wp-content/uploads/2016/08/CON_11.pdf>. Acesso em 05 de out de 2022
- FRY, Maxwell. **A Arte na Era da Máquina**. 1969. Editora Perspectiva S.A. São Paulo, 1982.
- GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Esplanada dos Ministérios Brasília** Distrito Federal, 1959. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:0741_NOV_B_05_Esplanada_dos_Ministerios_Brasilia_DF_03_09_1959.jpg>. Acesso em: 18 de out. 2022.
- GUIMARÃES, Ramon P. **Raciocínio construtivo, criatividade e ensino-aprendizado em projeto de arquitetura**. Belo Horizonte, 2019. Acesso: 22 de set. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30630/1/GUIMAR%C3%83ES%2C%20Ramon%20Paes.%20Racioc%C3%ADnio%20construtivo%2C%20criatividade%20e%20ensino-aprendizado%20em%20projeto%20de%20ar.pdf>>. Acesso em 03 jul. 2022
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Education: Prentice-Hall, 2010.

- HUERTA, Santiago F. **La teoría del arco de fábrica**. Ouro Preto, 2001. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/11745/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Investiga%C3%A7%C3%A3oEstruturasArqueadas.pdf> Acesso em: 01 jul. 2022
- INOJOSA, Leonardo S. P.; BUZAR, Márcio A. R. **O Sistema Estrutural na Obra de Oscar Niemeyer em Brasília**. Brasília, 2010. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Universidade de Brasília, Brasília.
- IPEA, Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade. **A ciência e a tecnologia como estratégia de desenvolvimento**, 2019. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/116-a-ciencia-e-a-tecnologia-como-estrategia-de-desenvolvimento>> Acesso em: 18 de Junho de 2022.
- KAEFER, Luís Fernando. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo, 1998. Tese de Doutorado. Disponível em: <<https://wwwp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>> Acesso em: 12 jun. 2022
- LE CORBUSIER. **Por Uma Arquitetura**. São Paulo, 1977. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5643/000517922.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 de maio de 2022
- LIMA, Carlos H. M. de. **Forma desenho e trabalho na Catedral de Brasília**. Salvador, 2019. Disponível em: <<https://docomomobrasil.com/wp-content/uploads/2020/04/110793.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2022
- LIMA, Elaine Carvalho de e NETO, Calisto Rocha de Oliveira. **Revolução industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial inglês**. Maringá, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EspacoAcademico/article/view/32912/19746>>. Acesso em: 30 out. 2022
- LOPES, João Marcos; BOGÉA, Marta; REBELLO, Yopanan. **Arquitetura da Engenharia, ou, Engenharia da Arquitetura**. Editora Mandarim. São Paulo, SP, 2006.
- LOPES, Luciana Suarez; MOTTA, José Flávio. **"Vanguarda do Progresso". A era ferroviária no Brasil, da estrada de Mauá às Ferrovias do Café**. São Paulo, 2016. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45137749/Cronica_13_2016_04_-_Vanguarda_do_progresso-libre.pdf?1461772175=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DVanguarda_do_Progresso_A_Era_Ferovi.pdf&Expires=1669897995&Signature=CafInIv0YvM1Ppe2gNo8gSJzzx3DwuqQDnTlrbjnzzy10OdDJxYMEJIKSEAYdzWRGy2z4pinmNaHpsECE6r-xkPZmjJUpFw766b6Anm5nx1QRW4Ig80SzpU3og~pZBncRAiA0mNgqVQxs4iOAcJvmjrdBLFHjCw3VH0uanD4vrcMpyEdq2Hg10mEs6rZaxAkd-jLfDXE0aTZY16P3-ROXD69p7x~ZHnZI12PlZI14mgwNDnnkSZCUXxHYSibTicxD8vQr8ioC2McagchKSbiRNlibwbkfy0tvfpe7lLrUiZbbiYBc425cIRJTzlAZwdBf4xo2i~xL8kpTf6~cKA1Q__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Acesso em 03 jul. 2022
- LOUPIAC, Claude. **L'architecture théâtrale en France à la Belle Epoque et le cas du Théâtre des Champs-Élysées**. Paris, 2013. Disponível em: <<https://www.theses.fr/13PA010512>>. Acesso em: 02 out. 2022
- MACEDO, Danilo M.; SILVA, Elcio. **Contribuições de Joaquim Cardozo à arquitetura de Oscar Niemeyer**. In: 11º SEMINÁRIO NACIONAL DO DOCOMOMO BRASIL. Recife: DOCOMOMO BR, 2016.

