

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA E ESTRUTURAL DE DUAS  
OBRAS DE OSCAR NIEMEYER: IGREJA DA PAMPULHA E  
PAVILHÃO DA GAMELEIRA**

**NATHALIA COELHO PEREIRA**

**ORIENTADOR: LUCIANO MENDES BEZERRA  
CO-ORIENTADOR: MÁRCIO AUGUSTO ROMA BUZAR**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM012A/A12  
BRASÍLIA/DF: JULHO-2012**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA E ESTRUTURAL DE DUAS  
OBRAS DE OSCAR NIEMEYER: IGREJA DA PAMPULHA E  
PAVILHÃO DA GAMELEIRA**

**NATHALIA COELHO PEREIRA**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Luciano Mendes Bezerra, PhD (ENC-UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof. Márcio Augusto Roma Buzar, DSc. (FAU-UnB)  
(Co-orientador)**

---

**Prof. João Carlos Teatini Clímaco, PhD (ENC- UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof. Yopanan Conrado Pereira Rebello, DSc (UFSJT)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 30 DE JULHO DE 2012**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PEREIRA, NATHALIA COELHO

Concepção arquitetônica e estrutural de duas obras de Oscar Niemeyer: Igreja da Pampulha e Pavilhão da Gameleira [Distrito Federal] 2012.

xvi, 80p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2012). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Estruturas

3. Igrejinha da Pampulha

I. ENC/FT/UnB

2. Oscar Niemeyer

4. Pavilhão da Gameleira

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PEREIRA, N. C. (2012). Concepção arquitetônica e estrutural de duas obras de Oscar Niemeyer: Igreja da Pampulha e Pavilhão da Gameleira. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM012/12 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Nathalia Coelho Pereira

TÍTULO: Concepção arquitetônica e estrutural de duas obras de Oscar Niemeyer: Igreja da Pampulha e Pavilhão da Gameleira

GRAU: Mestre

ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Nathalia Coelho Pereira  
SQS 404, Bloco L, Apto 205.  
70238-120 Brasília, DF - Brasil

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço primeiramente ao Professor Luciano Bezerra por ter tido a confiança de me acolher em um momento complicado da minha trajetória no Programa de Mestrado e ao*

*Professor Márcio Buzar pela grande disponibilidade em me acompanhar durante o desenvolvimento da dissertação e por compartilhar seu tempo e conhecimento comigo.*

*Agradeço também a minha família, em especial aos meus pais, pelo apoio imensamente incondicional nessa jornada, desde o primeiro momento.*

*Deixo também os agradecimentos aos meus amigos, a alguns em especial, seja por me abrigado em Brasília na chegada, seja por ter incentivado a minha vinda, seja pela companhia e pelas conversas consoladoras, ou por me ajudar a me entender e entender o significado da experiência e do trabalho que estava desenvolvendo.*

*E também agradeço à CNPQ, pelo apoio financeiro*

*Em fim, abrigada a todos que contribuíram direta ou indiretamente para esta conquista.*

*De tudo ficaram três coisas  
A certeza de que estamos começando  
A certeza de que é preciso continuar  
A certeza de que podemos ser interrompidos antes de terminar  
Façamos da interrupção um caminho novo  
Da queda, um passo de dança  
Do medo, uma escada  
Do sonho, uma ponte  
Da procura, um encontro!*

**Fernando Sabino**

## **RESUMO**

### **CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA E ESTRUTURAL DE DUAS OBRAS DE OSCAR NIEMEYER: IGREJA DA PAMPULHA E PAVILHÃO DA GAMELEIRA**

**Autor: Nathalia Coelho Pereira**

**Orientador: Prof. Luciano Mendes Bezerra**

**Co-orientador: Prof. Márcio Augusto Roma Buzar**

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil**

**Brasília, Julho de 2012**

Apesar da obra do arquiteto Oscar Niemeyer ter grande reconhecimento no Brasil e no mundo, ainda existem lacunas no que diz respeito ao conhecimento de como foi definido o sistema estrutural e o método construtivo de alguns edifícios projetados por ele. Assim, mesmo com a vasta bibliografia sobre o arquiteto ainda é possível levantar alguns pontos a serem esclarecidos sobre sua obra, a qual surpreende desde o início pela forma como a tecnologia do concreto armado foi utilizada e pela estética.

Neste trabalho, a princípio, buscou-se identificar e discutir questões teóricas relevantes sobre a obra de Niemeyer e sobre a relação da arquitetura com a estrutura de uma edificação, das quais se destacam algumas questões como: Quando realmente podemos considerar que houve integração entre arquitetura e estrutura de uma edificação; Porque as obras de Niemeyer se destacam em relação à estética e porque a estética e a beleza são tão importantes para uma edificação; e em quais aspectos as obras de Niemeyer contribuíram para a inovação da tecnologia do concreto armado.

Além da revisão teórica, esta pesquisa optou por apresentar estudos de caso de estruturas de edifícios Oscar Niemeyer. Assumiu-se, portanto, como estudo de caso as edificações da Igrejinha da Pampulha em Belo Horizonte e do Pavilhão da Gameleira, edifício que também seria construído em BH. Então, após pesquisa de revisão bibliográfica e documental sobre as edificações escolhidas e visitas a uma delas, foram desenvolvidos modelos numéricos tridimensionais no software SAP2000, versão 14, com o objetivo de descrever e analisar a estrutura das mesmas. Foram utilizados também softwares como AutoCAD e Sketchup como apoio a modelagem no SAP2000.

No caso da Igrejinha da Pampulha o estudo de caso buscou essencialmente investigar o funcionamento da estrutura construída. Já no caso do Pavilhão da Gameleira o estudo buscou descrever a estrutura da edificação até onde era possível com as informações disponíveis e trazer uma reflexão sobre um caso que não foi bem sucedido.

**Palavras chave:** Estruturas; Oscar Niemeyer; Igrejinha da Pampulha; Pavilhão da Gameleira.

## **ABSTRACT**

### **ARCHITECTURAL AND STRUCTURAL CONCEPTION OF TWO BUILDINGS DESIGNED BY NIEMEYER: PAMPULHA'S CHURCH AND GAMELEIRA'S PAVILLION**

**Author: Nathalia Coelho Pereira**

**Supervisor: Prof. Luciano Mendes Bezerra**

**Co-Supervisor: Prof. Márcio Augusto Roma Buzar**

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil**

**Brasília, July 2012**

Despite the work of architect Oscar Niemeyer have a great acknowledgment in Brazil and in the world, there are still gaps in knowledge about how was defined the structural system and the construction method of some buildings designed by him. Even with the vast literature on the architect, is still possible indicate some points of his work to be explored. Work which surprises since the beginning by how technology of reinforced concrete was used and aesthetics.

In this research, at first, we attempted to identify and discuss relevant theoretical questions about Niemeyer's work and about the relation of architecture with the structure of a building, which stand out the following questions: When can we actually consider that there was integration between architecture and structure of a building; why Niemeyer's works are considered beautiful and why esthetics and beauty are so important to a building, and in which aspects the works of Niemeyer contributed to the technology innovation of reinforced concrete.

Besides the theoretical review, this research opted to present case studies of structures of buildings designed by Oscar Niemeyer. It was assumed, therefore, as a case study the buildings of Pampulha's Church (Igreja da Pampulha) in Belo Horizonte and Gameleira Pavilion (Pavilhão da Gameleira), a building that would also be built in BH. Then, after a literature review, documental research about the chosen building and visits one of them, numerical three-dimensional models were developed in SAP2000 software. We also used softwares such as AutoCAD and Sketchup support for modeling in SAP2000.

In the case Pampulha's Church the case study essentially tried to investigate the functioning of the built structure. In the case of the Gameleira's Pavilion the study looked to describe the structure of the building, as far as possible, with the information available and to ponder on a case that was not successful.

**Keywords:** Structure; Oscar Niemeyer; Pampulha's Church; Gameleira's Pavilion.

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XVI</b>
<b>1. APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 A OBRA DE OSCAR NIEMEYER.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. A OBRA DE NIEMEYER EM MINAS GERAIS.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1 LINHA DO TEMPO DAS OBRAS DE NIEMEYER EM MINAS.....</b>	<b>9</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL, CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. ESTÉTICA, ARQUITETURA E ESTRUTURA .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.1. A IMPORTÂNCIA DA ESTÉTICA.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3. O CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.1. ASPECTOS HISTÓRICOS DA TECNOLOGIA DO CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.2. INOVAÇÕES.....</b>	<b>29</b>
<b>4. ESTUDOS DE CASO.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1. METODOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2. IGREJA SÃO FRANCISCO DE ASSIS – BELO HORIZONTE – MG .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2.1. SITUAÇÃO ATUAL E RELAÇÃO COM O ENTORNO .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.2. DESCRIÇÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.3. MODELAGEM DA ESTRUTURA .....</b>	<b>48</b>
<b>4.2.4. ANÁLISES .....</b>	<b>53</b>

<b>4.3. PAVILHÃO DA GAMELEIRA .....</b>	<b>59</b>
4.3.1. DESCRIÇÃO .....	60
4.3.2. O ACIDENTE .....	64
4.3.3. MODELAGEM ESTRUTURAL .....	70
4.3.4. ANÁLISES .....	71
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>76</b>
<b>5.1 RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIG. 2-1 Oscar Niemeyer (Fonte: <a href="http://www.paraiba.com.br">www.paraiba.com.br</a> , acessado em julho/2012) .....	6
FIG. 2-2 Obra do Berço (Fonte (DURAND e SALVATORI, 2011)).....	7
FIG. 2-3 Na Seqüência da esquerda pra direita: Emílio Baumgart, Joaquim Cardozo, Bruno Contarini e José Carlos Sussekind. (Fonte: Google imagens).....	8
FIG. 2-4 Grande Hotel Ouro Preto (Fonte: <a href="http://arquitetura.Decorada.blogspot.com.br/2010_12_24_archive.html">arquitetura Decorada.blogspot.com.br/2010_12_24_archive.html</a> ).....	8
FIG. 2-5 Cassino .....	8
FIG. 2-6 Casa Do Baile (Fonte: <a href="http://www.pedrokok.com.br/2009/10/casa-do-baile-em-pampulha-belo-horizonte-mg/">www.pedrokok.com.br/2009/10/casa-do-baile-em-pampulha-belo-horizonte-mg/</a> ) .....	8
FIG. 2-7 Iate Clube (Fonte: <a href="http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/01.004/985">www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/01.004/985</a> ) .....	8
FIG. 2-8 Residência Francisco Peixoto (Fonte: <a href="http://www.adorocasas.com/casas-de-oscar-niemeyer/a1941-casa-francisco-peixoto/">www.adorocasas.com/casas-de-oscar-niemeyer/a1941-casa-francisco-peixoto/</a> ) .....	8
FIG. 2-9 Igreja São Francisco de Assis .....	8
FIG. 2-10 Residência JK .....	9
FIG. 2-11 Golfe Clube .....	9
FIG. 2-12 Residência João Lima Padua (Fonte: <a href="http://www.arqbh.com.br/2007/03/residencia-joo-lima-de-pdua.html">http://www.arqbh.com.br/2007/03/residencia-joo-lima-de-pdua.html</a> ) .....	9
FIG. 2-13 Colégio Cataguases (Fonte: <a href="http://www.minastour.com.br/website/index.php?centro=cidades/atrativos.php&amp;dados=VGxScmVRPT0=&amp;circuito">http://www.minastour.com.br/website/index.php?centro=cidades/atrativos.php&amp;dados=VGxScmVRPT0=&amp;circuito</a> ).....	9
FIG. 2-14 Praça De Esportes (Fonte: <a href="http://mail.romanoguerra.com.br/revistas/read/minhacidade/08.095/1887">http://mail.romanoguerra.com.br/revistas/read/minhacidade/08.095/1887</a> ) .....	9
FIG. 2-15 Escola Julia Kubitscheck (Fonte: <a href="http://theurbanearth.wordpress.com/tag/muxarabi/">http://theurbanearth.wordpress.com/tag/muxarabi/</a> ) .....	9
FIG. 2-16 Banco Da Produção (Fonte: <a href="http://curraldelrei.blogspot.com.br/2011_07_01_archive.html">curraldelrei.blogspot.com.br/2011_07_01_archive.html</a> ) .....	9
FIG. 2-17 Conjunto JK (Fonte: <a href="http://www.archdaily.com.br/38622/classicos-da-arquitetura-conjunto-governador-juscelino-kubitschek-jk-oscar-niemeyer/8-58/">www.archdaily.com.br/38622/classicos-da-arquitetura-conjunto-governador-juscelino-kubitschek-jk-oscar-niemeyer/8-58/</a> ).....	9
FIG. 2-18 Hotel Tijuco (Fonte: <a href="http://www.visiteminasgerais.com.br/hospedagem.asp?cod_hotel=1229">http://www.visiteminasgerais.com.br/hospedagem.asp?cod_hotel=1229</a> ) .....	10
FIG. 2-19 Colégio Estadual (Fonte: <a href="http://fernandonogueiracosta.wordpress.com/2011/01/13/colegio-estadual-central-de-minas-gerais/">fernandonogueiracosta.wordpress.com/2011/01/13/colegio-estadual-central-de-minas-gerais/</a> ) .....	10

FIG. 2-20 Biblioteca (Fonte: <a href="http://www.trekearth.com/gallery/South_America/Brazil/Southeast/Minas_Gerais/Belo_Horizonte/photo1161240.htm">www.trekearth.com/gallery/South_America/Brazil/Southeast/Minas_Gerais/Belo_Horizonte/photo1161240.htm</a> ) .....	10
FIG. 2-21 Edifício Niemeyer (Fonte: <a href="http://4xfoto.blogspot.com.br/2010/06/1o-tema-cidade.html">http://4xfoto.blogspot.com.br/2010/06/1o-tema-cidade.html</a> ) .....	10
FIG. 2-22 Edifício Sede Banco do Brasil .....	10
FIG. 2-23 Cidade Administrativa .....	10
FIG. 2-24 Clube Libanês (Fonte: (MACEDO, 2002)) .....	12
FIG. 2-25 Projeto Hotel da Pampulha (Fonte: PAPATAKI apud (MACEDO, 2002)).....	12
FIG. 2-26 Teatro Municipal, Belo Horizonte (Fonte: Relatório de Gestão 1941-1942).....	13
FIG. 2-27 Maquete Eletrônica Pavilhão da Gameleira (Fonte: Autora, Desenvolvida nos softwares Sketchup e V-Ray).....	13
FIG. 2-28 Projeto da cidade Belo Horizonte com adaptações (Fonte: Arquivo Público da Cidade de Belo Horizonte) .....	14
FIG. 3-1 Taxi da cidade de Belo Horizonte com logomarca inspirada da Igreja da Pampulha. (Fonte: <a href="http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico/Imprensa/tarifa_taxi_091211">http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico/Imprensa/tarifa_taxi_091211</a> ).....	22
FIG. 3-2 Ônibus da Cidade de Belo Horizonte. Na imagem da esquerda com foto da cidade administrativa de Belo Horizonte e na da direita com logomarca inspirada no edifício Niemeyer e na Igreja da Pampulha (Fonte: <a href="http://www.webtranspo.com.br/passageiros/16646-bh-tem-nova-linha-de-onibus-preco-da-tarifa-caiu">http://www.webtranspo.com.br/passageiros/16646-bh-tem-nova-linha-de-onibus-preco-da-tarifa-caiu</a> ) .....	23
FIG. 3-4 Logomarca do Governo do Distrito Federal inspirada nas colunas do palácio da Alvorada. (Fonte: <a href="http://www.francabrasil2009.df.gov.br/fr-br-04/index.php">www.francabrasil2009.df.gov.br/fr-br-04/index.php</a> ) .....	23
FIG. 3-5 Logomarcas da Radio e da TV senado inspiradas no edifício do congresso nacional. (Fonte: <a href="http://radiosetvs.com/radiosenado_df.html">http://radiosetvs.com/radiosenado_df.html</a> e <a href="http://chicosantannaefocom.blogspot.com.br/2010/04/comunicacao-legislativa-tv-senado-tv.html">http://chicosantannaefocom.blogspot.com.br/2010/04/comunicacao-legislativa-tv-senado-tv.html</a> ).....	23
FIG. 3-3 Empresa de turismo de Brasília com logo marca inspirada no edifício da Catedral de Brasília. (Fonte: <a href="http://onibusbrasil.com/foto/853998/">onibusbrasil.com/foto/853998/</a> ) .....	23
FIG. 3-8 Ponte sobre o Rio Dordogne. (Fonte: <a href="http://www.canstockphoto.com.br/chateau-acima-dordogne-ponte-0158338.html">www.canstockphoto.com.br/chateau-acima-dordogne-ponte-0158338.html</a> ).....	26
FIG. 3-6 Pantheon de Paris. Fonte: <a href="http://oc.encydia.com/es/Pante%C3%B3n_De_Par%C3%ADs">http://oc.encydia.com/es/Pante%C3%B3n_De_Par%C3%ADs</a> .....	26

FIG. 3-7	Farol Eddystone	(Fonte: <a href="http://www.lindahall.org/events_exhib/exhibit/exhibits/civil/eddystone_south_image.shtml">http://www.lindahall.org/events_exhib/exhibit/exhibits/civil/eddystone_south_image.shtml</a> )	26
FIG. 3-9	Palácio da Alvorada em construção	(Fonte: <a href="http://noticias.br.msn.com/fotos/galeria-de-fotos-brasilia.aspx?cp-documentid=23954819&amp;page=2">noticias.br.msn.com/fotos/galeria-de-fotos-brasilia.aspx?cp-documentid=23954819&amp;page=2</a> )	27
FIG. 3-10	Universidade de Constantine	(Fonte: <a href="http://jcjovine.blogspot.com.br/2010/06/dr-marco-paulo-rabello.html">jcjovine.blogspot.com.br/2010/06/dr-marco-paulo-rabello.html</a> )	27
FIG. 4-2	Modelo da Igrejinha da Pampulha		32
FIG. 4-1	Modelo do Pavilhão da Gameleira no software Sketchup 8	(Fonte: Autora)	32
FIG. 4-3	Modelo Igreja da Pampulha desenvolvido no SAP2000-V14	(Fonte: Autora)	33
FIG. 4-4	Modelo desenvolvido no SAP2000-V14	(Fonte: Autora)	33
FIG. 4-5	Pacômetro utilizado na medição	(Fonte: Autora)	33
FIG. 4-6	Fachada Sul Igrejinha da Pampulha	(Fonte: Autora)	34
FIG. 4-7	Imagens de parte documentação encontrada no IPHAN-MG	(Fonte: Autora)	35
FIG. 4-8	Croquis da Igreja da Pampulha encontrados no relatório de gestão 1941-1942 do prefeito de Belo Horizonte, Juscelino Kubitschek.	(Fonte: Relatório de Gestão 1941-1942)	37
FIG. 4-9	Comparativo Fachadas. Primeiro desenho da fachada da edificação da forma como foi construída e segundo imagem do desenho do relatório de gestão	(Fonte: Adaptação do Autora)	38
FIG. 4-10	Comparativo. Na coluna da esquerda desenhos de como a edificação foi construída e na coluna da direita imagens tratadas dos desenhos do relatório de gestão.	(Fonte: Adaptação Autora)	39
FIG. 4-11	Vista fachada sul Igrejinha e Praça São Francisco de Assis	(Fonte: Autora)	40
FIG. 4-12	Vista do Mineirão e do Mineirinho do adro da Igreja da Pampulha	(Fonte: Autora)	40
FIG. 4-13	Vista da Lagoa da Pampulha e do Iate Clube através da Marquise da Igreja da Pampulha	(Fonte: Autora)	40
FIG. 4-14	Mapa da Lagoa da Pampulha e seu entorno	(Fonte: <a href="http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Mapa_lagoa_pampulha.jpg">pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Mapa_lagoa_pampulha.jpg</a> Adaptada pela autora)	41
FIG. 4-15	Vista Lagoa da Pampulha	(Fonte: Foto Adaptada pela autora)	42
FIG. 4-16	Torre e Marquise	(Fonte: Autora; Desenvolvido no Sketchup)	42
FIG. 4-17	Medidas Marquise e Torre Igreja da Pampulha	(Fonte: Autora; Desenvolvido no Sketchup e CorelDraw)	43

FIG. 4-18 Abobada maior. (Fonte: Autora; Desenvolvido no Sketchup) .....	43
FIG. 4-19 – Medidas Abobada Maior (Fonte: Autora; Desenvolvido no Autocad).....	44
FIG. 4-20 Vista lateral Abobada Maior (Fonte: Autora).....	44
FIG. 4-21 Abóbada Maior em construção (Fonte: <a href="http://bhnostalgia.blogspot.com.br/2009_06_01_archive.html">http://bhnostalgia.blogspot.com.br/2009_06_01_archive.html</a> ).....	44
FIG. 4-22 – Casca combinação arcos e parábola (Fonte: Autora ; Desenvolvido no Sketchup 8;).....	45
FIG. 4-23 – Medidas da casca combinação de arcos e parábola (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad) .....	45
FIG. 4-24 Interior Igreja da Pampulha (Fonte: Autora; Desenvolvido no Sketchup) .....	46
FIG. 4-25 Vista do Altar da Igreja da Pampulha (Fonte: <a href="http://pensamentosduneto.blogspot.com.br/2011/01/curiosidades-igreja-de-sao-francisco-de.html">http://pensamentosduneto.blogspot.com.br/2011/01/curiosidades-igreja-de-sao-francisco-de.html</a> ).....	47
FIG. 4-26 Vista do Mezanino da Igreja da Pampulha (Fonte: <a href="http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=294539">www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=294539</a> ).....	47
FIG. 4-27 Planta-Baixa Igreja da Pampulha (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad). 48	
FIG. 4-28 Mapa das medições com o pacômetro (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad e CorelDraw).....	49
FIG. 4-29 Indicação dos cortes. (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad e CorelDraw) .....	50
FIG. 4-30 Corte A - Mapa das medições nas paredes com o pacômetro. (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad e CorelDraw).....	50
FIG. 4-31 Corte B - Mapa das medições nas paredes com o pacômetro. (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad e CorelDraw).....	51
FIG. 4-32 Esquema da divisão em planos (Fonte: Autora; Desenvolvido no CorelDraw). 51	
FIG. 4-33 Visão Geral Modelo SAP2000 (Fonte: Autoraa; Desenvolvido no SAP2000).. 52	
FIG. 4-34 Deformação para a combinação de serviço, sem pilares e vigas (Fonte: Autoraa; Desenvolvido no SAP2000) .....	54
FIG. 4-35 Deformação para a combinação de serviço, com pilares e vigas (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000) .....	54
FIG. 4-36 Forças Normais para combinação 1, sem pilares e vigas (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000) .....	55
FIG. 4-37 Forças Normais para combinação 1, com pilares e vigas (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000) .....	55

FIG. 4-38 Reações nos apoios em tonelada-força, simulação com pilares (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP200-V14) .....	56
FIG. 4-39 Reações nos apoios em tonelada-força, simulação com pilares (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP200-V14) .....	56
FIG. 4-40 Deformação para combinação de carga 1, com a escala de cores em metros. (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000-V14) .....	57
FIG. 4-41 Forças Normais para combinação de carga 1 (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000-V14) .....	58
FIG. 4-42 Reações nos apoios em tonelada-força (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000-V14) .....	59
FIG. 4-43 Imagem renderizada de maquete eletrônica em Sketchup do Pavilhão da Gameira (Fonte: Autora) .....	60
FIG. 4-44 Foto aérea da região da Gameleira em 1972 (Fonte: Instituto de Geociências Aplicadas <i>apud</i> (BORBA, 2007)) .....	61
FIG. 4-45 Desenho esquemático da planta e da elevação do Pavilhão da Gameleira (Fonte: (CUNHA, SOUZA e LIMA, 1996)).....	62
FIG. 4-46 Corte (Fonte: (GALVANE JR., 2004)).....	63
FIG. 4-47 Dimensões longitudinais Pavilhão da Gameleira (Fonte: Autora. Desenvolvido no Sketchup).....	63
FIG. 4-49 Dimensões Pilares.....	63
FIG. 4-48 Dimensões transversais Pavilhão da Gameleira (Fonte Autora: Desenvolvido no Sketchup).....	63
FIG. 4-50 Imagens da Maquete eletrônica do Pavilhão da Gameleira (Fonte: Autora; Desenvolvido no Sketchup e no V-Ray) .....	64
FIG. 4-51 Desmoronamento Pavilhão da Gameleira (Fonte: Centro de documentação do Jornal Estado de Minas <i>apud</i> (BORBA, 2007)).....	64
FIG. 4-52 Desmoronamento Pavilhão da Gameleira (Fonte: Centro de documentação do Jornal Estado de Minas <i>apud</i> (BORBA, 2007)).....	65
FIG. 4-53 Visão Geral do desmoronamento Pavilhão da Gameleira (Fonte: Centro de documentação do Jornal Estado de Minas <i>apud</i> (BORBA, 2007)).....	65
FIG. 4-54 Desmoronamento Pavilhão da Gameleira (Fonte: Centro de documentação do Jornal Estado de Minas <i>apud</i> (BORBA, 2007)).....	66
FIG. 4-55 Vista aérea atual (Fonte: Google Earth) .....	69
FIG. 4-56 Modelo do Pavilhão da Gameleira desenvolvido no software SAP2000-V14 (Fonte: Autora) .....	70

FIG. 4-57 Vista do Modelo SAP a laje da sobreloja (Fonte: Autora) .....	70
FIG. 4-58 Vista do Modelo SAP com a laje da sobreloja (Fonte: Autora) .....	70
FIG. 4-59 Deformação para combinação de serviço (Fonte: Autora; Desenvolvida no SAP2000) .....	71
FIG. 4-60 Forças Normais (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000) .....	72
FIG. 4-61 Momento Fletor (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000).....	73
FIG. 4-62 Reações nos apoios em Kgf (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000-V14)	74

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 3-1 Mudanças nos papéis de arquitetos, engenheiros e construtores (Fonte: (MELHADO, 1994)).....	16
Tabela 4-1 Definição dos elementos estruturais do modelo SAP .....	52
Tabela 4-2 Definição de Elementos no SAP2000 (Fonte: Autora) .....	71

# 1. APRESENTAÇÃO

Este trabalho surgiu a partir do interesse em estudar os conflitos em relação à concepção arquitetônica e a concepção estrutural de uma edificação.

Esta dissertação foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, com apoio da Faculdade de Arquitetura de Urbanismo também da Universidade de Brasília.