- MADEIRA, Bárbara Alexandra Gomes. **A expressão horizontal das lajes nos edifícios**. Lisboa, 2016. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <<http://repositorio.ulusiada.pt/handle/11067/2268>> Acesso: 04 de junho de 2022.
- MAGALHÃES, Carlos. **Entrevista ao Correio Braziliense**. Brasília, 2009. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2009/12/23/interna_cidadesdf,16570/arquiteto-relembra-a-saga-da-construcao-da-catedral.shtml>. Acesso em: 18 out. 2022.
- MARTHA, Luiz F. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos**. Elsevier Brasil, 2010.
- MARQUADT, Seina. **A estrutura independente e a arquitetura moderna brasileira**. Porto Alegre, 2005. Dissertação de mestrado. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7268/000497589.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 18 dez. 2022
- MEDEIROS, Mayara F. **Dimensionamento e detalhamento de pilares-parede**. Natal, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40560/2/dimensionamentoedetalhamentodepilares-paredemonografiaTCC2016.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2022
- MORA, Pola. **Como Brunelleschi construiu a cúpula da Catedral de Florença**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/627169/como-brunelleschi-construiu-a-cupula-da-catedral-de-florenca>>. Acesso: 9 out. 2022
- MULLER, Fábio. **Catedral de Brasília, 1958-70: Redução e Redenção; em: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 10, n. 11, p. 9-33, Belo Horizonte, MG, 2003.
- NASCIMENTO, Elisa F. **Arte e Técnica na Obra de Joaquim Cardozo: notas para a construção de uma Biografia Intelectual**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://objdig.ufrj.br/21/teses/714310.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2022.
- NIEMEYER, Oscar. **A catedral de Brasília**. Módulo, v.2, n.11, p.8-9, dez.1958. Disponível em: <<http://niemeyer.org.br/obra/pro078>>. Acesso em: 22 de maio de 2022.
- NUNES, Claudia; BARATA, Carolina; AGUIAR, Maria; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição; SILVA, Rosana Elisa Coppedê; SOUZA, Caroline Martins de e CASSIANO, Michelle Teixeira. **As pinturas murais de Candido Portinari no Palácio Gustavo Capanema - RJ**. Porto, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/36324/1/ed38c7cfa0fa481787b3.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2022
- OLIVEIRA, Fabiana. **O Concreto: sua origem, sua história**. Presidente Prudente, 2016. Tese de Doutorado. Disponível em: <<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51155957/Concreto>>. Acesso em: 12 de jun. 2022
- PALERMO, Humberto N. S. **O sistema dominó**. Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/7917>>. Acesso em: 18 de out. 2022
- PEDROSA, Breno Viotto. **Uma arma para a guerra fria: Karl August Wittfogel e a Construção do oriente a partir de uma leitura controversa do Marxismo**, 2021. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/231143/001131255.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 16 de mai. 2022