Já o tema dessa dissertação, vem ao encontro dos temas de outras dissertações de mestrado desenvolvidas em ambos os departamentos citados e que, entre outros objetivos, também procuram descrever e analisar as estruturas de concreto armado de edificações do modernismo brasileiro. Estilo arquitetônico que tem como um dos principais protagonistas o arquiteto Oscar Niemeyer. Nestes trabalhos já foram estudadas as estruturas de obras como: a Igrejinha Nossa Senhora de Fátima<sup>1</sup>; a Cúpula invertida do Congresso Nacional<sup>1</sup>, o Teatro Nacional Cláudio Santoro<sup>2</sup>, o Palácio da Justiça<sup>3</sup>, o Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília<sup>4</sup> e o Palácio do Itamaraty<sup>5</sup>, todas localizadas em Brasília, Distrito Federal e projetadas por Oscar Niemeyer.

Oscar Niemeyer é um arquiteto com uma carreira de grande repercussão mundial. Apesar de sua obra ter grande reconhecimento no Brasil e no mundo, ainda existem lacunas no que diz respeito ao conhecimento de como foi definido o sistema estrutural e o método construtivo de alguns edifícios projetados por ele. Assim, mesmo com a vasta bibliografia sobre o arquiteto ainda é possível levantar alguns pontos a serem esclarecidos sobre a sua obra.

Entre outros aspectos, um dos pontos em que a obra de Niemeyer se destaca é em como se dá a relação entre arquitetura e estrutura de seus projetos. Neles, esse arquiteto não faz

---

<sup>1</sup>INOJOSA, L. S. O sistema estrutural na obra de Niemeyer. FAU-UnB: Brasília, 2010.

<sup>2</sup>SOUZA, D. A. S. A estrutura do Teatro Nacional Cláudio Santoro em Brasília, histórico de projeto, execução, intervenções e estratégias para manutenção. PECC-UnB: Brasília, 2009

<sup>3</sup>MOREIRA, A. L. A. A estrutura do Palácio da Justiça em Brasília: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e recomendações para manutenção. PECC-UnB: Brasília, 2007.

<sup>4</sup>FONSECA, R. P. A estrutura do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e recomendações para manutenção. PECC-UnB: Brasília, 2007.

<sup>5</sup>SANTOS JR., E. A estrutura do Palácio do Itamaraty em Brasília: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção. PECC-UnB: Brasília, 2004.

distinção categórica entre concepção arquitetônica e concepção estrutural, o que de certa forma foge do padrão que conhecemos nos dias atuais. Sua obra também se destaca pela forma como é explorada a plasticidade do concreto armado. Então, como resultado desta maneira de enxergar a arquitetura, este arquiteto possui uma obra rica em edificações com formas ousadas, exuberantes e com arrojada expressão estrutural.

Dado o destaque as questões estruturais dos edifícios projetados por Niemeyer percebe-se que os engenheiros calculistas que trabalharam com ele foram muito importantes para que sua obra obtivesse tanto êxito. Entre eles podemos citar quatro como os principais parceiros de trabalho: Emílio Baumgart, Joaquim Cardozo, Bruno Contarini e José Carlos Sucesskind, com ênfase ao Joaquim Cardozo por ter sido quem trabalhou com Niemeyer por mais tempo e por ser o principal calculista das obras estudadas nesta dissertação.

Apesar de sabermos que a boa relação entre arquitetura e estrutura foi fundamental para o sucesso da carreira de Niemeyer, é notório que atualmente não há uma relação muito próxima entre essas áreas de atuação profissional. Sabe-se que a caracterização das profissões da forma que conhecemos hoje é relativamente recente e esta distinção das atribuições profissionais de cada especialidade trouxe a tona os conflitos existentes entre a concepção estrutural e arquitetônica de uma edificação.

É importante considerar também que dentre todos os subsistemas que formam a construção de um edifício, a estrutura é o de maior valor do ponto de vista econômico. Sendo que, o custo da estrutura em relação ao custo total da edificação pode variar entre 14,08% e 22,77%. BATLOUNI NETO *apud* (ISAIA, 2011) “Embora o projetista de estrutura procure otimizar o custo de sua estrutura é sabido que grande parte desse custo já está definida pelo projeto de arquitetura.” “Na verdade arquitetura e estrutura se influenciam mutuamente e constantemente até a definição total do projeto.” (ISAIA, 2011)

Diante do exposto, definiu-se como tema desta dissertação: Concepção Estrutural e Concepção Arquitetônica: Estudo de caso da estrutura em dois edifícios projetados Oscar Niemeyer.

Como objetivo geral propõe-se discutir a relação e conseqüentemente os conflitos existentes entre a concepção estrutural e a concepção arquitetônica, através de uma revisão teórica e da avaliação estrutural, como estudo de caso, das obras da Igreja São Francisco de Assis, construída na década de 40, no bairro Pampulha, em Belo Horizonte, Minas Gerais; e do Pavilhão da Gameleira, que seria construído no Bairro da Gameleira, também em Belo

Horizonte, na década de 70, mas que não teve sua obra concluída. Ambas as edificações foram projetadas do arquiteto Oscar Niemeyer.

Em relação às edificações escolhidas para estudo de caso, a Igreja São Francisco de Assis, ou como é popularmente conhecida, Igrejinha da Pampulha foi escolhida para ser estudada pelo seu significado na trajetória da carreira de Niemeyer e na arquitetura moderna brasileira. O conjunto da Pampulha, do qual a Igrejinha faz parte, é considerado um marco na carreira deste arquiteto, pois foi sua primeira obra de repercussão mundial. Já o Pavilhão da Gameleira foi escolhido pelo acidente estrutural envolvido na sua construção, o qual fez com que a edificação desabasse antes mesmo da sua conclusão. Entendeu-se que estudar um caso de uma edificação que fugiu significativamente da média de desempenho das edificações projetadas por Niemeyer seria interessante, pois, nesta circunstância poderia se identificar variáveis, ou mais especificamente pontos fracos, que também podem estar presentes nas outras situações, mas numa escala que os dificulte de ser constatados. Além disso, considerou-se também que o estudo desta edificação proporcionaria uma reflexão importante sobre as consequências de falhas num processo de planejamento e execução de uma edificação.

Assim, como objetivos específicos foram definidos: (1) Levantar referências bibliográficas sobre a obra de Oscar Niemeyer; (2) Levantar referências bibliográficas sobre concepção estrutural e concepção arquitetônica e sobre a tecnologia do concreto armado; (3) Descrever e analisar através de modelos desenvolvidos no SAP2000 os sistemas estruturais da Igreja São Francisco de Assis, na Pampulha, e do Pavilhão da Gameleira; (3) Desenvolver modelos tridimensionais (em *Sketchup* e *AutoCAD*) para auxílio à descrição das formas das edificações selecionadas para estudo de caso;

O estudo e a relevância do tema selecionado se justificam principalmente pelas questões a seguir: (1) Pela importância da obra do arquiteto Oscar Niemeyer para arquitetura e engenharia moderna brasileira e mundial; (2) Pela lacuna que ainda existe em relação à documentação e estudo sobre a definição do sistema estrutural e do método construtivo, não só das obras de Niemeyer, mas de muitas obras importantes na história da arquitetura e engenharia brasileiras e mundiais. (3) Pela importância da relação forma estrutural, forma arquitetônica para o resultado final de uma edificação e para todo o processo de projeto da mesma.

Sabe-se que “A investigação de uma estrutura necessita de uma abordagem interdisciplinar.” (ICOMOS, 2001*apud*(SILVA, 2008)) “Para se conhecer uma estrutura é necessário obter informações sobre a sua concepção, as técnicas usadas em seu projeto e construção, os processos e os fenômenos que ocorreram, e, finalmente, o seu estado atual.” (SILVA, 2008) Baseando-se no que foi dito, este trabalho foi desenvolvido segundo os seguintes procedimentos metodológicos: Revisão bibliográfica; Pesquisa documental; Modelagem numérica tridimensional das edificações selecionadas; Descrição da estrutura das obras selecionadas; e Análise estrutural dos casos estudados.

Entendem-se como delimitações da pesquisa os seguintes tópicos: (1) O trabalho não se aprofundará na descrição da trajetória de vida de Oscar Niemeyer. Isto, principalmente devido à vasta bibliografia já disponível atualmente sobre o assunto. (2) Este trabalho não tem o objetivo de discutir questões relacionadas à funcionalidade e nem relacionadas ao conforto ambiental das obras de Niemeyer. (3) Em relação à análise estrutural a pesquisa se limitará a aprofundar no estudo das obras do Pavilhão da Gameleira e da Igrejinha da Pampulha. (4) Apesar de muitas vezes a dissertação abordar questões sobre a relação do projeto estrutural e do projeto arquitetônico, não se tem a intenção de discutir questões relacionadas o gerenciamento do processo de projeto de uma edificação, pois, esta abordagem fugiria do foco do objetivo proposto. (5) A análise estrutural das edificações selecionadas para estudo de caso dá mais ênfase a uma avaliação qualitativa do funcionamento do sistema estrutural.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos nos quais, a partir desse capítulo de introdução, o conteúdo se apresenta da seguinte forma: No segundo capítulo, a contextualização, apresenta-se uma breve descrição sobre o contexto histórico do trabalho de Niemeyer e das edificações selecionadas para desenvolver os estudos de caso. No terceiro capítulo, a fundamentação teórica ou revisão bibliográfica, buscou-se identificar e discutir questões teóricas relevantes sobre a obra de Niemeyer e sobre a relação da arquitetura com a estrutura de uma edificação, das quais se destacam algumas questões como: Quando realmente podemos considerar que houve integração entre arquitetura e estrutura de uma edificação; Porque as obras de Niemeyer se destacam em relação à estética? Porque a estética e a beleza são tão importantes para uma edificação; e em que aspectos as obras de Niemeyer contribuíram para a inovação da tecnologia do concreto armado?

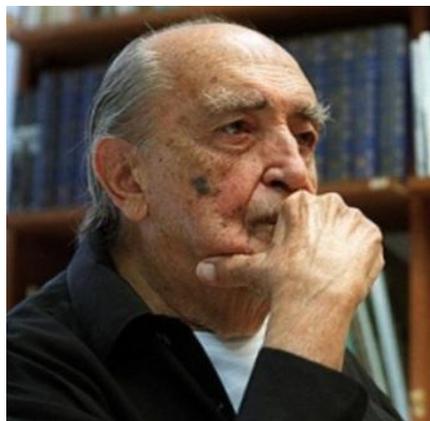
No quarto capítulo, o estudo de caso, apresenta-se os estudos de caso das obras da Igrejinha da Pampulha e do Pavilhão da Gameleira. Neste capítulo também se descreve a metodologia de trabalho e os dados adquiridos com a pesquisa. É importante destacar aqui que apesar de os dois estudos de caso terem partido da mesma metodologia eles tem características distintas. Isto, devido principalmente à diferença de disponibilidade de dados da cada uma, tanto no sentido quantitativo quanto qualitativo. Sendo assim, no caso da Igrejinha da Pampulha, o estudo caracteriza-se essencialmente por uma investigação sobre como se dá o funcionamento dos elementos estruturais da edificação e quais são eles, já que não se tem informações dos projetos originais. No caso do Pavilhão da Gameleira o estudo caracteriza-se principalmente pela descrição da edificação e por agregar dados de diferentes publicações sobre a mesma.

No quinto capítulo apresenta-se as considerações finais sobre a pesquisa e as recomendações.

## 2. CONTEXTUALIZAÇÃO

### 2.1 A OBRA DE OSCAR NIEMEYER

A obra de Oscar Niemeyer (Figura 2-1) obteve grande destaque na arquitetura brasileira e mundial devido ao uso de formas exuberantes nas edificações projetadas por ele. Nascido na cidade do Rio de Janeiro, em dezembro de 1907, ele também surpreende pela sua longevidade ao passar dos 100 anos de idade.



**FIG. 2-1 Oscar Niemeyer**(Fonte: [www.paraiba.com.br](http://www.paraiba.com.br), acessado em julho/2012)

Niemeyer iniciou sua carreira na década de 30, ainda no Rio de Janeiro, como estagiário no escritório do arquiteto Lúcio Costa, onde conheceu pessoas influentes e que proporcionaram boas oportunidades à sua carreira. Lá ele conheceu Gustavo Capanema, na época Ministro da Educação, o qual o apresentou a Rodrigo Melo Franco de Andrade que era presidente do então SPHAN (Serviço de Patrimônio Histórico e Artístico nacional) criado pelo próprio Capanema. Esse, por sua vez, o apresentou a Juscelino Kubitschek quando ele era prefeito de Belo Horizonte, e foi neste contexto, Juscelino convidou Niemeyer para projetar o Conjunto da Pampulha. A partir daí, iniciou-se uma parceria que deu grande visibilidade ao trabalho de Niemeyer, pois, Juscelino viria a se tornar governador do estado de Minas Gerais e posteriormente Presidente da República e durante sua trajetória política sempre convidou Niemeyer para projetar os edifícios públicos a serem construídos durante sua gestão.

O primeiro projeto de destaque no qual Niemeyer trabalhou foi o projeto do edifício do Ministério da Educação, quando ainda era estagiário no escritório de Lucio Costa. Hoje este edifício tem o nome de Edifício Gustavo Capanema e é a sede do IPHAN no Rio de Janeiro. Na época em que este projeto foi desenvolvido Niemeyer conheceu Le Corbusier, importante arquiteto suíço, que foi consultor nesse projeto. Aqui é importante destacar que como Le Corbusier “Poucos arquitetos que tiveram uma intervenção com tal força provocatória e inovadora no discurso sobre arquitetura do Movimento Moderno, quer por

meio da publicação das suas realizações e dos seus projetos quer por meio da sua abundante obra teórica” (LAMERS-SCHÜTZE, 2006).

Sendo assim, através do trabalho no escritório de Lucio Costa e do contato com Le Corbusier, Niemeyer foi fortemente influenciado pelos princípios da Arquitetura Moderna, e demonstrou isso ao longo de toda sua carreira.

Em 1937, já como arquiteto, projetou a Obra do Berço (Figura 2-2), sede de uma instituição filantrópica, no bairro da Lagoa, Rio de Janeiro, o qual foi seu primeiro projeto construído.



FIG. 2-2 Obra do Berço (Fonte (DURAND e SALVATORI, 2011))

No estado Minas Gerais, sua primeira obra foi o Grande Hotel de Ouro Preto (Figura 2-4), como é descrito no trecho a seguir:

“Em 1938, ano da criação do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – hoje IPHAN – o governo Getúlio Vargas uniu-se ao governo de Minas na criação de hotéis para apoiar o desenvolvimento do turismo em Ouro Preto e em Diamantina, cidades internacionalmente famosas desde o século XVIII, como principais centros urbanos criados pelo Ciclo do ouro e do diamante.

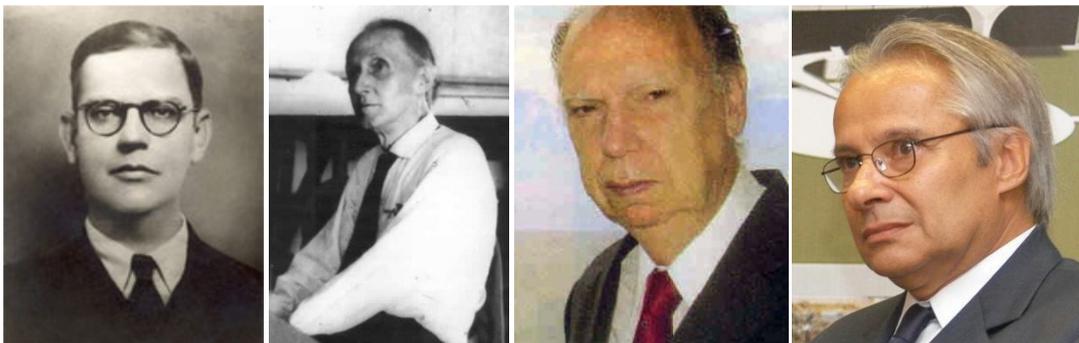
Uma comissão liderada pelo urbanista Lúcio Costa (mais tarde criador do Plano Piloto de Brasília, DF) encarregou o então jovem arquiteto Oscar Niemeyer da tarefa de projetá-los, com a missão de criar edifícios que, intencionalmente, se diferenciassem do casario colonial”

([www.grandehotelouopreto.com.br](http://www.grandehotelouopreto.com.br), acessado em 05/2012)

Também através de Rodrigo Melo Franco de Andrade, Niemeyer conheceu outro importante par em sua carreira, o engenheiro calculista Joaquim Cardoso, que na época também trabalhava no SPHAN.

Joaquim Cardoso era recifense, e nasceu em 1897. Além de calculista foi autor de diversos livros de poesia. Oscar Niemeyer encontrou nele a receptividade que precisava pra a solução dos desafios estruturais da sua arquitetura e tinha grande consideração por este engenheiro. O primeiro trabalho de Joaquim Cardoso em parceria com Niemeyer também foi o Conjunto da Pampulha.

Assim como Joaquim Cardoso outros engenheiros calculistas que trabalharam com Niemeyer foram muito importantes para que sua obra obtivesse tanto êxito. Desse modo, entre eles podemos citar quatro engenheiros como principais parceiros de Niemeyer ao longo de sua carreira: Emílio Baumgart, Joaquim Cardoso, Bruno Contarini e José Carlos Susskind.



**FIG. 2-3 Na Seqüência da esquerda pra direita: Emílio Baumgart, Joaquim Cardozo, Bruno Contarini e José Carlos Sussekind.** (Fonte: Google imagens)

Baumgart trabalhou pouco com Niemeyer, somente durante a segunda metade da década de 30. Cardozo acompanhou o arquiteto principalmente nas décadas de 40, 50 e 60 até o início dos anos 70. Contarini tem a confiança de Oscar Niemeyer desde o final da década de 60 e participa das discussões estruturais com o arquiteto até hoje. Sussenkind passou a relacionar profissionalmente com Niemeyer na década de 70 e apresenta até os dias de hoje grande afinidade profissional e pessoal com Oscar Niemeyer (GALVANE JR., 2004)

É interessante ressaltar também que a tecnologia do concreto, tão explorada por Niemeyer ao longo de sua carreira, era relativamente nova no Brasil quando este começou a trabalhar como arquiteto. Os primeiros edifícios em concreto construídos no Brasil foram construídos a partir de 1904, no Rio de Janeiro, em Santos, Belo Horizonte e São Paulo. Ainda não existiam tantos recursos como atualmente, não só para cálculo, mas também para execução dessas estruturas, tanto que Baumgart, que foi o engenheiro que trabalhou com Niemeyer no início da sua carreira, ficou conhecido como “Pai do concreto armado” no Brasil pelo seu pioneirismo no calculo de estruturas executadas com esta tecnologia.

## 2.2. A OBRA DE NIEMEYER EM MINAS GERAIS

Aproximando mais a contextualização do âmbito das obras selecionadas para estudo de caso, destaca-se agora a obra de Niemeyer no estado de Minas Gerais. A seguir apresenta-se, em ordem cronológica, uma linha do tempo com as edificações projetadas por Niemeyer construídas em Minas Gerais.

### 2.2.1 LINHA DO TEMPO DAS OBRAS DE NIEMEYER EM MINAS

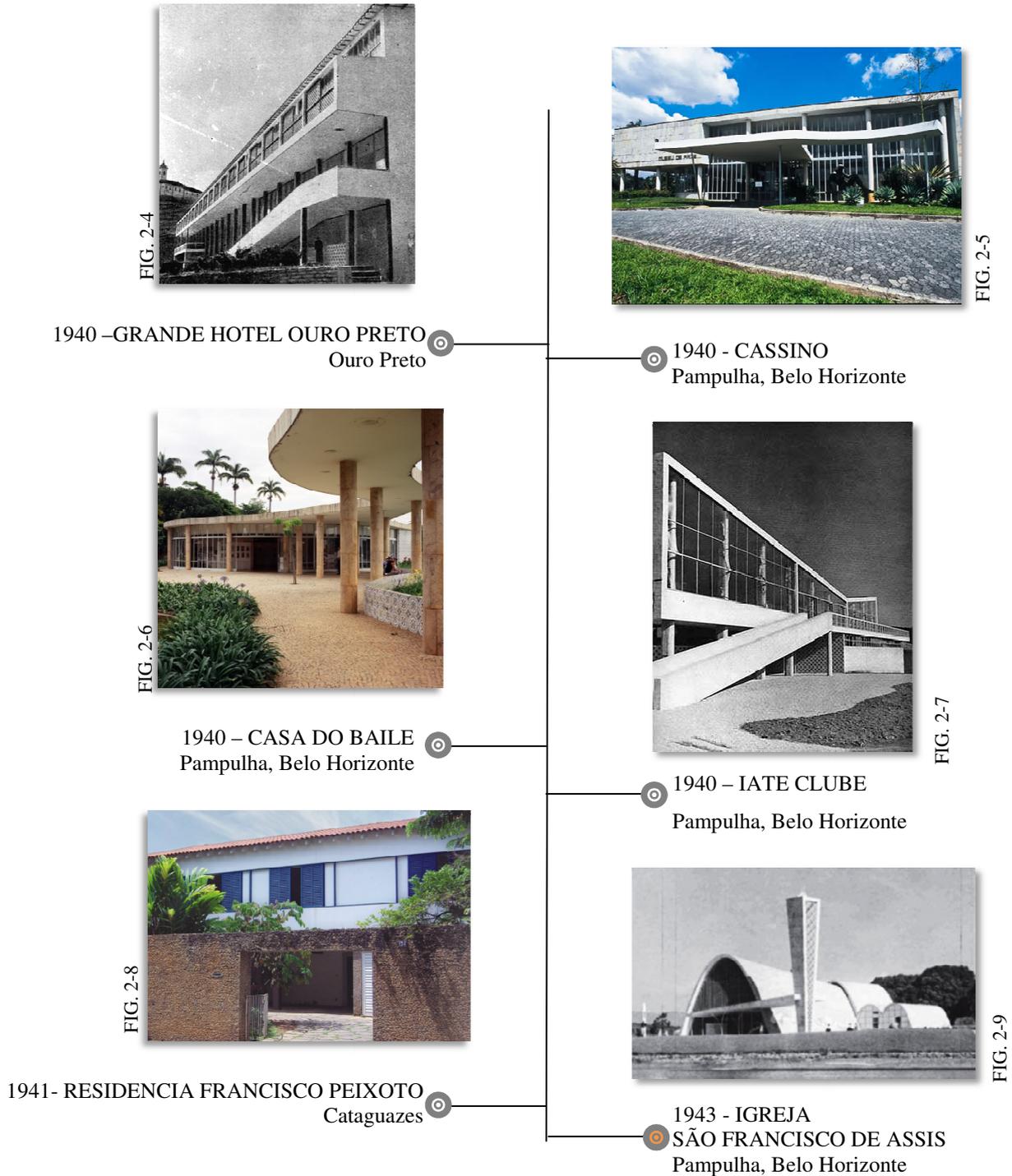


FIG. 2-10



1943 - RESIDENCIA JK  
Pampulha, Belo Horizonte



FIG. 2-11

GOLFE CLUBE  
Belo Horizonte

FIG. 2-12



1943- RESIDENCIA  
JOÃO LIMA PÁDUA  
Belo Horizonte



FIG. 2-13

1946 - COLÉGIO CATAGUAZES  
Cataguazes

FIG. 2-14



1951- PRAÇA DE ESPORTES  
Diamantina



FIG. 2-15

1951- ESCOLA JULIA KUBITSCHEK  
Diamantina

FIG. 2-16



1951- SEDEBANCO  
MINEIRO DA PRODUÇÃO  
Belo Horizonte



FIG. 2-17

1951- CONJUNTO JK  
Belo Horizonte



FIG. 2-18

1951- HOTEL TIJUCO  
Diamantina



FIG. 2-19

1954 - COLÉGIO ESTADUAL  
CETRAL  
Belo Horizonte



FIG. 2-21

1954 - EDIFÍCIO NIEMEYER  
Belo Horizonte



FIG. 2-23

2010 - CIDADE ADMINISTRATIVA  
Belo Horizonte



1954 - RESIDÊNCIA ALBERTO  
DALVA SIMÃO  
Pampulha, Belo Horizonte.



FIG. 2-20

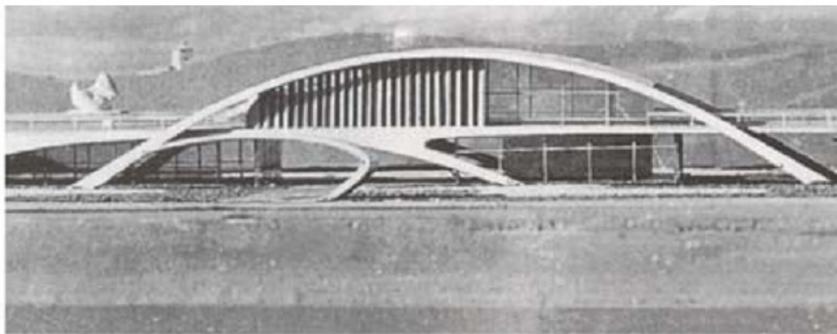
1954- BIBLIOTECA  
PUBLICA ESTADUAL  
Belo Horizonte



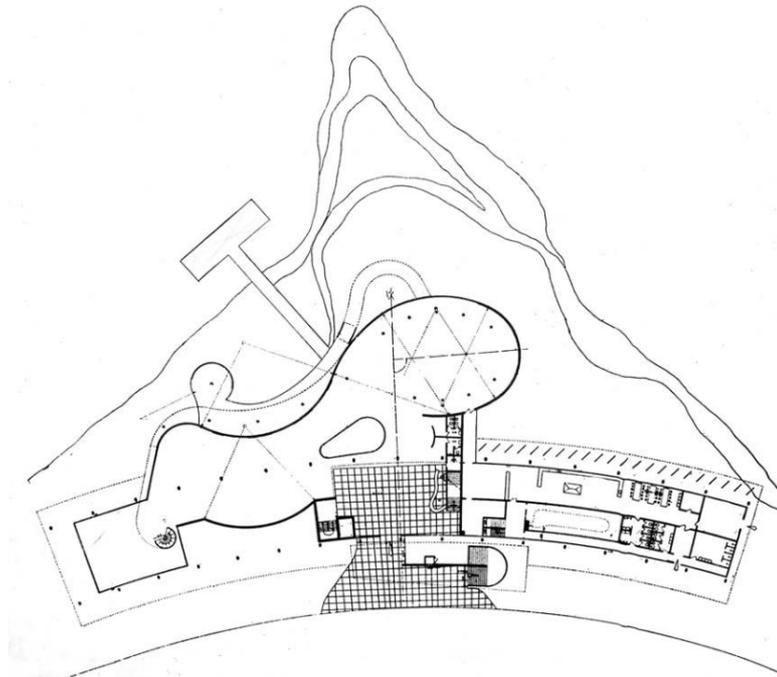
FIG. 2-22

S./D - EDIFÍCIO SEDE  
BANCO DO BRASIL  
Juiz de Fora

Sabe-se que as primeiras obras de destaque do arquiteto Oscar Niemeyer estão localizadas em Minas Gerais. Isso devido à afinidade que Juscelino Kubitschek tinha com o estilo de projetar de Niemeyer, o que o levou a convidar este arquiteto para projetar obras neste estado muitas vezes. Além das obras citadas nesta linha do tempo, Niemeyer projetou outras edificações para Minas Gerais que não chegaram a ser construídas ou não existem mais. Entre elas destacam-se algumas como: o Clube Libanês, 1955, (FIG. 2-24) e o Hotel da Pampulha, 1943, (FIG. 2-25) que nem chegaram a ter a construção iniciada, e também o Teatro municipal de Belo Horizonte, 1942, (FIG. 2-26) e o Pavilhão da Gameleira, 1971, (FIG. 2-27) que foram iniciados, mas não tiveram suas obras concluídas.



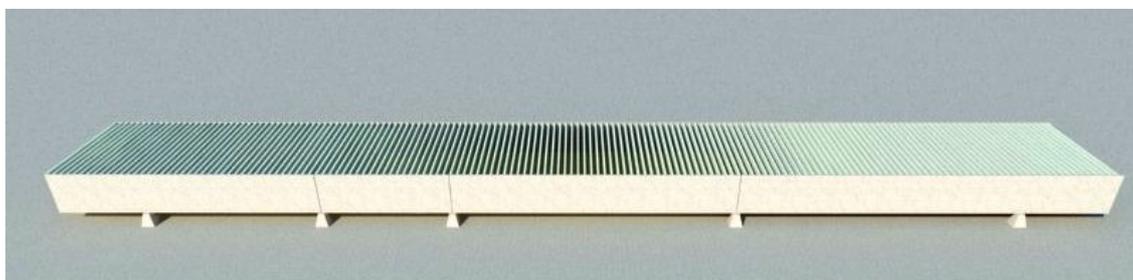
**FIG. 2-24 Clube Libanês** (Fonte:(MACEDO, 2002))



**FIG. 2-25 Projeto Hotel da Pampulha** (Fonte: PAPATAKI apud (MACEDO, 2002))

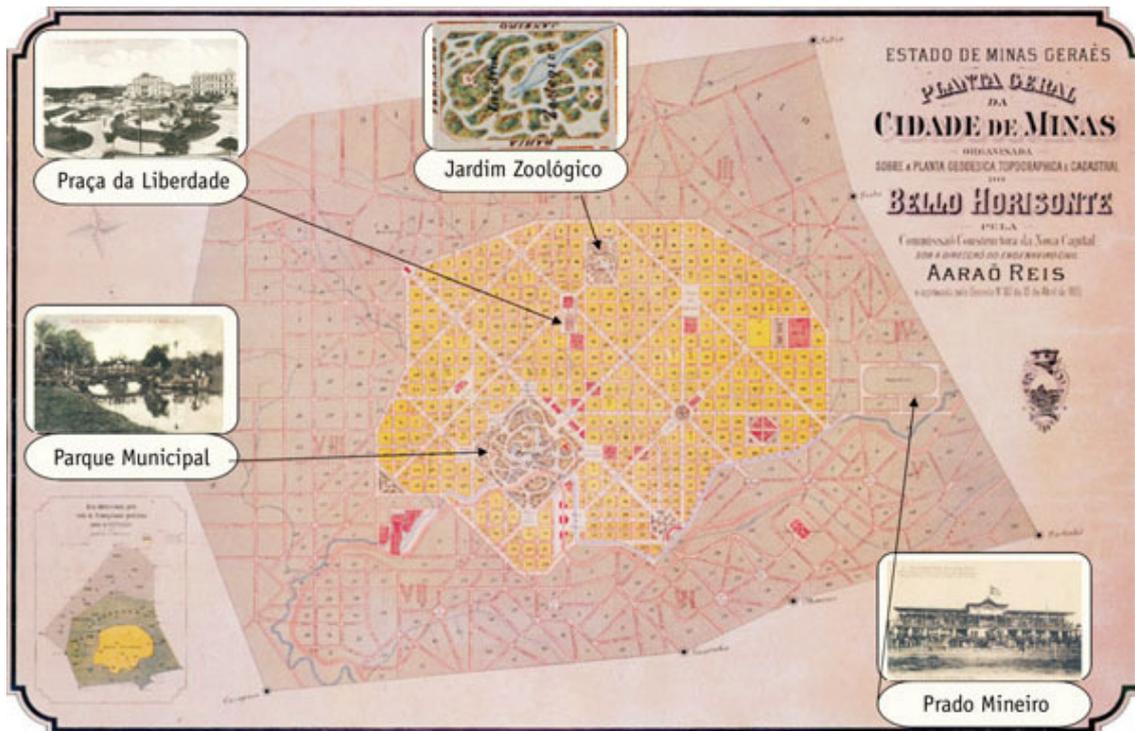


**FIG. 2-26 Teatro Municipal, Belo Horizonte** (Fonte: Relatório de Gestão 1941-1942)



**FIG. 2-27 Maquete Eletrônica Pavilhão da Gameleira**  
(Fonte: Autora, Desenvolvida nos softwares Sketchup e V-Ray)

Ainda neste contexto das edificações projetadas por Niemeyer construídas em Minas Gerais, sabe-se que grande parte das obras citadas se situa na capital do estado, Belo Horizonte. Esta cidade foi fundada em 1897 e é considerada uma das primeiras cidades planejadas do país. (FIG. 2-28) Ela já nasceu com o objetivo de abrigar a capital do estado que seria transferida de Ouro Preto. Projetada pelo engenheiro Aarão Reis foi planejada para atender, a princípio, cerca de trinta mil habitantes e chegar futuramente a duzentos mil habitantes. Atualmente a população da cidade é de mais de dois milhões de habitantes.



**FIG. 2-28 Projeto da cidade Belo Horizonte com adaptações** (Fonte: Arquivo Público da Cidade de Belo Horizonte)

Cabe ressaltar aqui que os traços da arquitetura moderna em Belo Horizonte começaram a surgir na década de 40 com a construção do Conjunto da Pampulha. Sendo que, esses traços modernos não vieram em substituição ao que já estava consolidado, as novas construções se somaram ao que já existia, fazendo Belo Horizonte ser conhecida como uma cidade de vanguarda, mas que não deixa de lado suas tradições.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nessa revisão teórica buscou-se discutir questões relacionadas às razões pela qual as edificações projetadas por Niemeyer tiveram grande destaque no cenário brasileiro e mundial. Através da revisão bibliográfica, foram levantadas três principais razões para esse destaque: a primeira razão levantada foi a relação atípica entre a concepção estrutural e a concepção arquitetônica de seus projetos; a segunda foi a inovação em relação à estética proposta pelas edificações projetadas por ele; e a terceira a forma de utilização do concreto armado como tecnologia e como sistema estrutural, as quais são elucidadas nos tópicos seguir.

#### 3.1. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL, CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA

Sabe-se que apesar de atuarem sobre o mesmo objeto de trabalho, atualmente existe um distanciamento, tanto no meio acadêmico quanto no meio profissional, entre arquitetura e a engenharia estrutural. No entanto, antigamente não existia essa distinção clara de profissões que conhecemos atualmente. Em outras épocas os mesmos profissionais atuavam em diversas áreas de conhecimento, inclusive os profissionais da área da construção e, sendo assim, a figura do engenheiro e do arquiteto não eram explicitamente definidas, como fica claro, a seguir, na Tabela 3-1 apresentada por (MELHADO, 1994).

PERÍODO HISTÓRICO	SITUAÇÃO
Pré-História (até aprox. 3000 a.C.)	1. Surge a atividade de construção de edifícios; 2. Construtor, arquiteto e engenheiro são a mesma pessoa
Antiguidade (3000 a.C. – 476 d.C.)	1. A construção de edifícios é instrumento de poder e aproxima-se das artes; 2. O construtor é um feitor de escravos
Idade Média (476 – 1453)	1. O conhecimento da engenharia (uso de máquinas) torna-se fundamental na atividade da construção; 2. O construtor é um artesão bastante tradicional e valorizado
Idade Moderna (1453 – 1789)	1. Avanço das ciências, influenciado a engenharia; 2. Confronto entre aspectos funcionais e estéticos da construção
Idade Contemporânea da 1ª Revolução industrial (1789) até 1860	1. Mudança no uso dos materiais estruturais na construção de edifícios; 2. Arquiteto e engenheiro são profissionais diferentes ligados a

	construções diferentes
Idade Contemporânea após 2ª revolução Industrial (1860 em diante)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Novas teorias da arquitetura procuram mudar seu papel na sociedade.</li> <li>2. Mudança gradual nas características da mão-de-obra e posterior perda de tradição do ofício;</li> <li>3. especialização crescente da engenharia, surgindo subdivisõesna atuação profissional, divisão de trabalho entre vários profissionais de arquitetura e de engenharia, devido à complexidade crescente dos conhecimentos empregados no projeto e construção de edifícios;</li> <li>4. Arquiteto e engenheiro são profissionais diferentes que trabalham de modo independente.</li> </ol>

**Tabela 3-1 Mudanças nos papéis de arquitetos, engenheiros e construtores** (Fonte: (MELHADO, 1994))

No Brasil, o primeiro sistema de regulamentação profissional de engenheiros e arquitetos, foi oficializado em 1933, através da fundação do sistema CREA/CONFEA no Rio de Janeiro. (FLORENÇANO e ABUD, 1999) Com o passar dos anos as profissões foram adquirindo características próprias e se diferenciando, assim, aos poucos esses profissionais se distanciaram, chegando a tal ponto que, nos dias de hoje, a troca e a comunicação entre essas duas áreas de atuação ficaram prejudicadas.

Atualmente, podemos atribuir esse distanciamento dessas áreas de atuação a vários fatores, entre eles podemos citar dois como principais. Um desses fatores é a deficiência na formação acadêmica desses profissionais a qual, em geral, não promove a integração entre essas áreas de conhecimento, como explicam (CORRÊA e NAVEIRO) ao dizer que uma das razões do despreparo de muitos arquitetos e engenheiros civis recém-formados em lidar com as interfaces de arquitetura e estrutura é o afastamento das estruturas disciplinares acadêmicas dos cursos de arquitetura e engenharia civil ao longo dos anos. “As autoridades acadêmicas têm-se preocupado mais com os aspectos de especialização de seus cursos do que os de relacionamento com os demais. Dessa forma, temos arquitetos formados com poucas afinidades em estruturas de edifícios e engenheiros civis com poucas afinidades com a forma e o estudo espacial.” (CORRÊA e NAVEIRO)

O segundo fator que pode ser apontado é explicado por (MAPHUZ, 2004): “a perda da influência que a arquitetura gozava até meados do século XX como centro ideológico do modernismo, e sua conseqüente decadência como profissão relevante aos olhos da sociedade.” Como confirmação desta circunstância citada, MAPHUZ aponta para o fato de que a maior parte das decisões sobre o meio ambiente construído ou os objetos de uso já

não estão no encargo de arquitetos e designers, estando agora dominadas pelas questões de mercado ou pelos aspectos prospectivos do marketing.

Assim, este contexto descrito acaba tendo como consequência a negligência durante a concepção de projetos arquitetônicos das necessidades relacionadas aos sistemas estruturais e construtivos a de uma edificação.

Atendo-nos a discussão sobre a concepção da arquitetura e da estrutura de uma edificação é interessante destacar (REBELLO, 2006) que diz que “não se pode imaginar uma forma que não necessite de uma estrutura ou uma estrutura que não tenha uma forma.” “Logo, Quem cria forma cria estrutura.” Ele explica que “o que acontece é que nem sempre o criador da arquitetura tem consciência de que seu ato criador dos espaços está intrínseco o ato criador da estrutura.”

Podemos perceber que o que é colocado por REBELLO é reflexo do paradoxo da estrutura apontado por (SALVADORI, 2006) o qual explica que este paradoxo da estrutura está no fato de que para determinar as dimensões de um elemento estrutural dependemos da estimativa da carga a ser suportada, da mesma forma para determinar quanto um elemento estrutural pode suportar precisamos das suas dimensões.

Outra particularidade apontada por (REBELLO, 2006) é que a melhor estrutura na verdade não existe. “Existe uma boa estrutura que resolve bem alguns pré-requisitos. Assim mesmo, não resolve todos os requisitos com o mesmo grau de eficiência. É função de quem concebe a estrutura fazer com que, apesar de hierarquizados, os requisitos sejam atendidos da forma mais eficiente possível.”

Portanto, “não há consenso sobre os procedimentos projetuais que podem conduzir à boa arquitetura e muito menos que caracterize obras de qualidade superior no início deste novo século.” (MAPHUZ, 2004). Sendo assim, constata-se que a não existência de uma única solução estrutural e arquitetônica correta para cada edificação torna a discussão entorno de tal temática é ampla e complexa.

Mesmo diante do desafio que acabou se tornando proporcionar uma relação eficiente entre a arquitetura e a estrutura de uma edificação, alguns arquitetos se destacaram neste sentido. O arquiteto Oscar Niemeyer é apontado como uma referência no Brasil em relação à boa integração na concepção arquitetônica e estrutural das edificações projetadas por ele. Assim, um dos pontos em que sua obra mais se sobressai é fato de que em sua obra a arquitetura e estrutura são pensadas como um só elemento. Sobre o processo criativo de

Niemeyer TELLES apud (PONTES, 2004) argumenta que o desenho de Niemeyer pressupõe a submissão da técnica ao processo criativo, pois suas formas são livremente imaginadas sem a expressão das contingências relativas às tensões e à resistência concreta dos materiais.

TELLES também diz que:

“a questão que se coloca de imediato é o fato de Niemeyer não depositar na matéria nenhuma carga expressiva, assim como retira dela qualquer tensão estrutural, fazendo, ao contrário, com que a presença de seu desenho consiga desviar, esconder, e quase sublimar o esforço necessário à sua consecução. Suas linhas fazem-se no ar e pousam a figura tão naturalmente que o olho esquece o gesto que as fez estar ali. Esse esquecimento da técnica no olhar contemplativo provoca, por sua vez, a dissolução da matéria. Só resta, assim, o desenho.” TELLES apud(PONTES, 2004)

Então, podemos observar que Niemeyer se destaca por pensar os elementos estruturais não só como elementos que vão suportar as cargas da edificação, mas também como elementos que vão definir espaços e conferir estética à mesma. Porém, a partir da citação de TELLES, pode-se perceber também que na idealização das edificações nem todos os critérios relacionados ao que é mais conveniente para o melhor funcionamento da tecnologia adotada para a execução das edificações projetadas por ele são observados, o que pode ser analisado por pontos de vista diferentes. Por um lado é muito relevante a ousadia de propor uma nova forma de construir com a tecnologia e os materiais que estão disponíveis, principalmente para que essa mesma tecnologia possa se aprimorar. Em contrapartida, em termos de eficiência no uso de recursos nem sempre essas formas fora do padrão proporcionam uma maior eficiência à edificação ao ser executada.

Diante da relevância da relação entre a concepção arquitetônica e a concepção estrutural de uma edificação e do destaque que a relação arquitetura estrutura tem na obra de Niemeyer, cabe uma questão: Quando podemos considerar que houve integração entre a arquitetura e a estrutura de uma edificação? Através da revisão bibliográfica pudemos fazer algumas considerações em relação à avaliação desta integração.

Antes, é importante ressaltar aqui que não estamos falando de avaliar a integração entre os agentes durante o processo projetual da edificação. Este também é um tema importante e bastante abordado recentemente, pois, como explicam (FABRICIO e MELHADO), “sabe-se que esta orientação cartesiana e seqüencial do processo projeto (que é o padrão mais conhecido) tem evidentes limitações na promoção da integração entre os agentes e na

geração de soluções técnicas coordenadas no desenvolvimento dos empreendimentos.” No entanto, esta abordagem foge da delimitação do tema escolhido para esta dissertação, pois, essencialmente, o que se discute no trabalho não é como se dá a integração entre as pessoas e sim entre as idéias.

Dito isso e partindo da citação de (REBELLO, 2006) “quem cria forma cria estrutura”, podemos inferir que arquitetura e estrutura já são integradas por natureza. Pois arquitetura é expressa através de formas, e integração nada mais é que pertencer, constituir. Logo, quem cria arquitetura cria estrutura e se uma não existe sem a outra elas podem ser consideradas elementos naturalmente integrados. Sendo assim a pergunta mais adequada seria: quando podemos considerar que houve uma boa integração entre arquitetura e estrutura? E não se ela existe ou não. Apesar de estarem integradas naturalmente, esta relação de integração pode não ser satisfatória já que sabemos que existe um conflito associação. Este duelo ocorre porque não estamos falando de formas de objetos generalizados, estamos falando de formas de objetos edificados, os quais necessitam de elementos com características e demandas específicas. Elementos como paredes, vigas, pilares e que possuem demandas como: formas com dimensões e geometria adequadas para que suportem as cargas dimensionadas de acordo com as características de resistências dos materiais escolhidos e as condições de segurança da estrutura; ambientes com tamanho e geometria coerente com a atividade que irá se desenvolver nele; considerar o conforto ambiental e a relação com o entorno; entre outras demandas.

Outro aspecto que intensifica esse conflito é o meio de expressão da concepção da edificação como um todo, que é o projeto. O projeto nada mais é que uma abstração do objeto a ser edificado. Ele é uma forma de documentar tudo que se quer que seja construído. Logo, a separação entre projeto arquitetônico e projeto estrutural é uma divisão a partir dessa abstração.

Em geral, no projeto, fazemos representações em duas dimensões de elementos que tem três dimensões e mesmo quando trabalhamos com maquetes não temos a percepção completa das dimensões. No caso das maquetes eletrônicas tem-se uma simulação de um ambiente tridimensional projetada numa tela e que inevitavelmente tem distorções em relação à percepção do objeto real. Já com as maquetes físicas temos a percepção das três dimensões, mas, os materiais e as medidas são muito diferentes o que também gera distorções. Com a evolução da tecnologia e a disseminação dos softwares com a tecnologia BIM, onde além de linhas e cores são atribuídas propriedades aos elementos representados,

temos uma aproximação maior entre a representação e objeto construído, mas ainda com as distorções do meio virtual, assim, ainda não é possível chegar a cem por cento de aproximação. Além disso, o nível da percepção e do entendimento da representação do que está sendo idealizado vai depender nível de domínio do software do usuário e do conhecimento técnico de cada um. Então, a consequência destas dificuldades apontadas e que são geradas na transição entre o objeto idealizado e o construído é que alguns aspectos do planejamento da edificação acabam ficando obscuros e só vão ser percebidos ou entendidos durante a execução, gerando problemas de compatibilização e até mesmo de desempenho da mesma.

### **3.2. ESTÉTICA, ARQUITETURA E ESTRUTURA**

Outro destaque na carreira de Oscar Niemeyer é a importância que este arquiteto dá à beleza em uma edificação. É possível observar na literatura disponível e em entrevistas dadas pelo mesmo que ele sempre justifica suas decisões de projeto pela busca pela beleza e pelo encantamento.

A partir desta ênfase trazida por Niemeyer à beleza, considerou-se importante levantar um questionamento: Porque as obras de Niemeyer se destacam em relação a sua estética?

A estética é uma área da filosofia que estuda o belo e os fundamentos da arte. Este ramo da filosofia estuda o julgamento e a percepção do que é considerado belo, podendo ocupar-se também do sublime ou da privação da beleza. Deste modo, na filosofia, existem algumas correntes de pensamento em relação à definição de beleza e inclusive em relação à definição de beleza de um objeto arquitetônico. Trazendo um pouco dessas idéias para o contexto que está sendo estudado, podemos levantar dois aspectos para justificar o destaque das obras projetadas por Niemeyer têm em relação à estética.

O primeiro aspecto seria a universalidade das formas utilizadas por ele, pois, ele utiliza formas simples e de fácil compreensão das pessoas em geral, o que vem ao encontro do que aponta (MAPHUZ, 2007) ao descrever algumas razões pelas quais a obra de Niemeyer merece ser observada. MAPHUZ, 2007 cita algumas características que podemos considerar que contribuem para o bom julgamento em relação estética da obra Niemeyer: a utilização de formas elementares; o uso de um número de elementos limitados; a facilidade de entender e memorizar e por isso o alto poder simbólico; e a recorrência. Essa idéia citada também encontra suporte em (PULS, 2009) que expõe que:

“Encontramos em *Filebo* o desenvolvimento conseqüente da tese proposta em *A Republica*, de que a construção deve ser bem ordenada (simétrica, harmoniosa, proporcionada) para espelhar a alma virtuosa. Essa regularidade recebe agora uma determinação formal precisa: a construção deve imitar os sólidos: a construção deve imitar os sólidos geométricos puros e que são idéias eternas e imutáveis, e deve exibir cores puras, dado que todo elemento puro é mais belo e verdadeiro que os misturados (Platão, *Fi*, 53a)” (PULS, 2009)

Já o outro aspecto que podemos citar seria o ineditismo das formas utilizadas por Oscar Niemeyer em seus edifícios. Mas não o ineditismo no sentido de inventar formas que não existiam antes, mas de usá-las de maneira que não tinham sido usadas até então, pois, o rompimento com a tradição é considerado um dos pontos que dá destaque a um objeto arquitetônico, como explica (PULS, 2009) através da argumentação de Kubler:

“Cada sociedade possui padrões construtivos tradicionais fundados na repetição de elementos que, ao longo da história se revelam mais adequados para satisfazer as necessidades dos indivíduos que habitam um dado território e empregam determinadas técnicas e materiais. A construção vernacular se altera lentamente acompanhando as transformações da comunidade, mas apresenta, a cada momento um aspecto estável e conhecido o que o arquiteto faz, como sugere o historiador George Kubler, é introduzir variações nessa repetição – uma mudança suficientemente perceptível pare se converter num fator capaz de expressar o homem, mas não demasiadamente ousada a ponto de tornar a obra incompreensível para a coletividade. (G.Kubler, cap.3) Muitas variações nem chegam ser percebidas, enquanto outras são descartadas como simples erros. Algumas, porém, acabam sendo reconhecidas como significativas e passam a ser valorizadas socialmente. Essas variações podem ser de quatro tipos, correspondentes a quatro propriedades construtivas: material, formal, dimensional e funcional. É possível produzir efeito expressivo substituindo uma matéria por outra ( a madeira pela pedra como os antigos tempo gregos), alterando a forma (trocando uma planta longitudinal por uma quadrada (como nas igrejas renascentistas), ampliando a escala (transformando uma mastaba numa pirâmide) ou conferindo um novo uso a um elemento (convertendo um tribunal romano numa igreja).” (PULS, 2009)

Podemos constatar, então, que a notoriedade da obra de Niemeyer pela beleza se deve principalmente ao uso de formas fáceis de entender e inéditas para uma edificação.

### **3.2.1. A importância da estética**

Expandindo um pouco mais esse debate em torno da estética de uma edificação, é interessante ponderar também sobre: porque se valoriza tanto a estética de um edifício/estrutura? Porque a não é suficiente que o edifício/estrutura apenas se mantenha em pé e atenda a questões funcionais?

Segundo (PULS, 2000):

A relação entre sujeito e objeto define o valor-de-uso material da construção \_ a sua função. Mas, além desse valor-de-uso material, a construção pode comportar ainda uma utilidade ideal: o objeto pode despertar a atenção de um segundo consumidor, diferente do primeiro \_ o contemplador. (...) Para este, a obra arquitetônica não vale por suas qualidades funcionais, mas por suas propriedades estéticas: em vez de ser "boa para morar", ela é "boa para pensar". A construção é um objeto para a vida, mas a arquitetura é um objeto para a reflexão. A obra encerra uma contradição entre funcionalidade e beleza. A primeira é um valor-de-uso material para o usuário; a segunda é um valor-de-uso ideal para o contemplador. (PULS, 2009)

(PULS, 2000) explica também que a beleza e funcionalidade não são iguais, e é por esse motivo que admiramos construções que há muito perderam qualquer utilidade material como por exemplo o Partenon, o Coliseu e o Panteão. Essa é uma evidência de que a beleza é completamente distinta da funcionalidade, e que o inútil é, com freqüência, mais belo que o útil. O que (PULS, 2000) procura demonstrar é que a imagem de uma edificação pode até chegar a ser mais importante que o seu uso. Podemos citar alguns exemplos do alto poder simbólico e conseqüentemente da importância da imagem das edificações como os que estão nas figuras FIG. 3-1, FIG. 3-2, 3-3, FIG. 3-4, e FIG. 3-5, onde podemos observar a imagem de algumas edificações se transformando em símbolos de cidades, governos e empresas.



**FIG. 3-1** Taxi da cidade de Belo Horizonte com logomarca inspirada da Igreja da Pampulha.  
(Fonte:[http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico/Imprensa/tarifa\\_taxi\\_091211](http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico/Imprensa/tarifa_taxi_091211))



**FIG. 3-2** Ônibus da Cidade de Belo Horizonte. Na imagem da esquerda com foto da cidade administrativa de Belo Horizonte e na da direita com logomarca inspirada no Edifício Niemeyer e na Igreja da Pampulha.(Fonte: <http://www.webtranspo.com.br/passageiros/16646-bh-tem-nova-linha-de-onibus-preco-da-tarifa-caiu>)



**FIG. 3-4** Logomarca do Governo do Distrito Federal inspirada nas colunas do palácio da Alvorada.(Fonte: [www.francabrasil2009.df.gov.br/fr-br-04/index.php](http://www.francabrasil2009.df.gov.br/fr-br-04/index.php))



**FIG. 3-3** Empresa de turismo de Brasília com logomarca inspirada no edifício da Catedral de Brasília.(Fonte: [onibusbrasil.com/foto/853998/](http://onibusbrasil.com/foto/853998/))



**FIG. 3-5** Logomarcas da Radio e da TV Senado inspiradas no edifício do congresso nacional.(Fonte: [http://radiosetvs.com/radiosenado\\_df.html](http://radiosetvs.com/radiosenado_df.html) e <http://chicosantannaeainfocom.blogspot.com.br/2010/04/comunicacao-legislativa-tv-senado-tv.html>)

Além desses exemplos poderíamos citar muitos outros, não só da produção de Niemeyer, mas também de diversos outros arquitetos.

Então, podemos notar que não se pode deixar apenas como pano de fundo as questões estéticas e formais de uma edificação, pois, essa é uma variável importante para a determinação do valor da edificação em vários sentidos, tanto materiais quanto imateriais e conseqüentemente também será determinante para as decisões de projeto em todas as instâncias, seja na definição da cor que a edificação terá, seja na definição de seu sistema estrutural.

Sendo assim, podemos relacionar a importância da estética com os aspectos que foram abordados sobre os conflitos da concepção arquitetônica e estrutural de uma edificação quando destacamos que a estética também é uma demanda dos elementos de objetos edificados e naturalmente do objeto edificado propriamente dito, e talvez uma das demandas mais difíceis de ser alcançada pela sua porção subjetiva.

### **3.3. O CONCRETO ARMADO**

O concreto armado foi a tecnologia que proporcionou a Niemeyer a possibilidade de ousar com as formas das edificações.