- PESSOA, Diogo F. **A estrutura da Catedral de Brasília: Aspectos históricos científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção.** Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.pecc.unb.br/wp-content/uploads/dissertacoes/M02-14A-Diogo-Pessoa.pdf>> Acesso: 03 mar. 2022
- PINTO, Amândio Teixeira. **Introdução ao estudo dos geopolímeros.** Vila Real, 2006. Disponível em: <<http://www.geopolimero.com.br/PDF/introducao.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2022
- PINTO, Paulo Roberto Margutti. **Aspectos da visão filosófica de mundo no Brasil do Período Barroco (1601-1768).** Belo Horizonte, 2003. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30286466/Margutti_Pens_Fil_Brasil_Barroco-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1669831508&Signature=FZXKyS6--pDLX8RwkFRvfCoa9ENmVR-zgc6CY-1124A029TdTu3FpHWHr5IYbPBDB23DhFVH-sazNi8~dpGK8aAOWLT-w4qS0jyYuCguJqWkOcoAQg02nvPQyF1c6KtLvYsDdRjCazU2EAhwLfbDIpyFHxjTDI8TrBpUJFk7o9Z4GPzm~1xRWUPE~uy-tbD81h-rQ927qHSr2xBbHb1t4s~VasfUK~sUD433FUv-jbY3m1JBiJhOKemD0B9E-1cze6MPdX3fq1of31hxFekRwsJOW7T45CpxsEj9w9pzAvl0DcEgz9shiuOM9HP2WyqzEnKqL-zil4mmm9l6xkOzA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Acesso em 07 set. 2022
- PORTES, Raquel. História da Arquitetura. Juiz de Fora, 2011. Fundamentos da Arquitetura – UFJF. Disponível em: <<https://fundamentosarqeurb.files.wordpress.com/2011/03/aula01-hist-da-arquitetura.pdf>>. Acesso em: 18 Dez. 2022
- QUEIROZ, Tereza Aline Pereira de. **O Renascimento.** São Paulo, 1995. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=rCqcybUR9XgC&oi=fnd&pg=PA11&dq=renascimento&ots=0cQeQpxw0a&sig=95mYXci5NqEX0D0AMczCmGgMZis#v=onepage&q=renascimento&f=false>>. Acesso em: 01 jul. 2022
- REIS, P. H. L. P.; ROCHA, P. M.; PEQUENO, R. M. D.; AMORIM, M. R. G.; PEREIRA, S. S. **R. Análise comparativa entre esforços solicitantes atuantes em tabuleiros de pontes obtidos através das tabelas de Rüsch e elementos finitos,** 2018. In: Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro. Anais [...] Rio de Janeiro: [s.n.], 2018
- REVISTA GALILEU. **Origem das pedras que formam o monumento de Stonehenge é descoberta.** 2020. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Arqueologia/noticia/2020/07/origem-das-pedras-que-formam-o-monumento-de-stonehenge-e-descoberta.html>>. Acesso em: 21 set. 2022
- RIBEIRO, Nelson Porto. **As Técnicas Construtivas e as Intervenções Urbanística.** Londrina, 2005. Disponível em: https://anpuh.org.br/uploads/anais-simposios/pdf/2019-01/1548206368_f262188b14048269fb43940166537273> Acesso em: 18 jul. 2022
- ROCHA, Denise A.B. F. **Formação e Monitoramento de Juristas leigos. A Experiência de uma ONG com a Educação Popular na Região Sisaleira da Bahia.** Dissertação, Salvador, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/10193/1/Dissertacao_Denise%20Rocha.pdf>. Acesso: 15 nov. 2022

- ROZESTRATEN, Arthur Simões. **A iconografia do portador do modelo de arquitetura na arte medieval.** São Paulo, 2007. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16133/tde-20082009-090910/en.php>>. Acesso em: 12 jun. 2022
- SALVADORI, M. G. **Por que os edifícios ficam de pé: a força da arquitetura.** São Paulo, 2006. Disponível em: <<https://www.skoob.com.br/livro/pdf/por-que-os-edificios-ficam-de-pe/40187/edicao:43926>>. Acesso em 15 nov. 2022
- SANTANA, Geraldo. **Joaquim Cardozo 1897-1978 – O Engenheiro da Poesia.** Revista AU, Editora PINI, São Paulo, SP, 1998.
- SANTOS, Paulo F. **Arquitetura e urbanismo na Avenida Central in: Marc Ferrez. O álbum da Avenida Central: um documento fotográfico da construção da Avenida Rio Branco,** Rio de Janeiro, 1903-1906. Rio de Janeiro. João Fortes Engenharia, 1982. p.33.
- SANTOS, Amanda Basilio. **Arquitetura românica: o desenvolvimento do primeiro grande sistema construtivo medieval.** Pelotas, 2016. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7586949>>. Acesso em 12 jun. 2022
- SARZI, Melaine. **Oscar Niemeyer: Sua Plasticidade e o Sistema Estrutural.** Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.perspectivasonline.com.br/ojs/index.php/exataseengenrasilia/haria/article/viewfile/35/468>>. Acesso em: 12 jun. 2022
- SCHIEL, F. **Introdução à Resistência dos Materiais.** Harper & Row do Brasil. 1984
- SECRETARIA DE ESTADO DE CULTURA E ECONOMIA DO RIO DE JANEIRO. **A Arquitetura Clássica do Teatro Municipal como você nunca viu.** Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <<http://cultura.rj.gov.br/a-arquitetura-classica-do-theatro-municipal-como-voce-nunca-viu/>>. Acesso em: 20 de out. 2022
- SILVA, Ernesto. **História de Brasília: um sonho, uma esperança, uma realidade.** Brasília, 2006. Charbel. p. 127. 394 páginas.
- SILVEIRA, Fernanda Borges. **O uso de materiais em obras expressivas na arquitetura – da pré-história à contemporaneidade.** Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9AAG82>> Acesso: 18 de jun. 2022
- SOUZA, Antonio Gilberto Abreu de. **Arquitetura neoclássica e cotidiano social do Centro Histórico de Fortaleza: da Belle Époque ao ocaso do início do século XXI,** Belo Horizonte, 2012. Tese de Doutorado. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/JSSS-8Z8P5V>> Acesso em: 28 set. 2022
- SOUZA, Mariana Moreira Queiroz de. **Investigação de estruturas arqueadas pela teoria da estática gráfica.** Ouro Preto, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/11745/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Investiga%C3%A7%C3%A3oEstruturasArqueadas.pdf> Acesso: 12 jun. 2022
- STRAUCH, Paulo Cesar. **Pindorama e o Palácio de Cristal. Um olhar brasileiro sobre a exposição de Londres de 1851.** Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=EXcp0RSI6a4C&oi=fnd&pg=PA9&dq=Pal%C3%A1cio+de+Cristal+em+Londres&ots=CwF4jqidQ1&sig=t9->>