A partir deste ponto não falaremos mais de sistemas estruturais de uma forma geral. Como este trabalho tem como um dos seus objetivos desenvolver estudos de caso sobre a obra de Oscar Niemeyer, e o principal sistema construtivo utilizado por ele é o concreto armado, seguiremos considerações sobre alguns aspectos importantes relacionadas a esta tecnologia e sobre o uso que este arquiteto fez da mesma.

#### **3.3.1. Aspectos históricos da tecnologia do concreto armado**

O concreto se tornou um material muito importante para civilização principalmente devido a abundância de matéria-prima. Boa parte da história do concreto armado é contada baseada no registro de patentes relacionadas a esta tecnologia. Cabe ressaltar aqui que este subitem da dissertação não tem como objetivo contar cronologicamente a história do concreto armado no mundo e sim pontuar algumas edificações que tiveram um papel importante na evolução desta tecnologia e como se deu esse avanço.

A construção de algumas edificações em especial marca pontos importantes da história da tecnologia do concreto armado. Neste trabalho destaca-se três dessas edificações. A primeira é o Farol de Eddystone (FIG. 3-7) se situava em Cornwall, 9km ao sudoeste do

Porto de Plymouth, um dos portos ingleses mais movimentados da época. Segundo (KAEFER, 1998):

Após a terceira versão do farol ter sido queimada numa noite de dezembro de 1755, John Smeaton foi escolhido para dirigir sua reconstrução. Sob a maré alta, a rocha aonde o Farol de Eddystone deveria ser reconstruído era coberta pelo mar, o que constituía um ambiente bastante agressivo. Ciente deste fato, Smeaton sabia que a escolha da argamassa a ser utilizada seria decisiva para o sucesso da construção e para a durabilidade do farol. Por isso, ele empreendeu uma série de experimentos de modo a obter uma cal que possuísse propriedades hidráulicas (endurecesse e resistisse sob a água) e que também fosse econômica. Sem conhecimento algum da complexa química dos cimentos, Smeaton havia determinado as características fundamentais do cimento hidráulico natural a partir de um dos primeiros estudos exaustivos de um material de construção. (KAEFER, 1998)

O tempo mostrou que as investigações de Smeaton resultaram em um aglomerante de excelente qualidade, pois sua versão do farol durou mais de um século.

O a segunda edificação é a Igreja de Santa Genoveva, hoje Pantheon, em Paris, 1770, (FIG. 3-6) onde a associação do ferro com a pedra natural modernamente aparece pela primeira vez.

“Segundo seu arquiteto, Jacques Germain Soufflot, a intenção era de reunir nesta obra a leveza do gótico com a pureza da arquitetura grega. Existindo poucas colunas na fachada, era necessário executar grandes vigas capazes de efetuar a transferência das elevadas cargas da superestrutura para as fundações. Com o senso admirável de Rondelet foram executadas em pedra lavrada, verdadeiras vigas modernas de concreto armado, com barras longitudinais retas na zona de tração e barras transversais de cisalhamento. As barras longitudinais eram enfiadas em furos executados artesanalmente nas pedras e os espaços vazios eram preenchidos com uma argamassa de cal.” (KAEFER, 1998)

A terceira edificação que se destaca é a Ponte sobre o Rio Dordogne ,1818, (FIG. 3-8) na França, que tinha Louis Joseph Vicat como construtor.

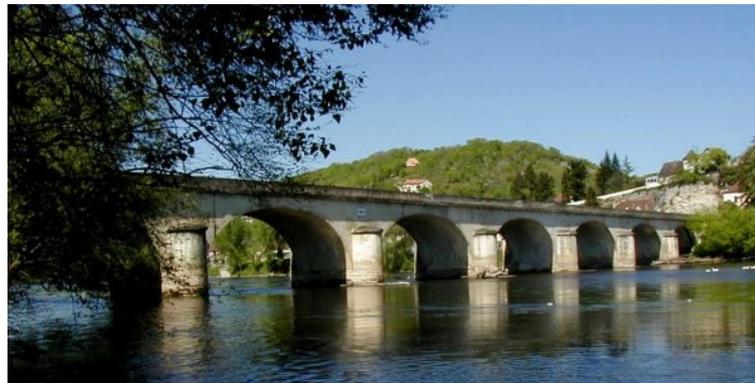
“Nesta época ele estava dirigindo a construção de uma ponte sobre o Rio Dordogne, o primeiro grande projeto em que as fundações de concreto foram feitas sem o uso de pozolana, o que o levou a investigar as propriedades do cimento. Vicat investigou os fatores que poderiam resultar em uma argamassa capaz de endurecer abaixo da água. Misturando cal, gesso e argilas de diferente tipos e em diferentes proporções.” “A conclusão de Vicat implicava que a chave estava no planejamento das misturas, que poderiam resultar em tipos de cimento muito mais resistentes que os naturalmente encontrados.” (KAEFER, 1998)



**FIG. 3-7 Farol Eddystone**(Fonte: [http://www.lindahall.org/events\\_exhib/exhibit/exhibits/civil/eddystone\\_south\\_image.shtml](http://www.lindahall.org/events_exhib/exhibit/exhibits/civil/eddystone_south_image.shtml))



**FIG. 3-6 Pantheon de Paris.**  
Fonte:[http://oc.encydia.com/es/Pantheon\\_de\\_Paris](http://oc.encydia.com/es/Pantheon_de_Paris)



**FIG. 3-8 Ponte sobre o Rio Dordogne.**

(Fonte:[www.canstockphoto.com.br/chateau-acima-dordogne-ponte-0158338.html](http://www.canstockphoto.com.br/chateau-acima-dordogne-ponte-0158338.html))

Percebe-se que a necessidade de construir em ambiente agressivo levou Smeaton a descobrir um aglomerante de excelente qualidade para o concreto; A necessidade de executar grandes vigas levou os construtores a associar uma armação de ferro à pedra; E a necessidade de produzir uma argamassa que endurecesse embaixo d'água, levou Vincat a desenvolver um teste utilizado até os dias de hoje. Diante disso, podemos perceber que os desafios propostos por certas edificações ao longo da história impulsionaram a evolução da tecnologia do concreto armado. Eles instigaram os construtores a desenvolver inovações para solucionar a demanda de uma construção específica, mas que acabaram refletindo no uso da tecnologia como um todo.

Sendo assim, é interessante abordar que as edificações propostas por Niemeyer também foram consideradas desafios a tecnologia do concreto armado de sua época, principalmente pelas formas inusitadas proposta por ele. Podemos citar o exemplo das colunas do Palácio do da Alvorada (Figura FIG. 3-9), que segundo (GALVANE JR., 2004) “tal era a singularidade das colunas idealizadas por Niemeyer que os construtores executaram antes

de começar as fôrmas, um molde em tamanho real da coluna.” GALVANE JR. Cita também outro exemplo: o da estrutura da Universidade de Constantine (Figura FIG. 3-10), na Argélia. A qual chegou a ser considerada inexequível por engenheiros franceses, mas prontamente projetada pelos profissionais brasileiros.



**FIG. 3-9 Palácio da Alvorada em construção**(Fonte: [noticias.br.msn.com/fotos/galeria-de-fotos-brasilia.aspx?cp-documentid=23954819&page=2](http://noticias.br.msn.com/fotos/galeria-de-fotos-brasilia.aspx?cp-documentid=23954819&page=2))



**FIG. 3-10 Universidade de Constantine**(Fonte: [jcjovine.blogspot.com.br/2010/06/dr-marco-paulo-rabello.html](http://jcjovine.blogspot.com.br/2010/06/dr-marco-paulo-rabello.html))

Continuando a pontuar alguns aspectos históricos do concreto armado, segundo (ADDIS, 2009) o uso do concreto armado para formar vigas e estruturas de piso da armação estrutural de uma edificação começou na década de 1880 e até o fim do século XIX, grande parte das estruturas eram combinações de formas bidimensionais sendo que a única exceção eram as cúpulas. Até que ao projetar uma cúpula de ferro Shuwdler começou explorar formas estruturas com tridimensionais (treliças espaciais). Depois disso Gaudí explorou formas tridimensionais através de maquetes e, então, através da observação de

formas de estruturas da natureza, formas tridimensionais para estruturas de edificações continuaram foram e ser exploradas.

Assim a partir da consolidação da tecnologia do concreto, alguns arquitetos pioneiros começaram a perceber que o concreto armado oferecia novas oportunidades escultóricas oriundas da própria natureza do material e do seu modo de fabricação. “Perceberam a capacidade de gerar formas sólidas e bidimensionais; criar linhas e superfícies curvas com facilidade; criar laminas com habilidades de transferir cargas.” (ADDIS, 2009)

Em relação aos projetos de estruturas, “as primeiras normas técnicas de concreto datam do início XX e originaram-se de processos construtivos antes patenteados e utilizados em escala crescente nos países de origem, antes mesmo da criação dos organismos nacionais de normalização,” BATTAGIN *apud* (ISAIA, 2011) Até meados do século XIX os projetos eram feitos por comparação com estruturas similares ao que se desejava construir. Assim, para garantir a segurança da edificação que seria produzida os construtores procuravam copiar estruturas de edificações prontas e que, portanto eram consideradas bem sucedidas. Depois, com o desenvolvimento do conhecimento científico e a racionalização do processo de projeto as estruturas passaram a ser calculadas pelo método das tensões admissíveis. FUSCO *apud*(ISAIA, 2011)

O surgimento da informática foi e ainda é muito importante para o aprimoramento do cálculo estrutural, principalmente pela diminuição significativa do tempo de cálculo, o que trouxe a possibilidade do estudo de formas cada vez mais complexas.

Também é importante considerar que apesar da autonomia em relação a plástica oferecida pelo concreto, a tecnologia possui suas limitações, como explica (NORONHA):

“As formas e a liberdade arquitetônica podem, no entanto, algumas vezes criar concentrações de tensões inadequadas ou pouco “confortáveis” face a geometria das peças estruturais e características mecânicas dos materiais empregados na sua execução. Ainda no período de concepção da estrutura, o engenheiro encarregado do seu cálculo pode optar por esquema estrutural que também acarrete alta concentração de tensões em alguns pontos. As altas tensões exigirão dos materiais dos materiais resistências também elevada. No caso das estruturas de concreto armado ou protendido essas altas tensões são geralmente absorvidas por armaduras extremamente densas e por concretos de alta resistência. As altas resistências por outro lado somente são obtidas com emprego de concretos preparados com baixa relação água /cimento com cimentos especiais. Estas condições exigirão do construtor o emprego de concreto que satisfaça concomitantemente as condições de trabalhabilidade e resistência altas. Na impossibilidade de ser tal concreto preparado a estrutura apresentará inevitavelmente falha “congênita””. (NORONHA)

### 3.3.2. Inovações

Sabe-se que, muitas vezes, a teoria de cálculo estrutural desenvolvida até então não era suficiente para garantir a segurança e para viabilizar as estruturas para as obras projetadas por Niemeyer. Sendo assim, em que aspectos os edifícios de Oscar Niemeyer representaram avanços e inovações dos sistemas estruturais em concreto armado?

Em linhas gerais, inovação tecnológica é toda a novidade implantada que aumenta a eficiência do processo produtivo ou que implica em um produto novo ou aprimorado. Então, diversas coisas podem ser definidas como inovação tecnológica. Assim, podemos analisar as inovações trazidas pela obra de Niemeyer à tecnologia do concreto armado por dois aspectos: do produto e do processo.

Do ponto de vista do produto é notória a contribuição de Niemeyer para a inovação. Mesmo um leigo é capaz de perceber as novidades propostas pelo arquiteto na geometria de suas edificações, pois Niemeyer rompeu de uma forma notória com o que eu era construído até então. Sendo que, a principal inovação em relação à geometria foi o uso das curvas.

Do ponto de vista do processo não são tão evidentes as inovações propostas pela sua obra, já que um dos pontos que ela mais se destaca é na singularidade acima da média. Tamanha peculiaridade dificulta que estabeleçamos parâmetros de comparação com outras obras, e conseqüentemente ofusca a repercussão do que sua obra possa ter obtido em inovação em relação aos procedimentos de execução. Outra questão que tornam as inovações em relação ao processo pouco evidentes é a falta de documentação técnica em relação as suas obras. “Apesar da obra de Niemeyer ter sido divulgada e discutida ao longo de quase 70 anos é escassa a documentação primária publicada a cerca de seu trabalho.” (MACEDO, 2002)

## 4. ESTUDOS DE CASO

Os estudos de caso desta dissertação têm como objetivo geral descrever e contextualizar as edificações selecionadas dando ênfase ao sistema estrutural das mesmas, além de relacioná-las aos aspectos discutidos na fundamentação teórica. Foram escolhidas para estudo as edificações da Igreja São Francisco de Assis em Belo Horizonte, mais conhecida como Igrejinha da Pampulha, e o Pavilhão da Gameleira também em Belo Horizonte. A primeira obra foi escolhida devido à relevância que ela tem na carreira de Oscar Niemeyer e a segunda devido ao acidente estrutural que aconteceu durante a execução da mesma.

Assim como já foi dito na apresentação, é importante lembrar novamente que apesar de os dois estudos de caso terem sido desenvolvidos a partir da mesma metodologia eles têm características distintas. Este fato se deve principalmente à diferença de disponibilidade de dados para cada caso. No caso da Igrejinha da Pampulha, apesar de não se ter informações do projeto original, foi possível encontrar documentação referente à levantamentos arquitetônico, reformas e estudos em geral sobre a construção. Além disso, foi possível visitar a edificação e fazer estudos no local. Já no caso do Pavilhão da Gameleira a disponibilidade de dados foi muito menor, porque além de também não se ter notícias do projeto original a edificação desmoronou durante a sua construção, o que não deixa a possibilidade de levantamentos ou estudos no local. Como consequência dessas circunstâncias, no caso da Igrejinha da Pampulha o estudo caracteriza-se essencialmente por uma investigação sobre como se dá o funcionamento dos elementos estruturais da edificação e quais são eles, já que não se tem informações dos projetos originais. No caso do Pavilhão da Gameleira o estudo caracteriza-se principalmente pela descrição da edificação e por agregar dados de diferentes publicações sobre a mesma.

Retomando as justificativas para a escolha edificações a serem estudadas, a Igrejinha da Pampulha foi escolhida principalmente pelo seu significado na trajetória da carreira de Niemeyer e na arquitetura moderna brasileira, pois, o Conjunto da Pampulha, do qual a Igrejinha faz parte, é considerado um marco na carreira deste arquiteto por ser a sua primeira obra de repercussão mundial.

Já o Pavilhão da Gameleira foi escolhido principalmente pelo acidente estrutural envolvido na sua construção, o qual fez com que a edificação desabasse antes mesmo da sua conclusão. Entendeu-se que estudar um caso de uma edificação que não foi tão bem sucedida quanto à maior parte das obras de Niemeyer seria importante mesmo com a pouca disponibilidade de dados, pois, isso iria permitir que não observássemos somente os fatores que levam uma edificação ao sucesso, mas também os fatores que podem levar ao colapso. O que deve ser uma preocupação de todos os profissionais envolvidos da construção de um edifício, porque as conseqüências do colapso de uma edificação podem ser muito trágicas.

#### **4.1. METODOLOGIA**

Iniciou-se com uma pesquisa sobre a literatura disponível sobre a obra de Oscar Niemeyer e sobre a relação entre arquitetura e estrutura.

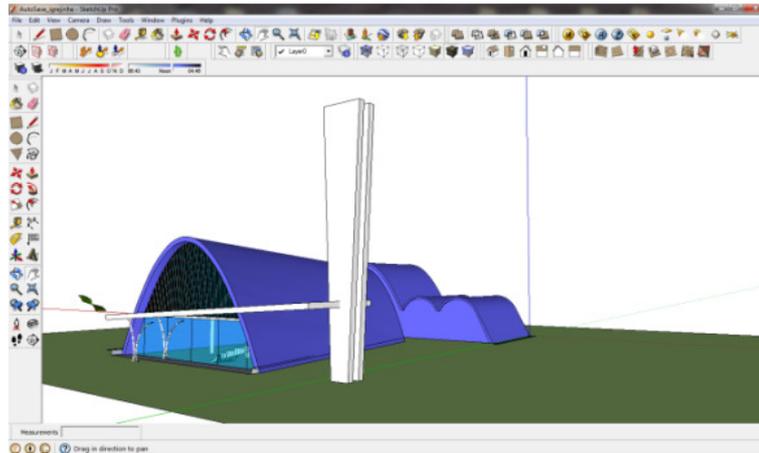
Foi realizada também uma pesquisa documental com visita a órgãos públicos como o IPHAN-MG, o Acervo Público de Belo Horizonte e o Arquivo do Fórum de Belo Horizonte com o objetivo de buscar documentos sobre as obras a serem analisadas.

No IPHAN-MG, foi encontrada uma grande documentação em relação às reformas e restaurações pelas quais a Igrejinha da Pampulha passou. Não foi encontrado nada em relação ao Pavilhão da Gameleira.

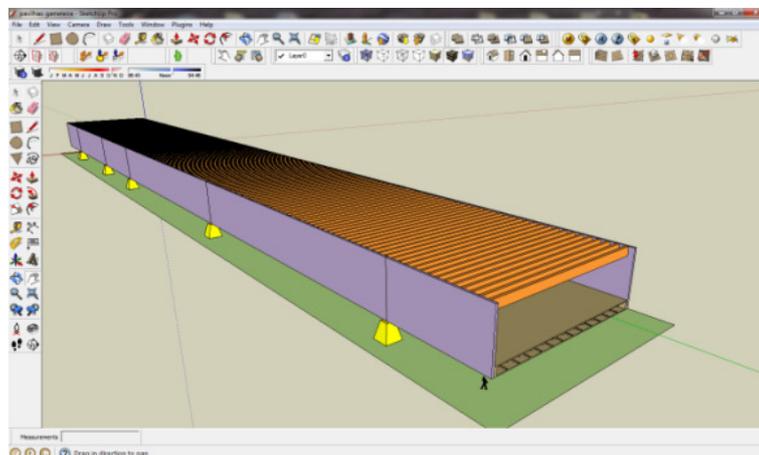
No arquivo publico de Belo Horizonte foram encontrada algumas publicações de jornais e revistas em relação às duas edificações.

As outras fontes de informação sobre as edificações foram livros, artigos, dissertações e teses, das quais pode se citar como principais: GALVANE JR., J. A engenharia de estruturas na arquitetura de Oscar Niemeyer. São Paulo: Poli-USP, 2004. MACEDO, D. M. A matéria da invenção: a criação e construção das obras de Niemeyer em Minas Gerais 1938-1945. Belo Horizonte: UFMG, 2002; BORBA, A. L. D. A reconstrução histórico-sociológica da tragédia da gameleira em BH. Campinas: FE-UNICAMP, 2007.

A partir dos dados obtidos foi desenvolvido um modelo de cada edificação estudada (FIG. 4-1 e FIG. 4-2), no software Sketchup 8, com o objetivo de entender e descrever melhor a relação entre os volumes e as formas utilizadas nas edificações.

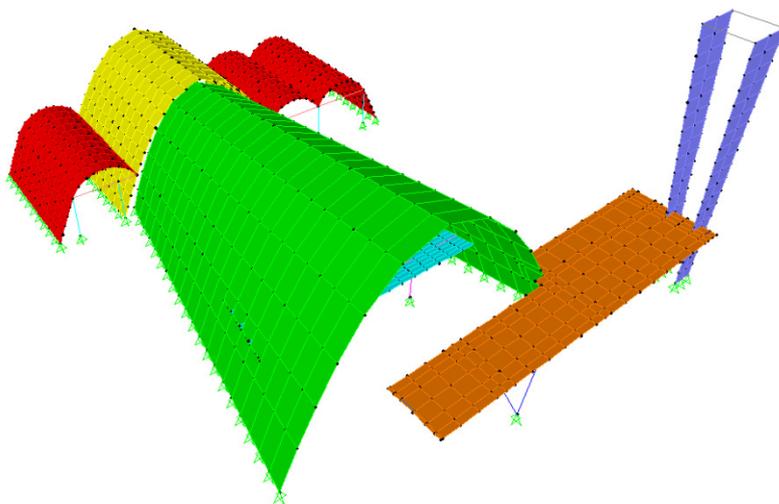


**FIG. 4-1**Modelo do Pavilhão da Gameleira no software Sketchup 8 (Fonte: Autora)

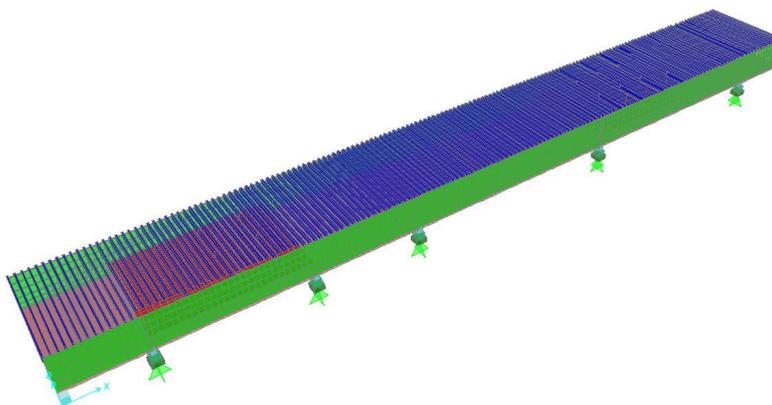


**FIG. 4-2**Modelo da Igreja da Pampulha no software Sketchup 8 (Fonte: Autora)

Também foram desenvolvidos modelos tridimensionais esquemáticos em AutoCad, os quais tiveram objetivos de simplificar a modelagem no SAP2000-V14. Após tal procedimento os modelos foram importados para o SAP e refinados para gerar a análise estrutural procurada(FIG. 4-3 e FIG. 4-4).



**FIG. 4-3 Modelo Igreja da Pampulha desenvolvido no SAP2000-V14 (Fonte: Autora)**



**FIG. 4-4 Modelo desenvolvido no SAP2000-V14 (Fonte: Autora)**

No caso da Igrejinha, como o projeto estrutural original da igrejinha não foi encontrado, foi necessária uma investigação em relação à existência de alguns elementos estruturais. Para tal, empregou-se um detector de metal (pacômetro) (FIG. 4-5) para fazer uma inspeção in loco para confirmar a existência de peças estruturais como vigas, pilares e lajes.



**FIG. 4-5 Pacômetro utilizado na medição (Fonte: Autora)**

## 4.2. IGREJA SÃO FRANCISCO DE ASSIS – BELO HORIZONTE – MG

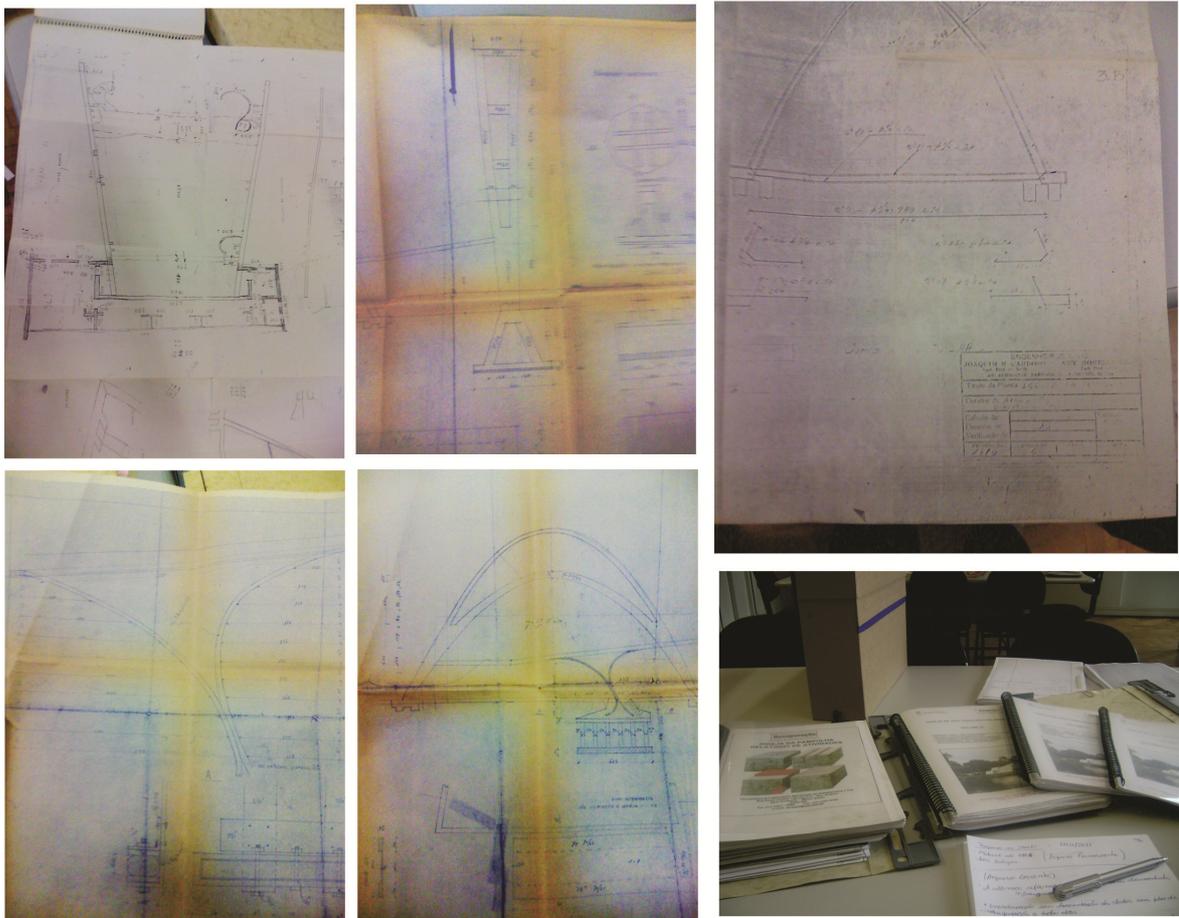


FIG. 4-6 Fachada Sul Igrejinha da Pampulha (Fonte: Autora)

Na década de 40, durante a gestão do então prefeito de Belo Horizonte, Juscelino Kubitschek, foi construído um conjunto de edifícios projetados por Niemeyer para o entorno da lagoa da Pampulha em BH. Esse conjunto de edifícios marca uma nova fase da carreira deste arquiteto, na qual ele definitivamente assume um estilo que iria o consagrá-lo. Neste projeto ele propôs edifícios com formas curvas, explorando ao máximo a plasticidade do concreto. Deste conjunto, foi escolhida a Igreja São Francisco de Assis (FIG. 4-6), popularmente conhecida como “Igrejinha da Pampulha”, para um estudo de caso sobre sua estrutura. A Igrejinha foi escolhida, pois, do conjunto, é a que possui formas mais ousadas.

Apesar da importância da edificação para arquitetura brasileira e mundial, a Igrejinha não foi reconhecida pelas Autoridades eclesiásticas durante 17 anos, ficando abandonada e chegando a ser ameaçada de demolição pelo mal estado de conservação. Daí então veio o pedido de tombamento da edificação com intenção de preservá-la.

Em relação à pesquisa documental, hoje é possível encontrar uma vasta documentação sobre as reformas e restaurações pelas quais a igrejinha passou e alguns croquis e cópias parciais da documentação do projeto original. (FIG. 4-7)



**FIG. 4-7** Imagens de parte documentação encontrada no IPHAN-MG (Fonte: Autora)

reforma mais recente pela qual a Igrejinha passou foi a de 2003. Antes dessa reforma, Em novembro de 1998 foi realizada uma vistoria pela engenheira Silvia Puccioni com o objetivo de avaliar a gravidade dos danos manifestados na superfície que cobre a nave, no pilar de apoio da estrutura do coro, no piso da nave, na alvenaria de transição entre as duas abóbadas e pontos do piso externo. Na qual foi constatado o precário estado de conservação da edificação.

Ela relata que na pesquisa histórica sobre a edificação foi possível identificar nos documentos encontrados que a casca que cobre a nave foi originalmente idealizada com três juntas de dilatação que não chegaram a ser construídas. Em 1947 a edificação já apresentava problemas devido a defeitos de construção e abandono. Em 1955 foi executada uma junta de dilatação com colocação de chapa galvanizada, mas esta intervenção não teve resultados satisfatórios, pois, em pouco tempo os mesmos problemas voltaram. Em março de 1959 foi feita uma solicitação de serviço que não chegou a ser executado. Em abril de 1990 iniciou-se nova reforma que foi concluída em 1992.

A engenheira concluiu que até então, em nenhuma das intervenções procurou-se estudar mais profundamente a causa principal dos danos e que todas as reformas foram feitas em caráter empírico e experimental. Então, ela recomenda que antes de um novo projeto de intervenção fosse feito um estudo rigoroso do estado de conservação da igreja. Recomendação que foi cumprida.

Dentre vários estudos foi realizado um monitoramento e avaliação estrutural da Igreja da Pampulha. Neste estudo foram realizados diversos ensaios especiais como extração de corpos de prova, análise por microscopia eletrônica, ultrassonografia estudos de permeabilidade, além de levantamento geotécnico. Foi realizado também um monitoramento por extensometria eletrônica para avaliação da estabilidade termodinâmica da estrutura, que foi submetida a variações térmicas. Além disso, estudou-se matematicamente o comportamento da estrutura, utilizando a parametrização através de elementos finitos. Estes estudos foram mais concentrados na casca que cobre a nave da igreja, pois, era a que apresentava mais patologias.

Concluiu-se que as fissuras eram superficiais, se restringindo aos materiais de revestimento. Recomendou-se abrir a terceira junta e usar materiais com comportamento parecido com a base cimentícia. (AGUIAR, GOMES, *et al.*, 2003)

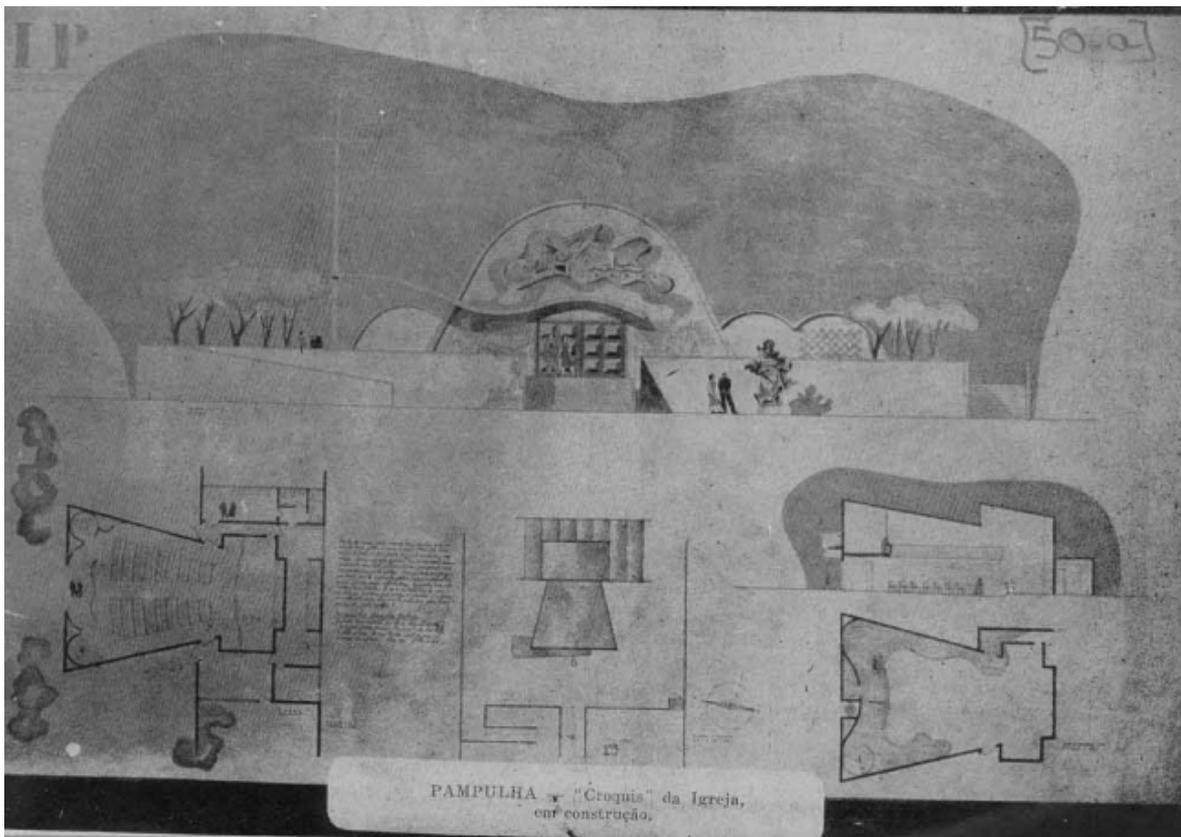
A investigação desta dissertação em relação à estrutura da Igrejinha da Pampulha se justifica mesmo com os resultados apresentados nos estudos para a reforma mais recente da edificação, pois, apesar destes estudos terem sido bastante aprofundados e apresentarem também uma investigação sobre a estrutura, eles tinham um foco muito específico em identificar as causas das patologias da edificação e por isso que se concentraram principalmente na abóbada maior da edificação. Além disso, estes estudos não tinham o objetivo de descrever os elementos estruturais da edificação como um todo e nem de explicar o seu funcionamento.

Devido à escassez de documentação original do projeto optou-se também por pesquisar referências sobre publicações de revistas da época da construção da edificação que tratavam sobre o conjunto da Pampulha.

No artigo “Oscar Niemeyer pelo Complexo Arquitetônico de Pampulha - Uma análise à sua recepção na imprensa nacional e Internacional”, (LEITE e CAPPELLO, 2009) fazem uma análise da repercussão do conjunto da Pampulha em revistas nacionais e internacionais. Neste artigo é relatado que as publicações nas revistas nacionais em geral

procuravam descrever os projetos do conjunto da Pampulha e que nas publicações internacionais as edificações da Pampulha eram usadas como exemplo para a crítica da arquitetura brasileira. Nele também é descrito que foi possível perceber um maior reconhecimento das obras nas publicações internacionais e que a Pampulha consagrou Niemeyer como um grande representante da arquitetura moderna brasileira.

Entre as poucas informações do projeto original está a FIG. 4-8. Ela foi encontrada no relatório de gestão dos anos 1941 e 1942, do então prefeito de Belo Horizonte Juscelino Kubtischek .



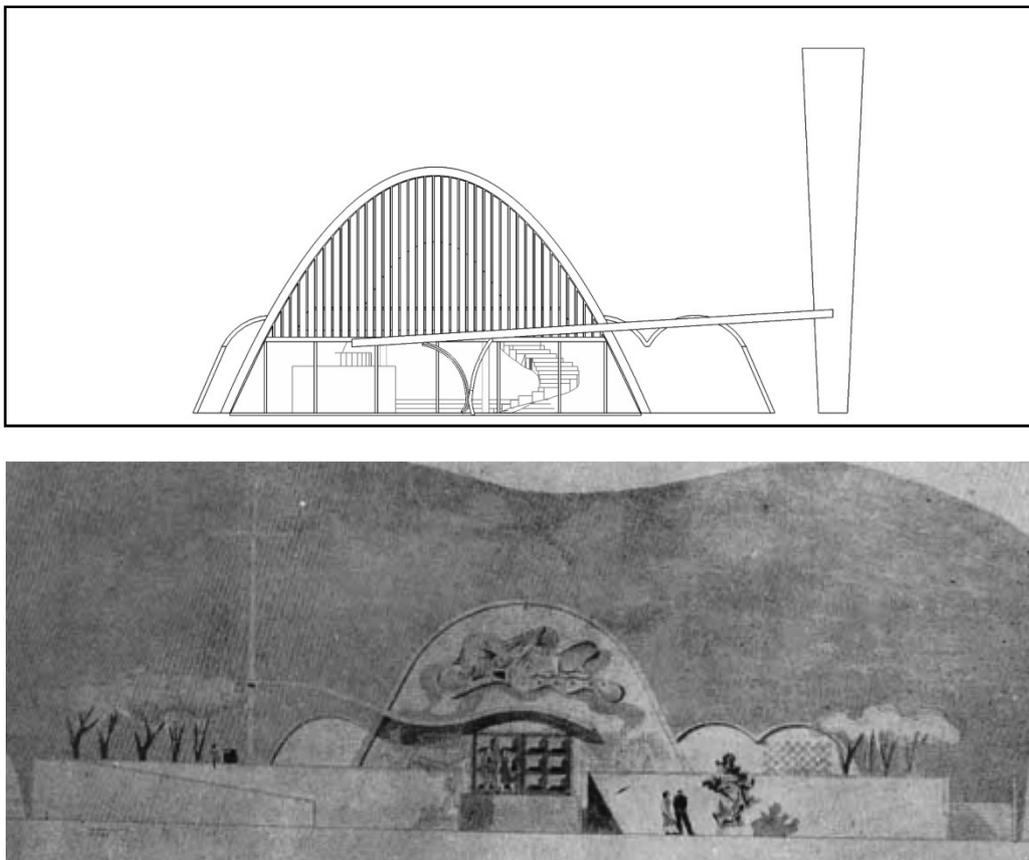
**FIG. 4-8** Croquis da Igreja da Pampulha encontrados no relatório de gestão 1941-1942 do prefeito de Belo Horizonte, Juscelino Kubtischek. (Fonte: Relatório de Gestão 1941-1942)

A indicação na imagem a descreve como “PAPULHA - croquis da igreja em construção”. Percebe-se que os dois desenhos de plantas não são exatamente iguais o que nos leva a inferir que se tratam de desenhos de um estudo preliminar.

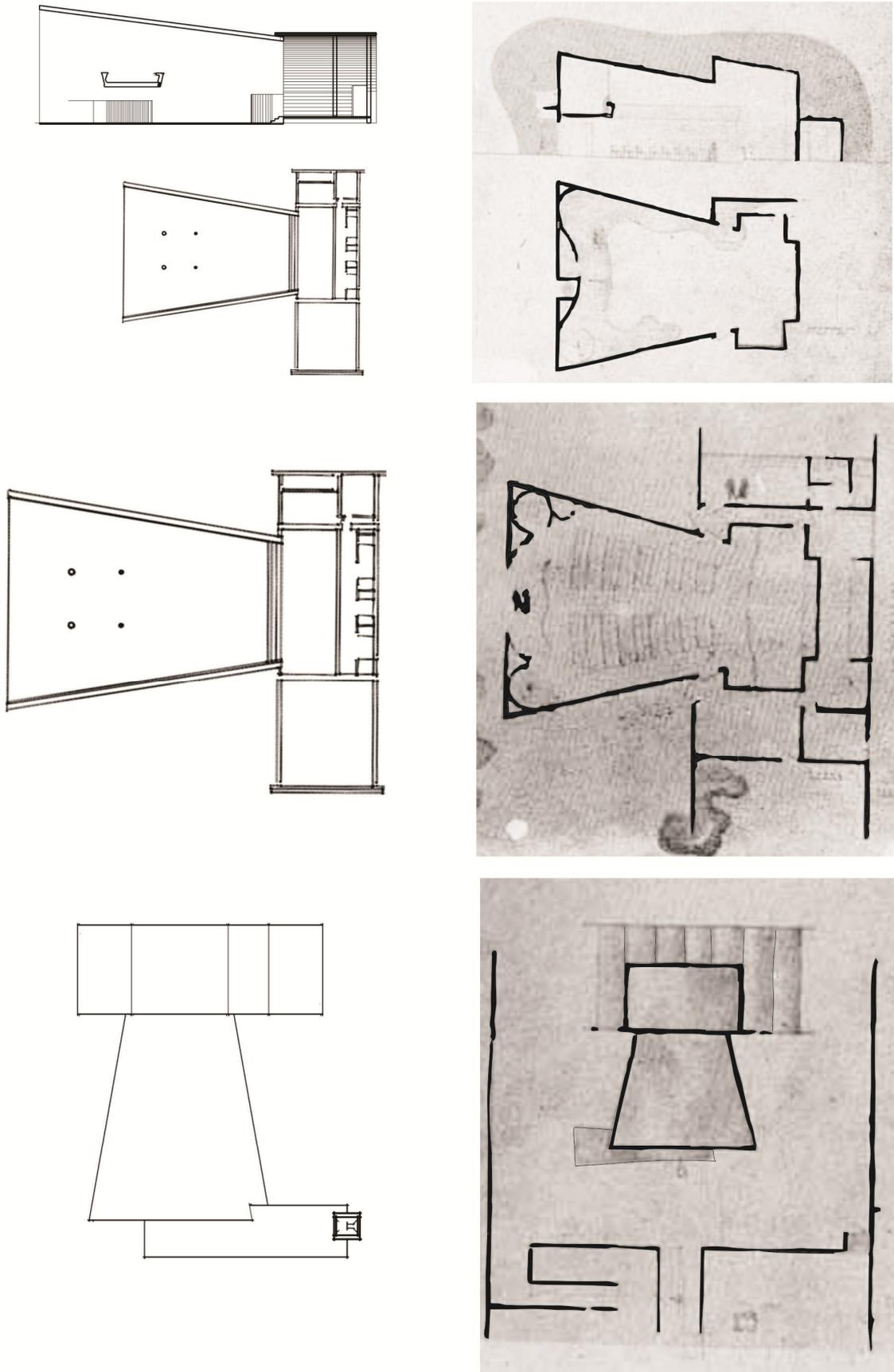
Não são feitas referências diretas a essas imagens no texto do relatório. Portanto, não foi possível identificar porque elas não correspondem completamente ao que foi construído. É possível observar que nesses desenhos a marquise da fachada principal está espelhada e não tem a mesma forma da marquise construída na igreja. Também é possível perceber que

a forma da casca que cobre a nave não é parabólica como a que foi construída e que a fachada não tem a abertura em vidro. Consta-se também que as dimensões e conseqüentemente a relação entre os volumes da igreja não são as mesmas da edificação que foi construída e que há uma rampa para acesso a entrada principal que também não corresponde ao edificado.

A partir desta imagem encontrada no relatório de gestão da Prefeitura de Belo Horizonte apresenta-se nas FIG. 4-9 e FIG. 4-10 um comparativo entre o que foi construído e o que, ao que tudo indica, foi idealizado a princípio.



**FIG. 4-9 Comparativo Fachadas. Primeiro desenho da fachada da edificação da forma como foi construída e segundo imagem do desenho do relatório de gestão (Fonte: Adaptação do Autora)**



**FIG. 4-10 Comparativo.** Na coluna da esquerda desenhos de como a edificação foi construída e na coluna da direita imagens tratadas dos desenhos do relatório de gestão. (Fonte: Adaptação Autora)

#### 4.2.1. Situação atual e relação com o entorno

Sobre a relação da igrejainha com o entorno e interessante observar que apesar de ser uma edificação fora dos padrões a igreja se integra muito bem à paisagem, não chamando mais atenção que seu entorno (FIG. 4-11, FIG. 4-12 e FIG. 4-13). Essa boa relação se deve principalmente a sua geometria e suas dimensões.



FIG. 4-11 Vista fachada sul Igrejainha e Praça São Francisco de Assis (Fonte: Autora)



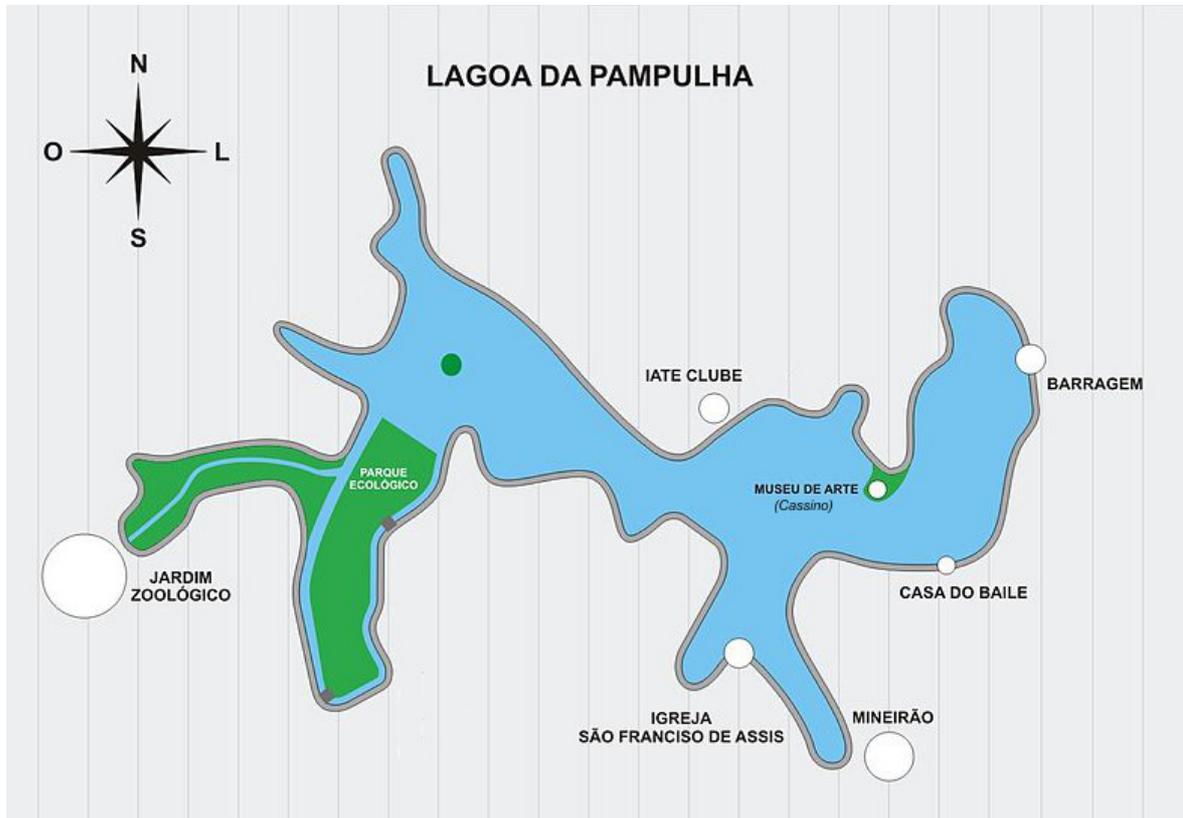
FIG. 4-12 Vista do Mineirão e do Mineirinho do adro da Igreja da Pampulha (Fonte: Autora)



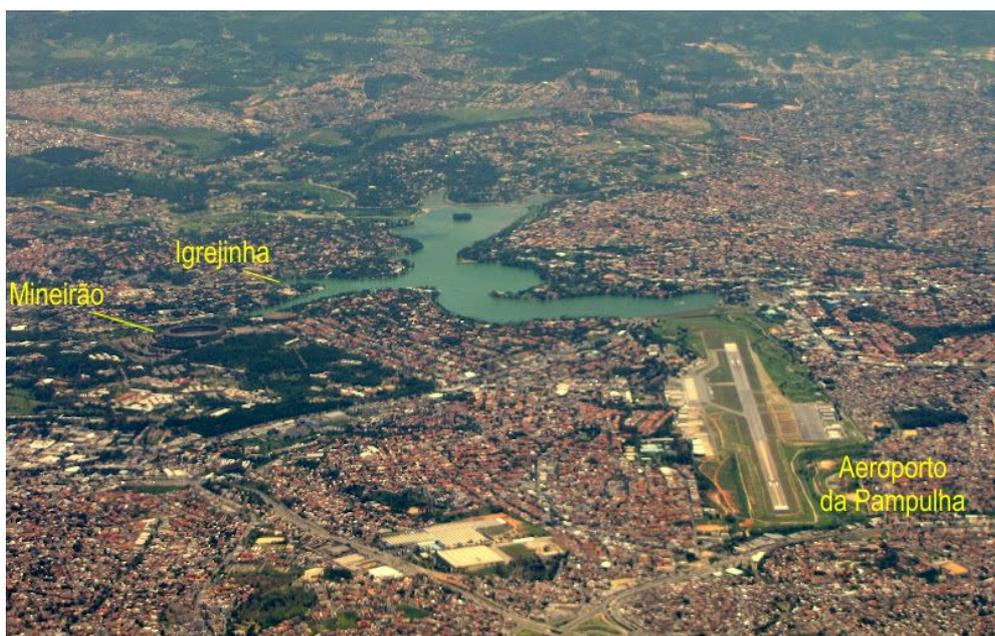
FIG. 4-13 Vista da Lagoa da Pampulha e do Iate Clube através da Marquise da Igreja da Pampulha (Fonte: Autora)

A Igreja da Pampulha faz parte de um conjunto de 4 edifícios, margens da Lagoa da Pampulha (

FIG. 4-15) sendo eles: a Casa do Baile, o Iate Clube e o Cassino (atual Museu de Arte Moderna) e a própria Igreja São Francisco de Assis, como mostra o mapa da figura 4-14.



**FIG. 4-14** Mapa da Lagoa da Pampulha e seu entorno (Fonte: pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro: Mapa\_lagoa\_pampulha.jpg Adaptada pela autora)



**FIG. 4-15 Vista Lagoa da Pampulha** (Fonte: Foto Adaptada pela autora)

Atualmente a edificação é aberta somente para visitação de turistas, mas seu entrono é muito frequentado pela população local como área de lazer.

Destaca-se também o bom estado de manutenção, conservação e limpeza da edificação. Apesar de algumas pequenas infiltrações é possível dizer que a edificação encontra-se bem preservada.

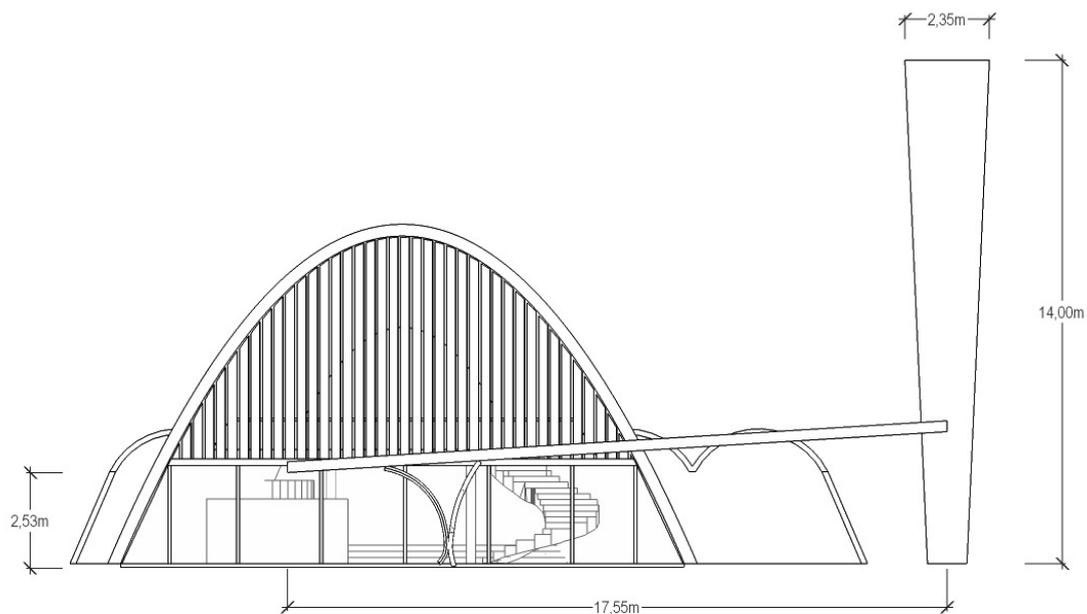
#### **4.2.2. Descrição**

Um dos aspectos que a edificação mais se destaca é em relação à sua geometria. Quanto à forma, podemos dizer que a edificação se divide em três partes principais.

Na fachada principal temos o conjunto da torre com a marquise, como está destacado na figura 4-16. A torre possui 14 metros de altura e forma de tronco de pirâmide invertido com base de 1,2m x 1,2m e topo de 2,35m x 2,35m. Já a marquise é um plano com uma leve inclinação apoiada na torre, na casca que cobre a nave e em pilares de aço com seção circular, como é mostrado na figura 4-17.