JUGvgqFDIuQYVx_LTPXrimzM#v=onepage&q=Pal%C3%A1cio%20de%20Cristal%20em%20Londres&f=false>. Acesso em: 18 maio 2022

TAVARES, Jeferson. **Projetos de Brasília e a cultura urbanística nacional**. Brasília, 2004. Disponível em: < <https://concursosdeprojeto.org/2010/04/21/concurso-brasilia/> >. Acesso em: 18 out. 2022

TELLES, S. S. **Oscar Niemeyer, Técnica e Forma. Textos fundamentais sobre história da arquitetura moderna brasileira: v.1**. São Paulo: Romano Guerra, 2010, p. 251-262.

THOMAZ, E.; CARNEIRO, L.; SARAIVA, R. **Vigas Gerber com dentes múltiplos: dimensionamento e detalhamento**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: < http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/dente_gerber/Dente_gerber_multiplo.pdf >. Acesso em: 08 out. 2022

TUTIKIAN, Bernado Fonseca e MOLIN, Denise Carpena Dal. **Concreto Auto-adensável**. São Paulo, 2008. Disponível em:<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51877932/Bernardo_F._Tutikian_-_Concreto_Auto-adensavel-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1669829978&Signature=JzP~cieUW4Pf90~s2djAeJyPp8shEK4K06wlHmQAOJPOV7iZU4MOaePjT04J4FPRR56T5ivm6lZKZ54x9PDcjI5VHtrUM7w6I5n83oZvSP3Fcti~u~mx~gglnWe~rJF0dQYe4k6sA1f9TmLKoljVMI6XGtZzcGgOTZ6amYKGcQvVIG0uJY9HREbIXs99LDKLVbeSw~ciJx6cJZ-Df2UFMIDZh9CNQYjN--vAvOd07-P4Mq8~bCbPuJzzlaoyNdBtFtCF8Mw929YnOYI9m4ymozrZR6BQLvAYOEwLqDILDNcGUrYbp6ddK0BvJjgF~tWEJAOwvCgcdW18CCWXU9Bkw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Acesso em: 03 nov. 2022

WIGHT, James K. MACGREGOR, James G. **Reinforced concrete mechanics and design**, 6th edition, 2011. Disponível em: <<https://ostad.nit.ac.ir/payaidea/ospic/file4019.pdf>>. Acesso em: 29 de ago. de 2022

YANG, Sarah. **To improve today's concrete, do as the Romans did**. California, 2013. Disponível em: < <https://news.berkeley.edu/2013/06/04/roman-concrete/> >. Acesso: 14 jun. 2022