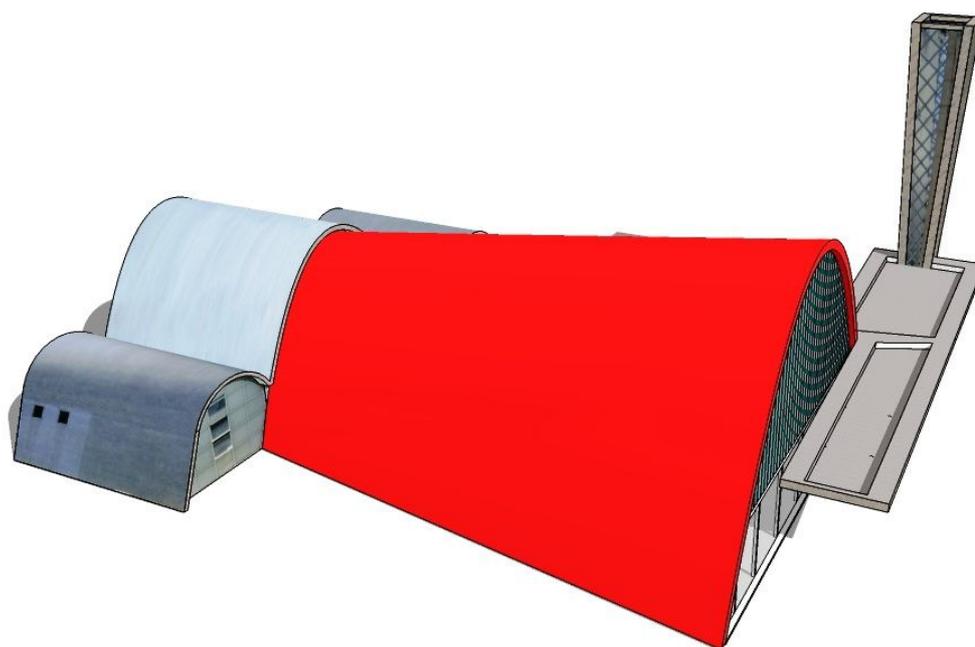


**FIG. 4-16 Torre e Marquise** (Fonte: Autora; Desenvolvido no Sketchup)

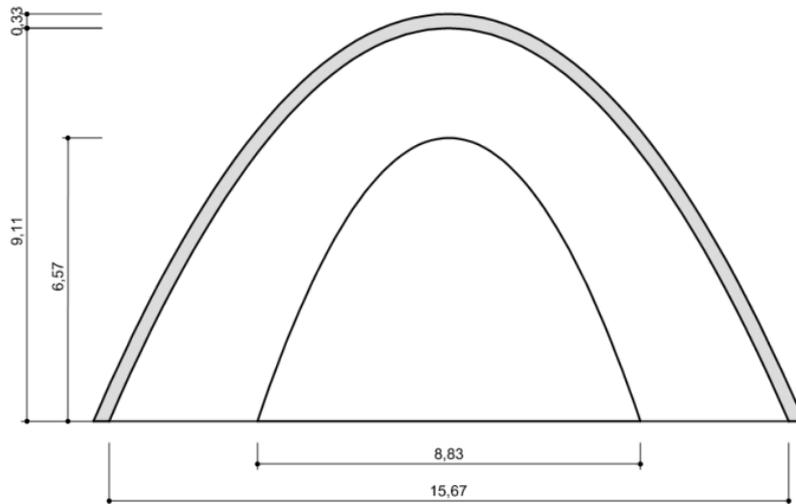


**FIG. 4-17 Medidas Marquise e Torre Igreja da Pampulha** (Fonte: Autora; Desenvolvido no Sketchup e CorelDraw)

Outro elemento é casca que cobre a nave da igreja. Essa casca é uma abóboda em forma de parábola que possui espessura de 33cm, altura variável entre aproximadamente 8,5 e 15,5 metros e 19,9 metros de comprimento como mostram as figuras FIG. 4-18 e FIG. 4-19. Ela é revestida com pastilhas em tons de azul que formam um mosaico criado por Portinari. No interior é revestida por um forro de madeira.



**FIG. 4-18 Abobada maior.** (Fonte: Autora; Desenvolvido no Sketchup)



**FIG. 4-19 – Medidas Abobada Maior**(Fonte: Autora; Desenvolvido no Autocad)

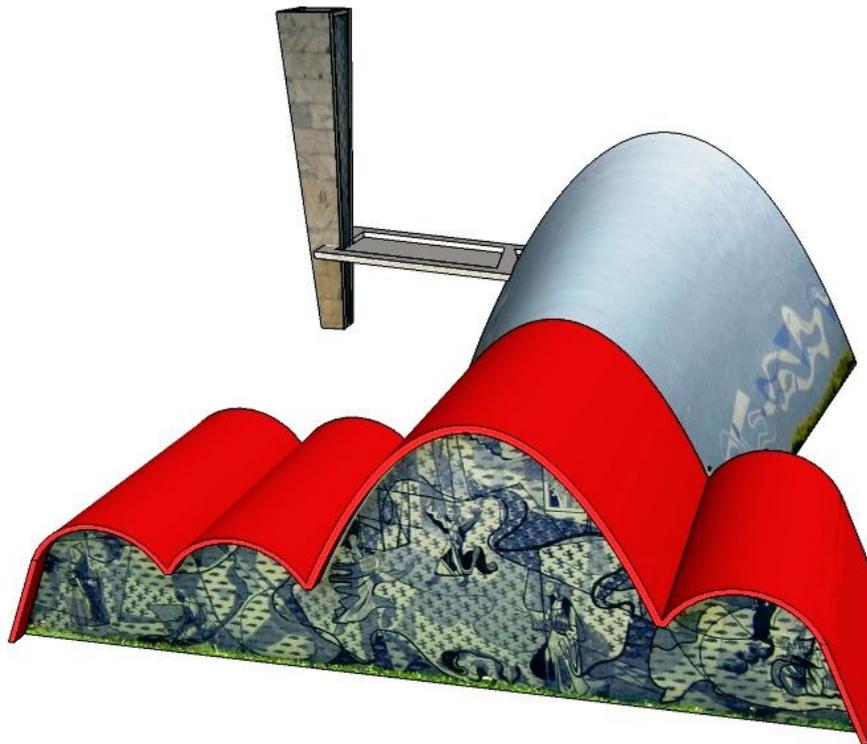


**FIG. 4-20 Vista lateral Abobada Maior**(Fonte: Autora)

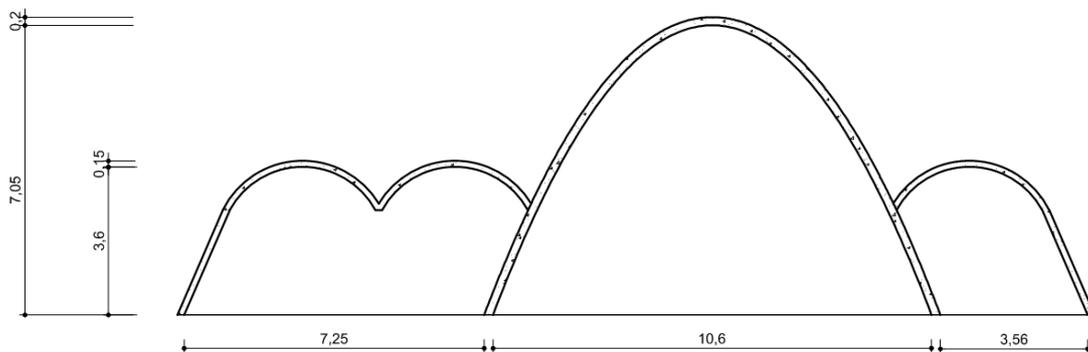


**FIG. 4-21 Abóbada Maior em construção** (Fonte: [http://bhnostalgia.blogspot.com.br/2009\\_06\\_01\\_archive.html](http://bhnostalgia.blogspot.com.br/2009_06_01_archive.html))

A terceira parte é a casca que cobre os ambientes de apoio da igreja e o altar (FIG. 4-22), a qual tem uma forma que é uma combinação de três arcos e uma parábola e que também é revestida com pastilhas. As medidas correspondentes a esta casca estão apresentadas na figura FIG. 4-23.

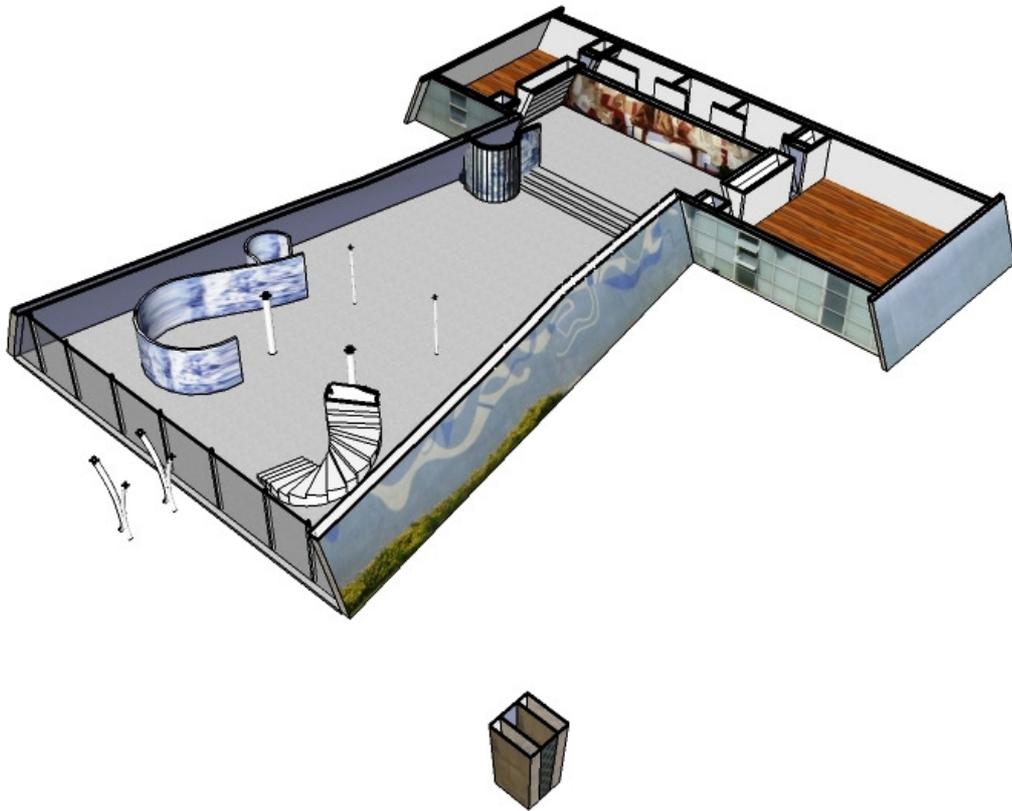


**FIG. 4-22 – Casca combinação arcos e parábola** (Fonte: Autora ; Desenvolvido no Sketchup 8;)



**FIG. 4-23 – Medidas da casca combinação de arcos e parábola** (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad)

No interior a Igrejinha possui um mezanino que tem a função de côro, além dos ambientes da nave, da capela sacristia e banheiro. (FIG. 4-24)

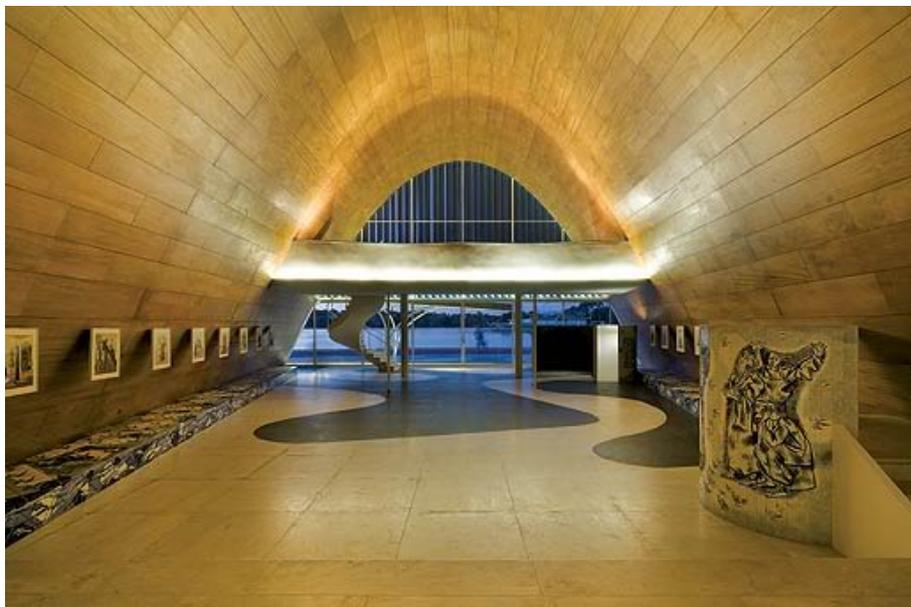


**FIG. 4-24 Interior Igreja da Pampulha** (Fonte: Autora; Desenvolvido no Sketchup)

Nas figuras FIG. 4-25 e FIG. 4-26 apresentam-se duas vistas do interior da edificação. Na primeira podemos observar o altar da igreja e na segunda o mezanino e a entrada principal. Já a figura FIG. 4-27 mostra a planta-baixa da edificação com a discriminação dos ambientes.



**FIG. 4-25 Vista do Altar da Igreja da Pampulha** (Fonte: <http://pensamentosduneto.blogspot.com.br/2011/01/curiosidades-igreja-de-sao-francisco-de.html>)



**FIG. 4-26 Vista do Mezanino da Igreja da Pampulha** (Fonte: [www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=294539](http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=294539))

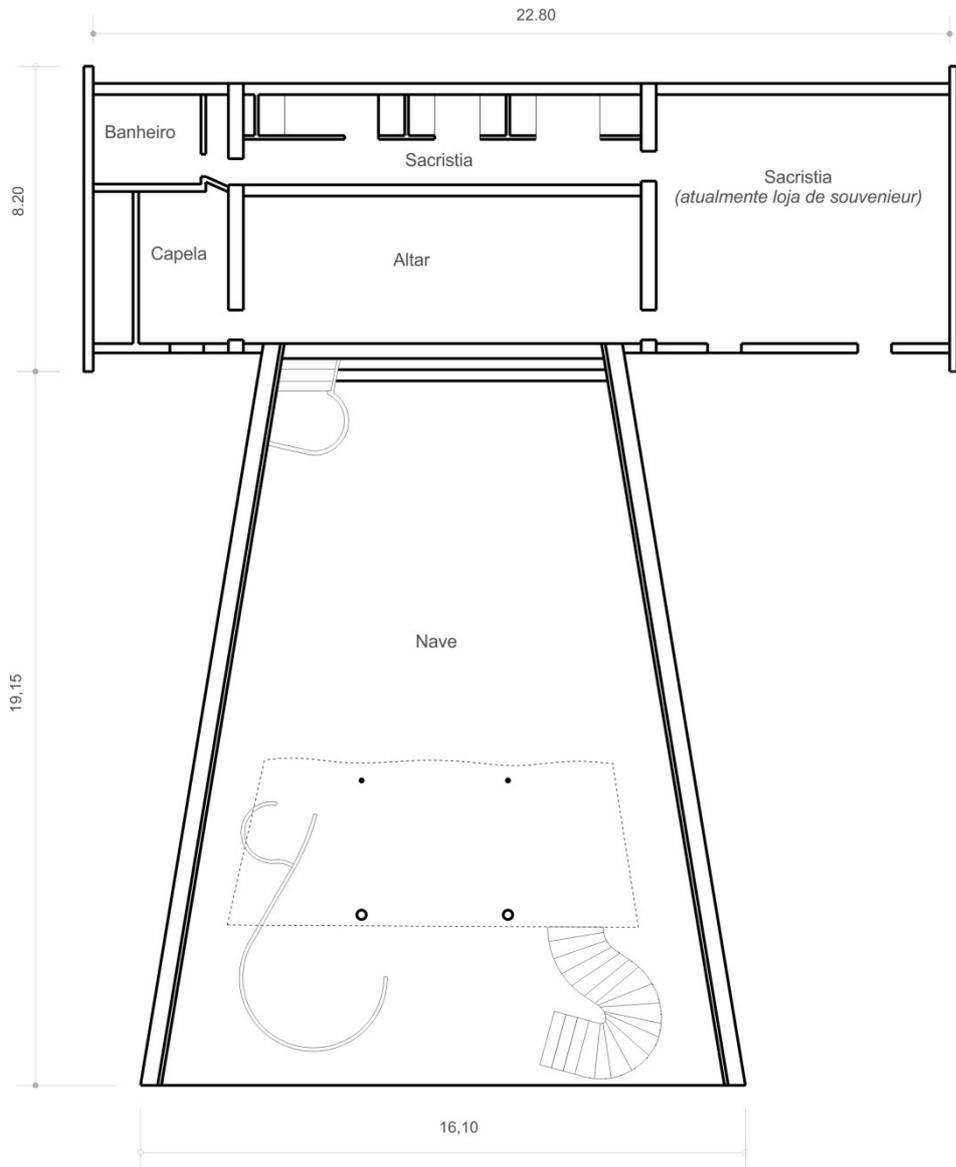


FIG. 4-27 Planta-Baixa Igreja da Pampulha (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad)

### 4.2.3. Modelagem da estrutura

Como não se obteve acesso ao projeto estrutural da igreja foi necessária uma investigação em relação a existência de alguns elementos estruturais. Para tal, optou-se por fazer uma medição com um pacômetro. As figuras FIG. 4-28, FIG. 4-30 e FIG. 4-31 mostram os resultados dessas medições. Os pontos em vermelho indicam lugares onde o aparelho indicou a presença de barras de metal.

Essas medições não obtiveram resultados totalmente conclusivos. No piso da nave e do altar as medições não levaram a resultado claro. Já as medições das paredes e do mezanino indicaram a localização de algumas vigas e pilares.

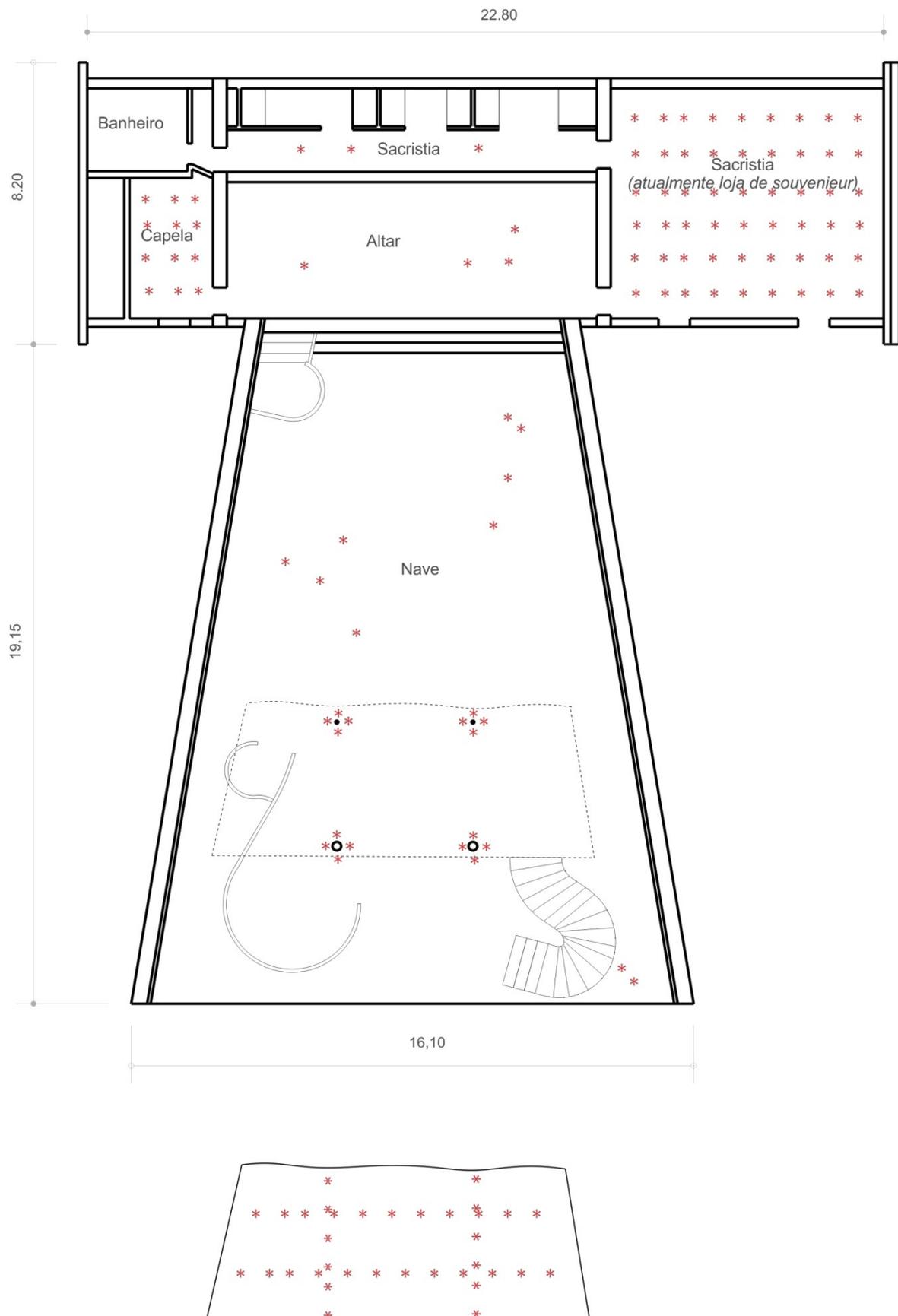


FIG. 4-28 Mapa das medições com o pacômetro (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad e CorelDraw)

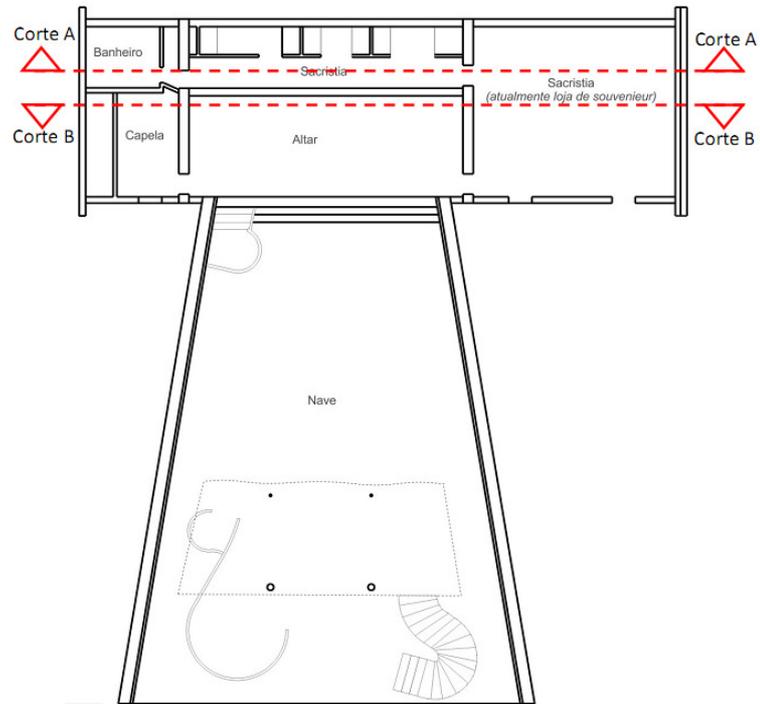


FIG. 4-29 Indicação dos cortes. (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad e CorelDraw)

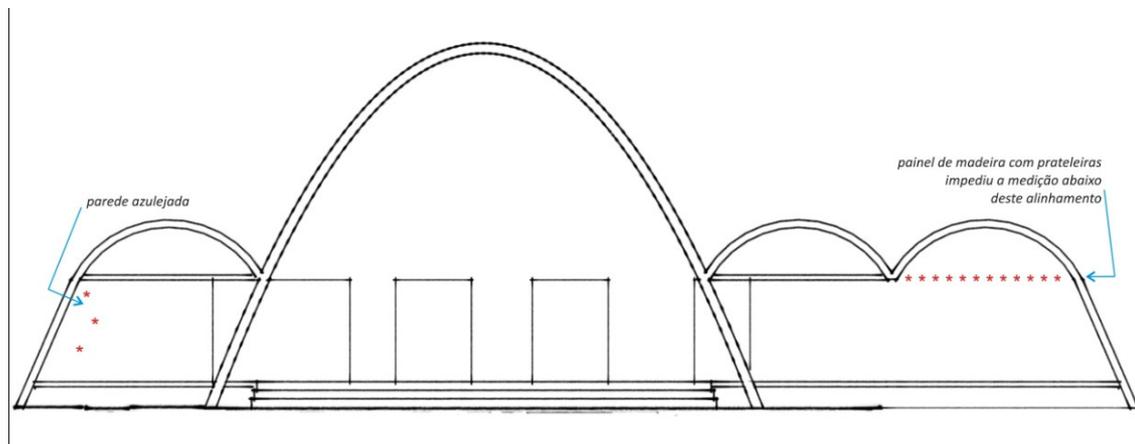
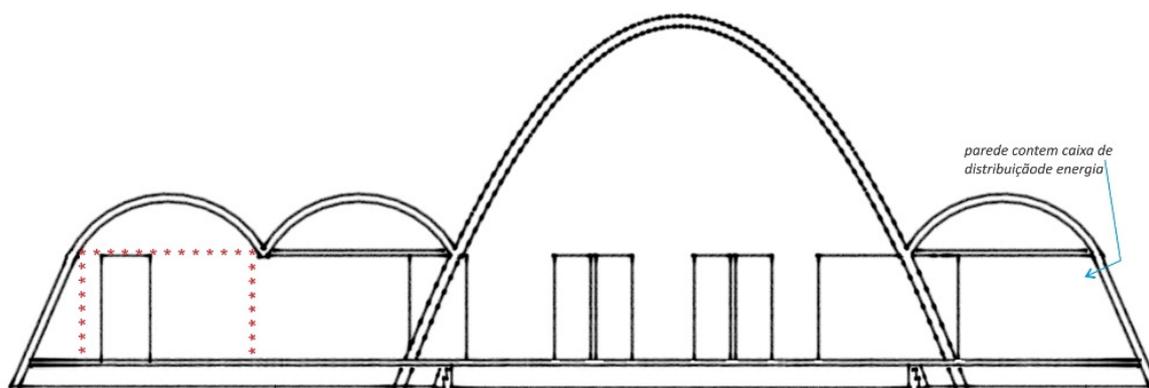
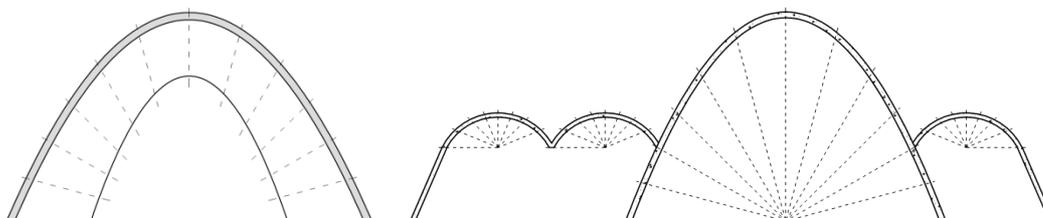


FIG. 4-30 Corte A - Mapa das medições nas paredes com o pacômetro. (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad e CorelDraw)



**FIG. 4-31** Corte B - Mapa das medições nas paredes com o pacômetro. (Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCad e CorelDraw)

A seguir a estrutura foi simulada do software SAP2000. Para auxílio à modelagem neste programa, foi desenvolvido um modelo esquemático em AutoCAD. Neste caso, era necessário transformar em planos a forma curva da casca, para tal foi feita uma divisão radial em seguimentos de reta das bordas das cascas (FIG. 4-32) e então os pontos correspondentes foram ligados formando faixas.



**FIG. 4-32** Esquema da divisão em planos (Fonte: Autora; Desenvolvido no CorelDraw)

A seguir mostra-se discretização no software SAP2000-V14 para simular igreja da Pampulha. Depois de desenvolvido o modelo esquemático no AutoCad, o modelo foi importado pelo SAP2000 por partes, divididas em *layers*, que foram definidos de acordo com espessura de cada elemento. Os planos desenhados no Autocad foram redivididos no SAP2000 para formarem uma malha mais densa e assim gerar valores mais precisos na avaliação da estrutura.

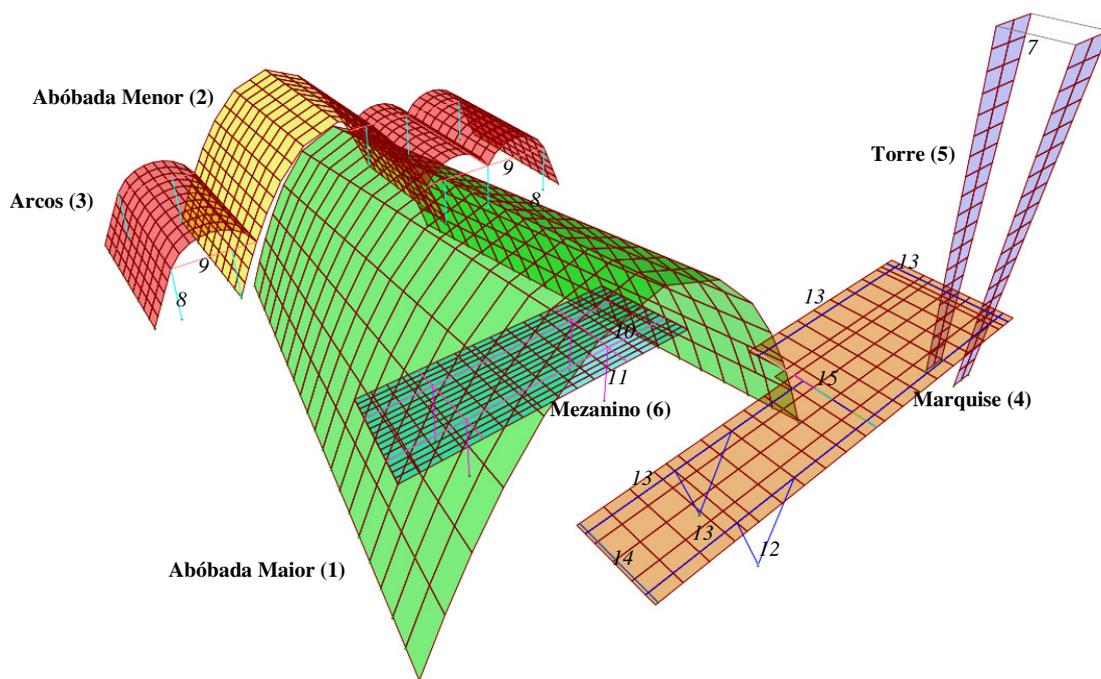


FIG. 4-33 Visão Geral Modelo SAP2000 (Fonte: Autoraa; Desenvolvido no SAP2000)

A definição dos elementos estruturais no SAP2000 foi feita de acordo com a Tabela 4-1.

Tabela 4-1 Definição dos elementos estruturais do modelo SAP (Fonte: Autora)

ELEMENTOS ESTRUTURAIS – Igreja da Pampulha			
SHELL		FRAME	
1	Abobada Maior /espessura = 33cm	7	Viga torre /seção = 36x36cm
2	Abobada Menor /espessura = 20cm	8	Pilares Sacristia /seção = 20x30cm
3	Arcos /espessura = 15cm	9	Viga Sacristia /seção = 40x20cm
4	Marquise /espessura = 5cm	10	Vigas Mezanino /seção = 35x35cm
5	Torre /espessura = 36cm	11	Pilares Mezanino /seção = $\varnothing$ 28cm; $\varnothing$ 8cm
6	Mezanino / espessura = 35cm	12	Apoio Marquise / seção= $\varnothing$ 6,4cm
		13	Viga1 Marquise / seção = 25x70cm
		14	Viga 2 Marquise / seção = 25/20cm
		15	Viga 3 Marquise / seções = trecho1: 25x50cm; trecho2: 25x55cm; trecho3: 25x60cm; trecho4: 25x70cm; trecho5: 25x80cm; trecho6: 90x50cm.

Para a análise estrutural foram consideradas as seguintes cargas: Peso Próprio (G); Sobrecarga (Q) e Vento (V). Sendo que na casca de cobertura foi considerada sobrecarga de 200 Kg/m<sup>2</sup> também na direção da gravidade. Já para o vento, foi considerada uma carga de 90 kg/m<sup>2</sup> na direção horizontal em uma das faces laterais da edificação.

Os carregamentos foram analisados segundo as seguintes combinações de carga:

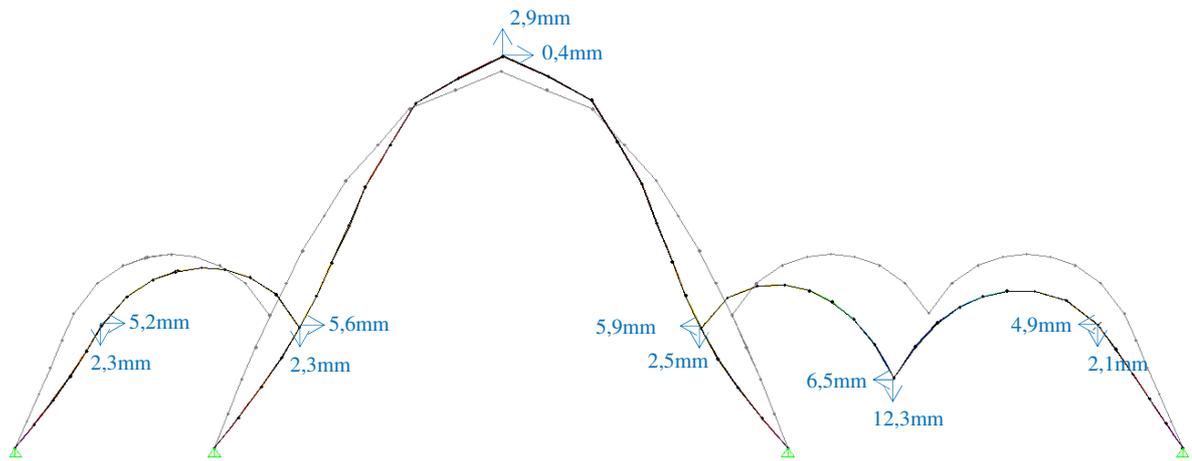
- Estado Limite Último
  - 1,4G + 1,4Q + 0,84V (Combinação 1)
  - 1,4G + 1,4V + 0,7Q (Combinação 2)
  - 1,4G + 1,4Q (Combinação 3)
- Estado Limite de Serviço
  - 1,0G + 1,0Q + 1,0V (Combinação 4)

Os materiais foram configurados de acordo com os dados do artigo de AGUIAR, J. E. D. et al. “Monitoramento e avaliação estrutural da igreja da Pampulha: como resolver um problema de 50 anos.” Que diz que a média das resistências à compressão das amostras de concreto ensaiadas foi de 24,60 MPa e a que média dos módulos de elasticidade foi de 28,046 GPa, sendo estes resultados avaliados por ensaio de ultra-sonografia através do aparelho PUNDIT, em sistema de transmissão direta com transdutores de 54 kHz.

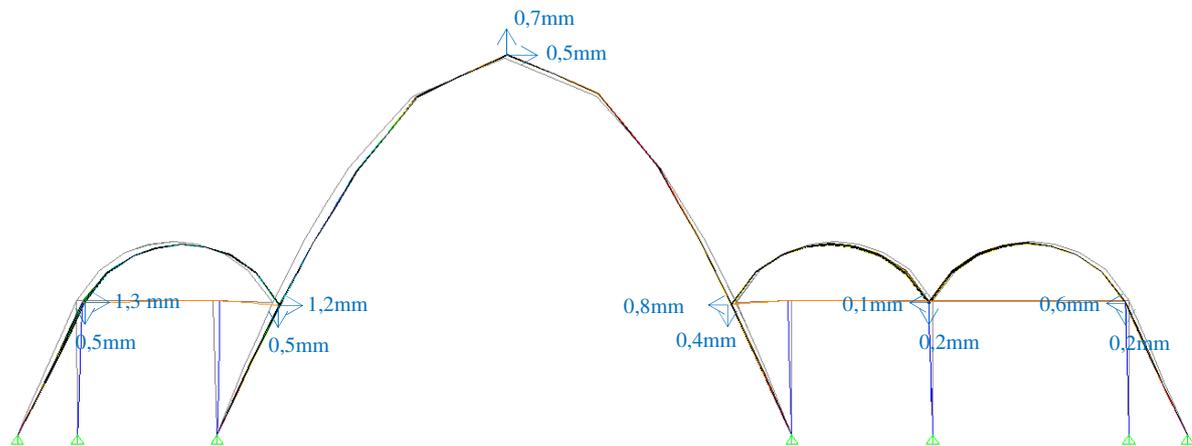
#### **4.2.4. Análises**

Com o objetivo de verificar o comportamento do sistema estrutural, foi feita uma simulação com as quatro combinações de carga citadas considerando a estrutura com e com e sem pilares e vigas na região das cascas menores.

As Figuras 4-33 e 4-34 mostram como era de se esperar, que estrutura se mostrou mais estável com as vigas e pilares na região da sacristia. O deslocamento máximo nessa região diminuiu de 14mm para 2mm.

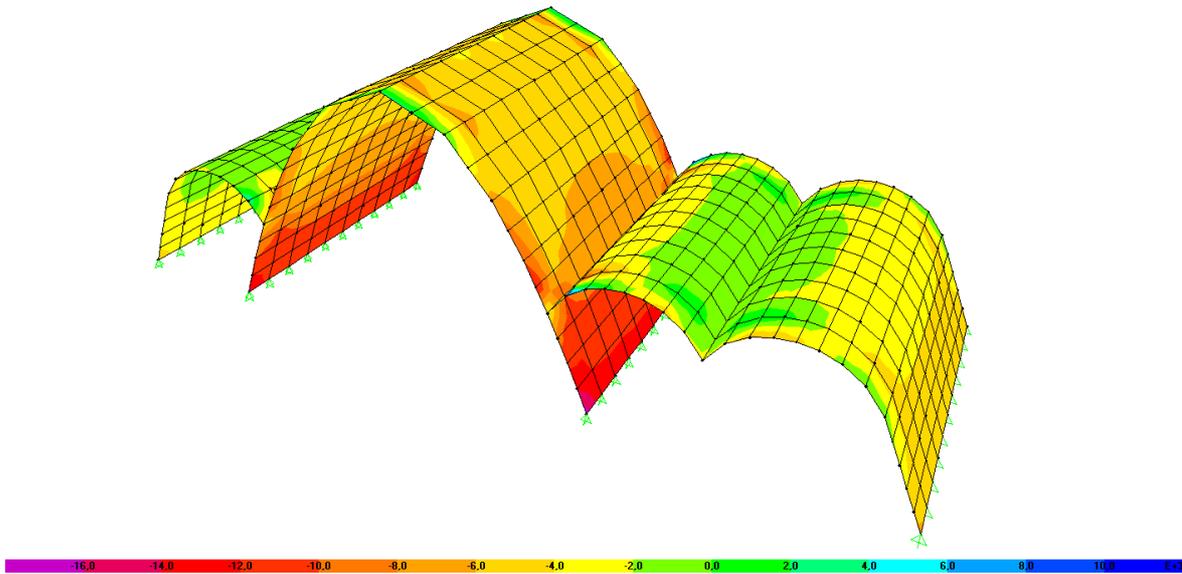


**FIG. 4-34 Deformação para a combinação de serviço, sem pilares e vigas** (Fonte: Autoraa; Desenvolvido no SAP2000)

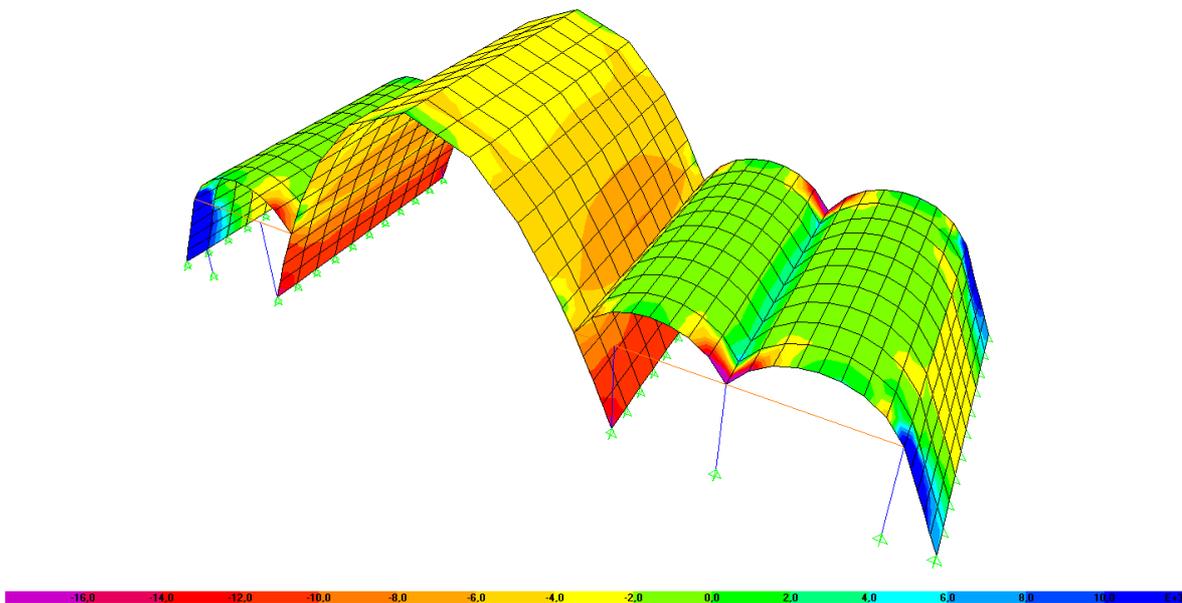


**FIG. 4-35 Deformação para a combinação de serviço, com pilares e vigas** (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000)

As figuras 4-35 e 4-36 mostram os resultados dos esforços normais no conjunto das cascas menores. Apesar de ter sido feita a simulação para outras combinações de carga, optou-se por apresentar neste capítulo somente os resultados para a combinação 1. A escala de cores usada teve a mesma configuração em todas as variações simuladas, e ela foi configurada entre 16.000Kgf à compressão a 13800 Kgf à tração. Essa configuração foi escolhida baseada no resultado da simulação do conjunto cascas menores com pilares. A mesma foi usada desta forma para que as cores significassem os mesmos valores em todas as análises e simplificasse a comparação dos resultados. Assim, as regiões em tons de amarelo, laranja, vermelho e magenta então sendo comprimidas, sendo que, a intensidade do esforço aumenta nessa mesma ordem. As regiões em tons de verde, *cian* e azul estão sendo tracionadas e o esforço também aumenta de intensidade nessa mesma ordem.



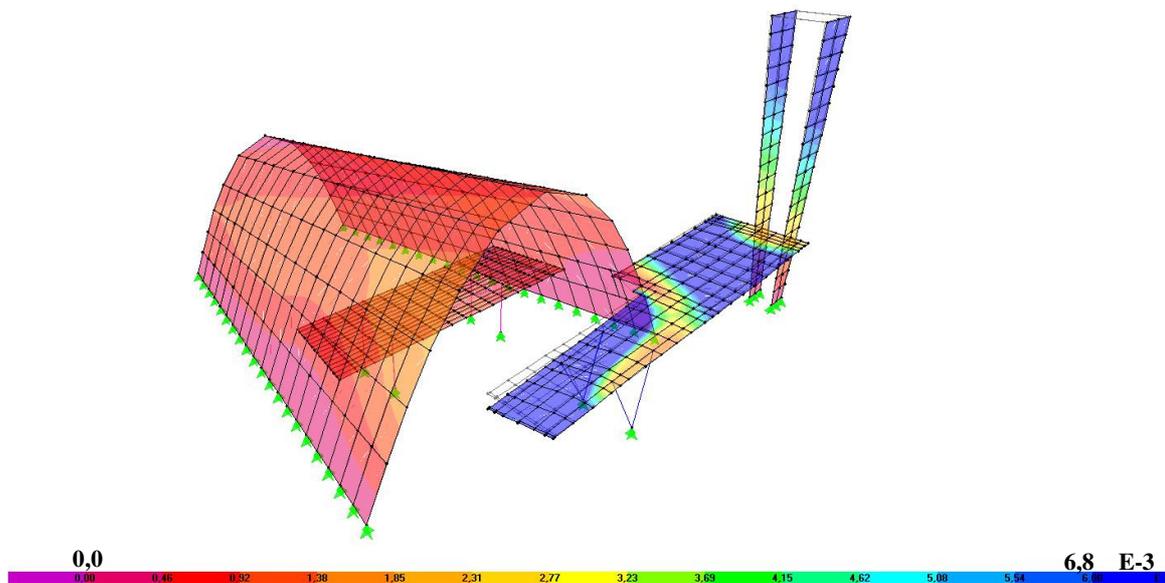
**FIG. 4-36**Forças Normais para combinação 1, sem pilares e vigas (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000)



**FIG. 4-37**Forças Normais para combinação 1, com pilares e vigas (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000)

Analisando as imagens é possível perceber que os valores de compressão em geral diminuíram e que apareceram esforços de tração nas bordas das paredes laterais e no encontro entre dois arcos. Pode-se observar também que onde apareceram as trações os

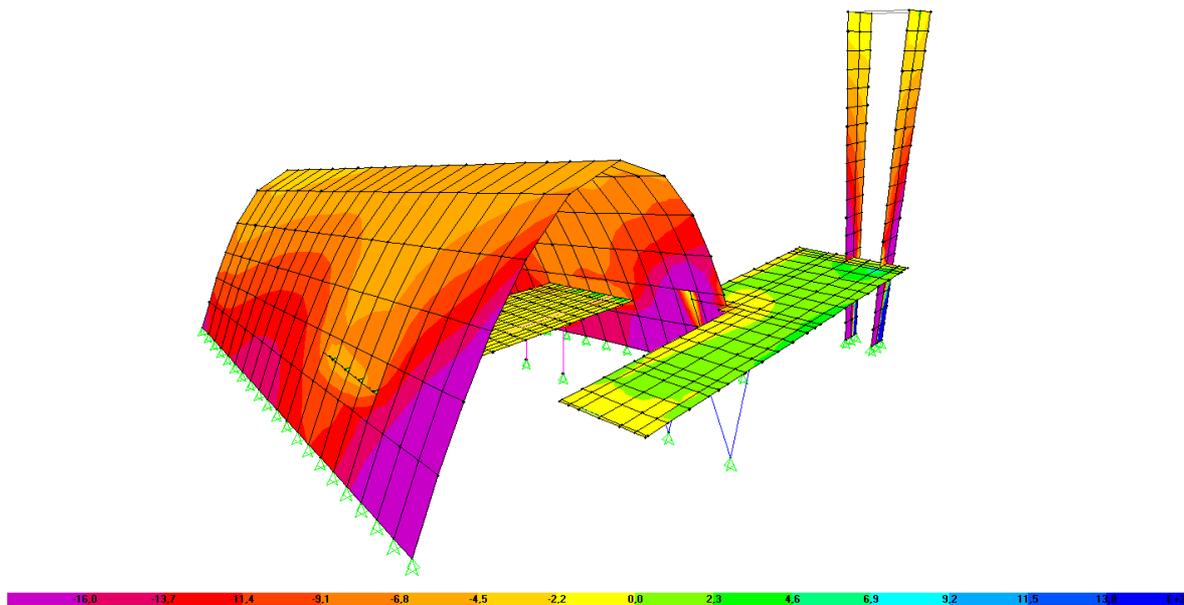




**FIG. 4-40** Deformação para combinação de carga 1, com a escala de cores em metros. (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000-V14)

Os gráficos mostram que as cascas são estruturas com muita rigidez, produzindo deslocamentos bem pequenos se comparados com a laje da marquise do acesso.

O diagrama de forças normais, na figura FIG. 4-41, demonstrou que tanto a casca maior quanto o mezanino estão predominantemente submetidos à compressão, sendo que, aparecem esforços de tração no encontro da marquise com as casca, na marquise e na base da torre.



**FIG. 4-41 Forças Normais para combinação de carga 1**(Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000-V14)

Na figura FIG. 4-42, podemos observar os resultados das reações de apoio para esse restante da estrutura.

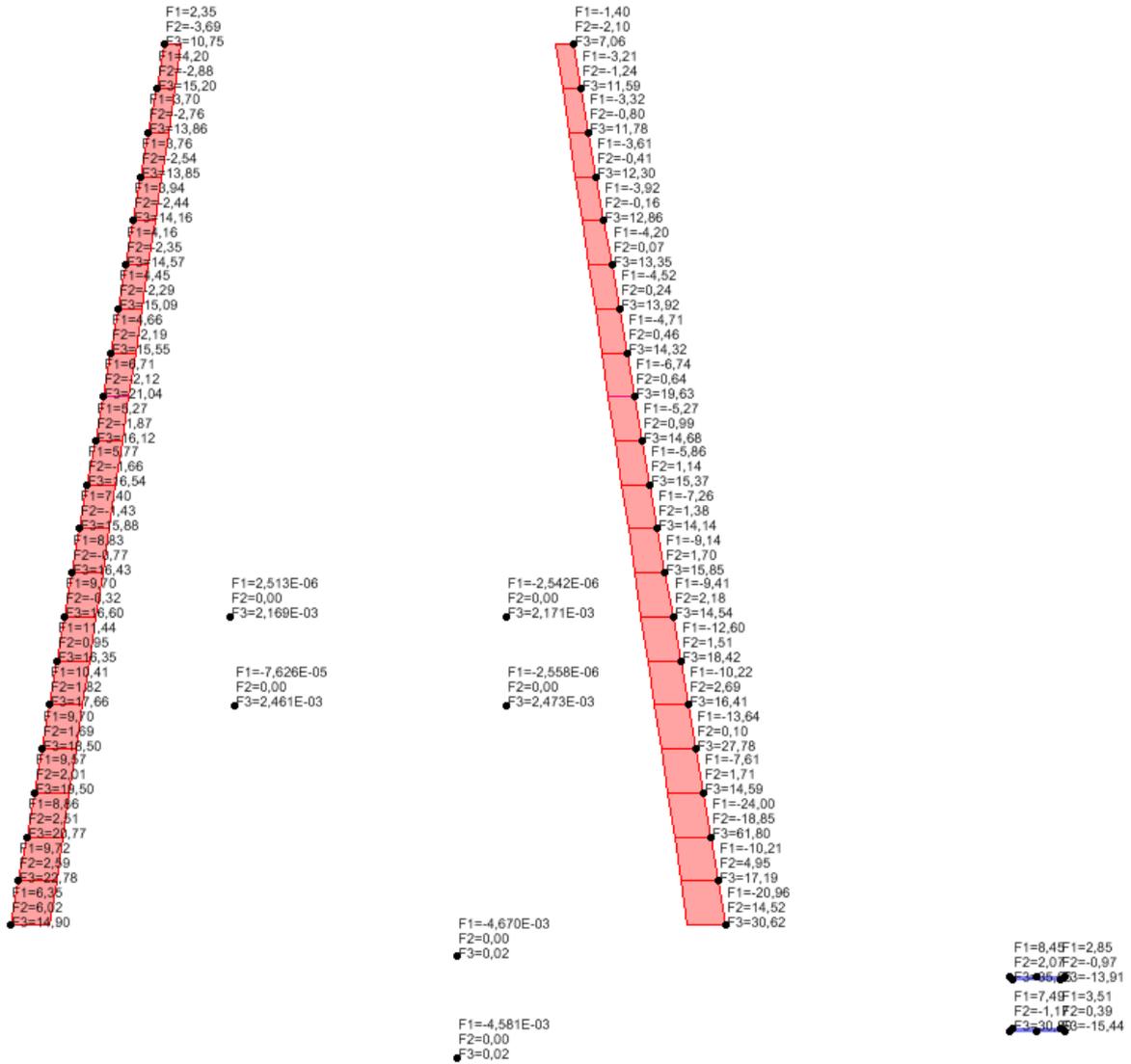
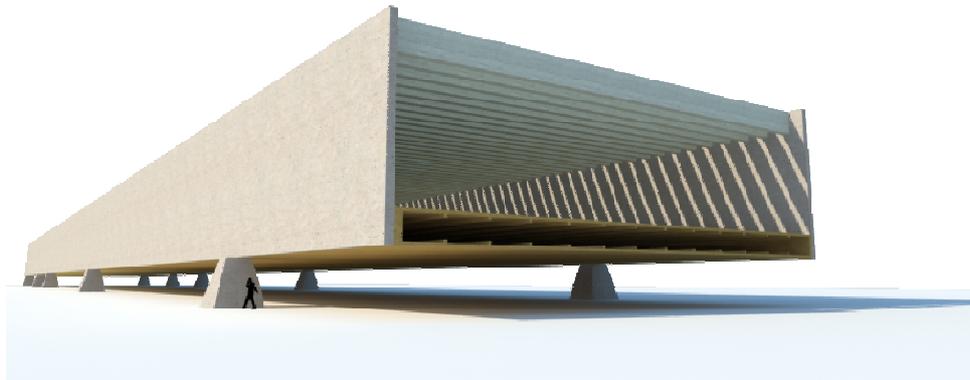


FIG. 4-42 Reações nos apoios em tonelada-força(Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000-V14)

Apesar da estrutura da Igrejinha da Pampulha ter se demonstrado mais estável na simulação em que foram considerados os pilares e vigas na região da sacristia não é possível afirmar as razões pela qual esses elementos existem, pois a simulação sem os pilares não indicou o colapso da estrutura. Supõe-se que as razões da existência desses elementos possam estar relacionadas ao processo de construção da edificação ou à ligação entre as cascas, já que não temos informações de como essas ligações foram executadas.

### 4.3. PAVILHÃO DA GAMELEIRA

O Pavilhão da Gameleira (FIG. 4-43) foi escolhido para estudo de caso nesta dissertação devido à importância que se deu ao acidente estrutural ocorrido durante sua construção.



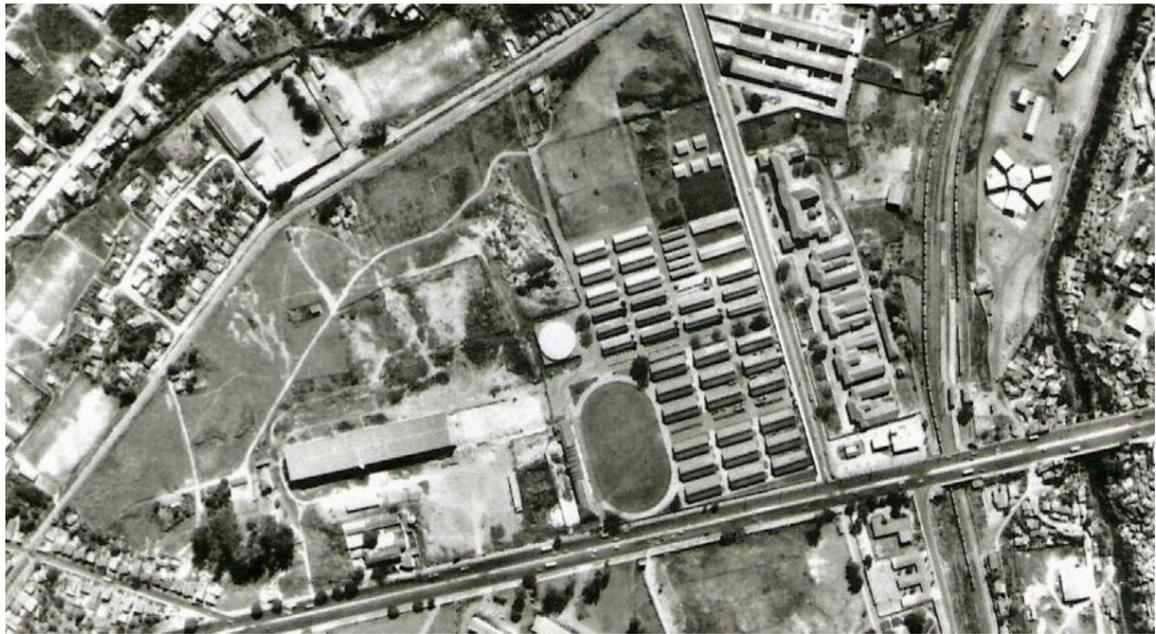
**FIG. 4-43** Imagem renderizada de maquete eletrônica em Sketchup do Pavilhão da Gameira(Fonte: Autora)

Assim como no estudo de caso da Igrejinha da Pampulha não foi possível encontrar os projetos estruturais originais da edificação. No entanto, a quantidade de informações sobre essa edificação é muito mais escassa e como o pavilhão não chegou a ser concluído, obviamente, não foi possível visitar a edificação para fazer medições. Mesmo com a escassez de dados considerou-se que devido ao acidente estrutural envolvido da construção desta edificação seria interessante desenvolver este estudo de caso.

As principais fonte de informações, tanto em relação ao contexto histórico quanto em relação à descrição da edificação, foram a tese de doutorado de BORBA, A. L. D. “A reconstrução histórico-sociológica da tragédia da gameleira em BH.” Publicada pela Universidade de Campinas em 2007; a dissertação de mestrado de GALVANE JÚNIOR, J. “A engenharia de estruturas na arquitetura de Oscar Niemeyer” publicada pela Poli-USP em 2004 e o Livro “Acidentes estruturais na construção civil”, volume 1, coordenado por CUNHA, A. J. P. D.; SOUZA, V. C. M. D.; LIMA, N. A. da editora PINI.

#### **4.3.1. Descrição**

O local destinado à construção do Pavilhão de exposições da Gameleira situa-se na parte oeste da cidade, numa das principais vias de acesso à região industrial e do centro de Belo Horizonte. (FIG. 4-44).



**FIG. 4-44** Foto aérea da região da Gamaleira em 1972 (Fonte: Instituto de Geociências Aplicadas *apud*(BORBA, 2007))

Junto à região do pavilhão da Gamaleira já existia a arena e os galpões de exposição de gado além de outras construções.

A notícia do Jornal Estado de Minas descreve o que estava sendo planejado para o Pavilhão da Gamaleira chamado nessa reportagem de Palácio das Indústrias:

“O Palácio: o pavimento térreo do Palácio, com área útil de 7.320 metros quadrados, destina-se à exposição da indústria pesada, recepção, controle e centro de informações, enquanto o primeiro pavimento, que possui área igual a do térreo, estava destinado à exposição de equipamentos e máquinas de porte médio. A sobreloja, com área útil de 2.314,00 metros quadrados, compõe-se de dois setores: restaurante, instalações sanitárias e local de exposição de livros. O projeto foi orçado em quase 10 mil cruzeiros, sendo 2.750 de recursos da CIURBE adquiridos com a venda de terrenos nas Mangabeiras e o capital restante financiado pelo Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais. O Palácio das Indústrias consumiria 48 mil sacos de cimento, 6 mil metros cúbicos de concreto e 1.500 toneladas de ferro. A obra estava sendo edificada com uma fundação de 10 pilotis, o suor e o sangue dos operários mineiros.” (Jornal Estado de Minas – 05/02/71 – Seção 2ª – p. 4). *apud*(BORBA, 2007)

(GALVANE JR., 2004) Descreve como a edificação estava sendo construída:

“A estrutura do edifício de 7320m<sup>2</sup>, em concreto armado, era constituída essencialmente por uma laje nervurada de 30,5m x 240m com 1,5m de espessura apoiada inferiormente em 8 vigas isoestáticas de 9,8m de altura e em dez pilares troco-prismáticos de 3,0, de altura. Além da laje já mencionada, a estrutura também possuía duas outras lajes (piso denominado sobreloja). Uma laje de 30,5m x 40m do tipo caixão perdido

com espessura de 50cm, situada entre os pilares P1, P2, P6 e P7, descarregava os esforços em uma parede apoiada na laje principal. A outra, de 30,5 x 35m, do tipo caixão perdido com 50 cm de espessura, situava-se entre os pilares P4, P5, P9 e P10 e apoiava-se, por meio de tirantes, nas vigas da cobertura de 1,5 de altura e simplesmente apoiadas nas vigas principais. A cobertura era constituída pelas vigas transversais e, após o término da estrutura seria finalizada com a colocação de peças de fibra de vidro posicionadas entre elas. Os dez pilares, em forma de tronco de pirâmide, com altura de 3,0m, base inferior de 3,0m x 3,0m e base superior de 1,5m x 1,5m, se ligavam a blocos de concreto armado de 3,4m x 3,4m e 1,5m de altura. Sob os blocos existiam tubulões (um para casa pilar) dimensionados pela empresa responsável pelas fundações somente para cargas verticais no eixo.” (GALVANE JR., 2004)

(CUNHA, SOUZA e LIMA, 1996) Descrevem o projeto estrutural:

“O projeto constava de 68 pranchas de desenho e 13 folhas manuscritas de cálculo com pouquíssimas informações. Não existia qualquer projeto ou mesmo esquema do cimbramento ou de sua remoção. O esquema do descimbramento foi fornecido posteriormente pelo projetista da estrutura mas não fazia parte do projeto inicial. Previa a retirada das escoras dos apoios para o vão.” (CUNHA, SOUZA e LIMA, 1996)

Nas figuras FIG. 4-45, FIG. 4-46, FIG. 4-47 e FIG. 4-49 são representados os elementos estruturais do Pavilhão da Gameleira e suas dimensões.

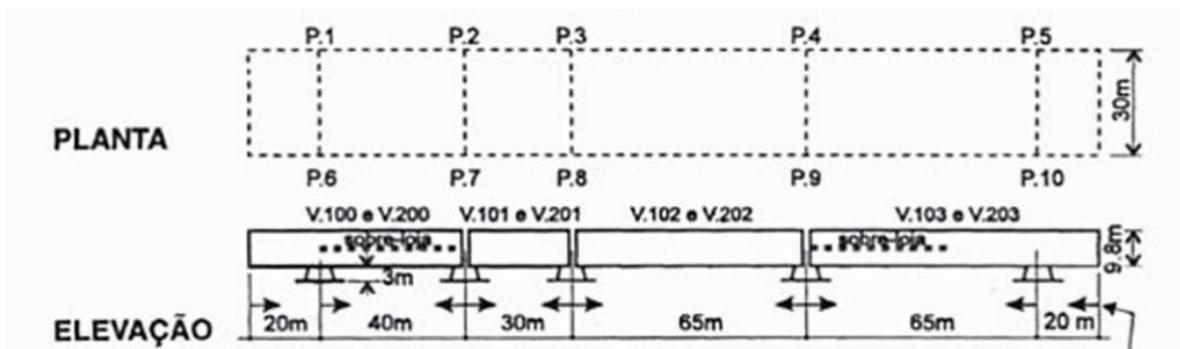
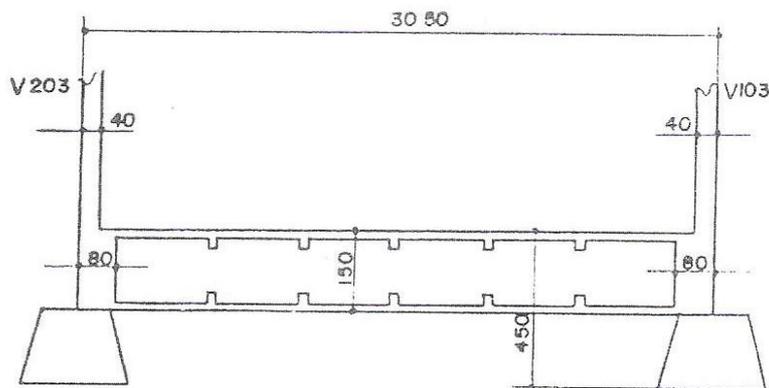
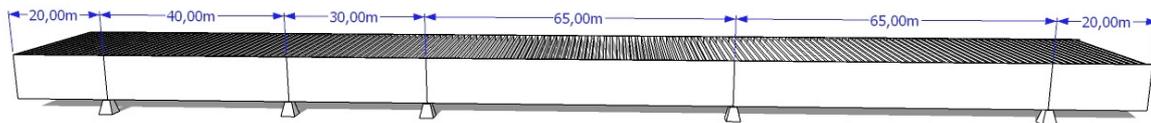


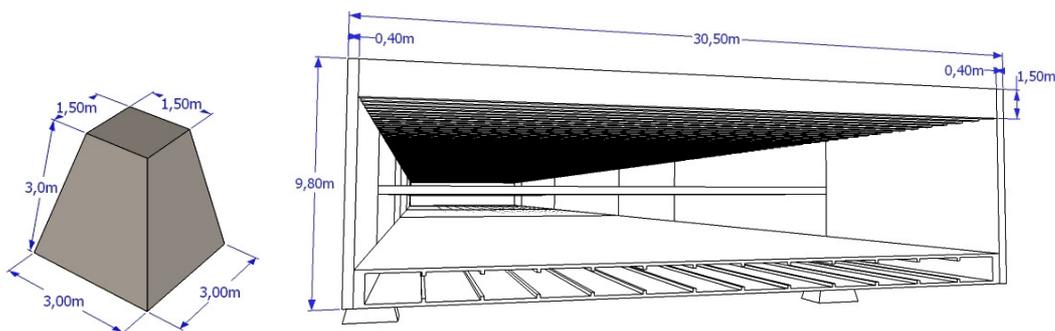
FIG. 4-45 Desenho esquemático da planta e da elevação do Pavilhão da Gameleira (Fonte: (CUNHA, SOUZA e LIMA, 1996))



**FIG. 4-46 Corte** (Fonte:(GALVANE JR., 2004))



**FIG. 4-47 Dimensões longitudinais Pavilhão da Gameleira** (Fonte: Autora. Desenvolvido no Sketchup)



**FIG. 4-49 Dimensões Pilares**  
(Fonte Autora: Desenvolvido no Sketchup)

**FIG. 4-48 Dimensões transversais Pavilhão da Gameleira**  
(Fonte Autora: Desenvolvido no Sketchup)

A estrutura da edificação é relativamente simples, pois, são poucos elementos estruturais. O que impressiona nesta construção são as dimensões desses elementos estruturais, são estas dimensões que conferem à estrutura um caráter atípico. A relação da dimensão da edificação com a escala humana pode ser observada na figura FIG. 4-50.



**FIG. 4-50** Imagens da Maquete eletrônica do Pavilhão da Gameleira (Fonte: Autora; Desenvolvido no Sketchup e no V-Ray)

#### **4.3.2. O Acidente**

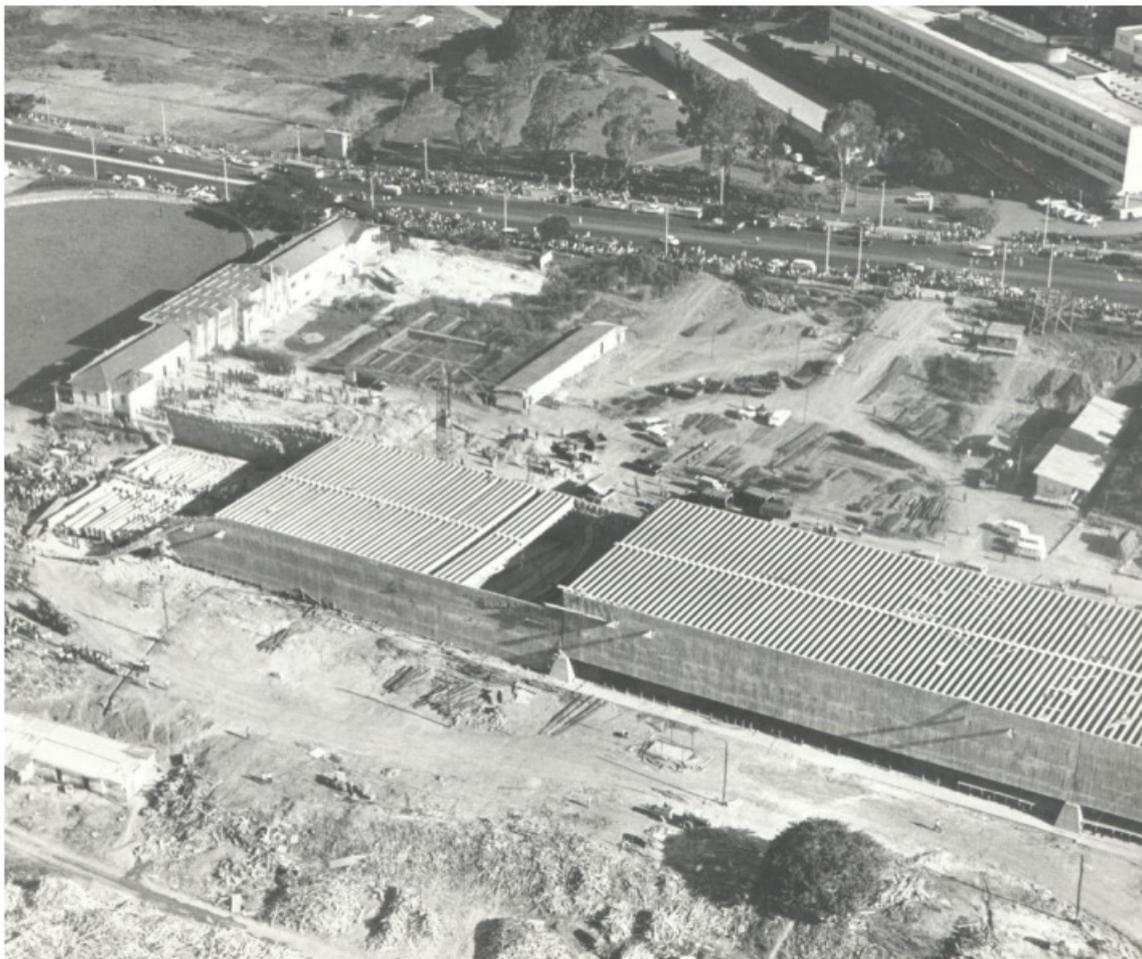
No dia quatro de fevereiro de 1971, aproximadamente ao meio dia, durante a retirada de escoramentos de parte da estrutura, a estrutura entrou em colapso e veio a desabar encima dos operários que lá trabalhavam. Estimaram-se cerca de 69 mortos e 100 feridos, mas há contradição nas referências bibliográficas em relação a esses números. Lá trabalhavam mais de 500 operários e além deles lá provavelmente também circulavam vendedores ambulantes. Nas figuras FIG. 4-51, FIG. 4-52, FIG. 4-53, FIG. 4-54 podemos observar um pouco de como foi a consequencia desse acidente estrutural.



**FIG. 4-51** Desmoronamento Pavilhão da Gameleira(Fonte: Centro de documentação do Jornal Estado de Minas apud(BORBA, 2007))



**FIG. 4-52**Desmoronamento Pavilhão da Gameleira (Fonte: Centro de documentação do Jornal Estado de Minas *apud*(BORBA, 2007))



**FIG. 4-53**Visão Geral do desmoronamento Pavilhão da Gameleira (Fonte: Centro de documentação do Jornal Estado de Minas *apud*(BORBA, 2007))



**FIG. 4-54 Desmoronamento Pavilhão da Gameleira**(Fonte: Centro de documentação do Jornal Estado de Minas *apud*(BORBA, 2007))

Diante da tragédia, o governo nomeou uma comissão para apurar as responsabilidades pelo caso, a qual produziu o relatório a seguir, publicado pelo Jornal Estado de Minas em 03/03/1971 e que foi transcrito da tese de BORBA, 2007.

[...] É o seguinte o relatório encaminhado ao governador Israel Pinheiro assinado pelos engenheiros José Carlos Figueiredo Ferraz, Victor F. B. de Melo e Joaquim Marcelo Klein Teixeira, membros da comissão de alto nível, designada pelo chefe do Executivo mineiro para apurar as causas do desabamento do Pavilhão de Exposição, na Gameleira:

São Paulo, 17 de fevereiro de 1971. Exmo. Sr. Dr. Israel Pinheiro, DD. Governador do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG. Senhor Governador: Em nos desincumbindo do honroso e também tão responsável encargo de levantar as causas que motivaram o desabamento parcial do Pavilhão de Exposição das Indústrias, no Parque Gameleira, vimos Sr. Governador, apresentar as conclusões a que chegamos, tecendo antecipadamente algumas considerações para melhor compreensão e caracterização do ocorrido:

1. trata-se de uma estrutura impar, incomum do ponto de vista arquitetônico- estrutural;
2. sua concepção foge aos critérios das obras correntes e exige, por conseqüência, cuidados especiais tanto de projeto como de construção;
3. a enorme proporção de seus vãos e grandeza dos esforços decorrentes, particularmente reações de apoio – concentradas em diminutas áreas de transferência aos blocos de fundações – determinaram soluções arrojadas, causando problemas de resistência e estabilidade;

4. todo o edifício desenvolve-se segundo um eixo longitudinal, atingindo extensão de 240m, sendo composto, estruturalmente, de trechos isostáticos;

5. as fundações, em duas linhas de tubulões, assentam-se a profundidade de 13 a 19m, em terreno de alteração de rocha, passível de apreciáveis recalques absolutos diferenciais;

6. o exame minudente dos detalhes do projeto estrutural e as observações colhidas no local das obras levam-nos aos comentários abaixo.

6.1 – Os apoios das vigas recebem reações verticais, segundo projeto, variando de 800 t. até 2.500 t.

- Esta carga é transferida aos blocos de fundações através de vergalhões de aço CA-50 Ø 1 1/8” na forma conhecida por articulação tipo Menasger;

- A soma de duas reações vizinhas sobre um mesmo bloco pode, conforme combinações de carregamento, causar uma reação vertical excêntrica, não considerada na planta de cargas;

- Notamos insuficiência de cintamento (armação transversal) para absorver esforços horizontais, decorrentes do efeito de concentração de carga, no topo dos pilares;

- Outrossim, a própria armação transversal, ligando as barras da articulação, é deficiente;

- O apoio, pois, das vigas é precário, não só pela enorme concentração de esforços como, também, pela pequena e deficiente armadura exigida para garantir a integridade da viga na região do apoio, armadura esta comumente chamada armadura de canto. - A figura acima ilustra o fluxo de esforços e tensões nas vizinhas do apoio.

6.2 – Quanto à ferragem longitudinal das vigas, pode-se afirmar ter sido calculada dentro dos limites impostos pela Norma, com utilização de armadura dupla, explorados todos os coeficientes de segurança. A grande altura da viga exige uma armadura suplementar longitudinal para limitar a abertura de fissuras. Este valor deve ser da ordem da metade da armadura longitudinal principal, exigência na obedecida. Os grandes esforços cortantes determinam tensões de cisalhamento muito elevadas que nas proximidades dos apoios ultrapassam de muito os valores admitidos pela Norma Brasileira NB-1, item 97. A armadura dobrada, de cisalhamento, deveria ser levada até o topo e base da viga – o que não ocorreu – já que os estribos, isoladamente, não têm capacidade de absorver as forças horizontais decorrentes.

6.3 – As paredes laterais, que constituem as vigas longitudinais, são ligadas transversalmente por nervuras de teto, regularmente espaçadas por uma laje suspensa em determinadas extensões; e por uma laje caixão, de piso, a 3m do nível do terreno. As nervuras de teto não têm armadura superior de engastamento; e a inferior, em geral de 7/8”, é levada até o apoio e aí dobrada, terminando em gancho, com deficiência de ancoragem. A laje suspensa, com 50 cm de espessura, em tipo caixão perdido, como executada, não constitui elemento eficaz de enrijecimento transversal. No trecho em balanço, onde ocorreu desabamento total esta laje não existe.

7. o terreno de apoio das bases dos tubulões, um solo residual predominantemente solto, apresentou resistência à penetração (nas sondagens de reconhecimento) de valores da ordem de 13 a 20 golpes do amostrador tipo IPT. Em determinados pontos registraram-se variações, oscilando entre 7 e 30, facilmente justificáveis em solos residuais.

7.1 – A tensão de trabalho admitida no dimensionamento das bases dos

tubulões foi de 10 kg/cm<sup>2</sup>; valor este que julgamos oferecer adequado coeficiente de segurança à rutura do terreno de apoio. Esta tensão, entretanto, por ocasião do desabamento teria atingido valores da ordem de 7 kg/cm<sup>2</sup>, já que o carregamento não atingira ainda seu valor máximo.

7.2 – A já mencionada excentricidade das cargas dos pilares não foi apreciada nos seus eventuais efeitos para fins de dimensionamento das fundações.

7.3 – Tratando-se de tubulões a ar comprimido, executados até uma dezena de metros abaixo do nível d'água subterrâneo – em solos muito sensíveis à perda de compactação em contato com água livre – alguma variação de comportamentos entre tubulões, ou mesmo entre previsões de projeto e a observação de campo, pode ocorrer na forma de pequenas diferenças de recalque, em função de pormenores da execução de cada tubulão. Na falta de quaisquer dados que permitam apreciar tais aspectos, limitamo-nos à constatação dos recalques observados, cujas magnitudes são consideradas perfeitamente plausíveis para o caso em apreço.

7.4 – Por efeito do descimbramento, a totalidade do carregamento foi transferida às fundações, em prazo curto, provocando recalques com valores predominantemente de dois a cinco centímetros, oscilando entretanto, de 1 a 9 cm. Assim, leiam-se a respeito as recomendações formuladas pela firma responsável pelas fundações.

7.5 – Admitindo o comportamento da estrutura como resultante do comportamento das vigas isostáticas, os recalques, diferenciais ou absolutos, não produzem qualquer efeito na mesma estrutura. Não obstante serem as vigas principais isostáticas, o conjunto do edifício não tem comportamento isostático. Neste caso os recalques diferenciais têm influência, função da sua magnitude.

7.6 – A tolerância dos recalques diferenciais, por parte das estruturas, depende fundamentalmente das mesmas evidenciando sua interação com as fundações. Fosse a estrutura, em tela, de características correntes (tais como edifícios em pórticos com painéis de alvenaria), os valores de recalques diferenciais verificados seriam considerados, segundo praxe internacional, bem inferiores aos admissíveis. Em se tratando de estrutura como a presente, seria necessária exame detalhado do problema, para verificar os efeitos destes mesmos recalques diferenciais, em termos de esforços adicionais. Tais efeitos não foram, entretanto, apreciados.

8. – no que respeita à qualidade do concreto e do aço, os poucos resultados dos corpos de prova que nos chegaram às mãos podem ser considerados como aceitáveis. O mesmo se dirá das soldas. Não temos informações maiores sobre os critérios de controle dos materiais e da construção. Face às observações e ponderações supra, e bem assim, a exame procedido no local da obra – dentro de uma análise realizada em regime de urgência e restrita aos seus aspectos técnicos mais salientes – podemos concluir: a. A estrutura não apresenta a necessária rigidez transversal e, como consequência do insuficiente engastamento dos supostos travamentos, ela é facilmente levada a um comportamento hipostático.

b. Seu equilíbrio é instável, e, como tal, a ruína poderia ser o resultado de causas várias, como uma rutura localizada nos apoios (perfeitamente caracterizada nos apoios 4 e 9), um eventual desaprumo, um modesto recalque diferencial transversal, esforços horizontais provenientes do vento ou empuxos ocasionais, a não simultaneidade

no processo de descimbramento de trechos simétricos, excentricidades das reações de apoio e causas outras.

c. A armadura vertical das vigas não é suficiente para suportar momentos, linearmente distribuídos, provocados pelo pequeno engastamento das vigas transversais num efeito de pórtico.

d. Ainda que existisse uma estabilidade transversal (já constatada como precária), um fator por nós julgado importante é exatamente a deficiência dos apoios, com cargas elevadíssimas aplicadas nos cantos das vigas, provocando concentração de tensões não combatida por adequada armação.

e. A parte remanescente do edifício corre o mesmo risco, se não forem de imediato tomadas providências no sentido de dotá-la da necessária estabilidade transversal, e de eliminar aquela nociva e perigosa concentração de tensões junto aos pilares devido às reações de apoio.

f. Julgamos absolutamente necessário seja pronta e rigorosamente projetado o reforço, na estrutura e nas fundações, para o prosseguimento das obras, levadas em conta as cargas adicionais a serem ainda aplicadas, e as deformações absolutas e diferenciais decorrentes. Estas são pois, Senhor Governador, as nossas conclusões. Esperamos que estes nosso pronunciamento tenha esclarecido o problema em seus aspectos principais. Uma tarefa, para nós, bastante penosa, já que envolve responsabilidades de terceiros, cuja atitude, embora sempre voltada para as soluções corretas não chegou, infelizmente, a atingir os sadios objetivos colimados, face às enormes complexidades estrutural e construtiva reinantes. Honrados com tão elevada distinção e confiança em nós depositadas,

queremos, Senhor Governador, aproveitar do ensejo para levar a V. Exa. As nossas mais respeitadas e cordiais saudações.” (JORNAL ESTADO DE MINAS – 03/03/71 – Caderno 1 – p. 11).

Depois do acidente a cidade continuou a se desenvolver e houve uma reestruturação do espaço da área onde seria o Pavilhão da Gameleira. Em 2001, iniciou-se a construção do Centro de Convenções Expominas (FIG. 4-55), com a capacidade para 45 mil pessoas



**FIG. 4-55 Vista aérea atual** (Fonte: Google Earth)

### 4.3.3. Modelagem Estrutural

Assim como no caso da Igrejinha da Pampulha foi desenvolvido um modelo esquemático em AutoCad para auxiliar a modelagem no SAP2000. Neste caso, não foi possível obter as medidas precisas dos elementos estruturais da edificação, como por exemplo, a largura das vigas da cobertura e a posição dos tirantes da sobreloja. Por isso, alguns elementos tiveram as medidas estimadas com base nos dados e imagens disponíveis para possibilitar a conclusão da análise. As figuras FIG. 4-56, FIG. 4-57 e FIG. 4-58 apresentam o modelo desenvolvido no SAP 2000.

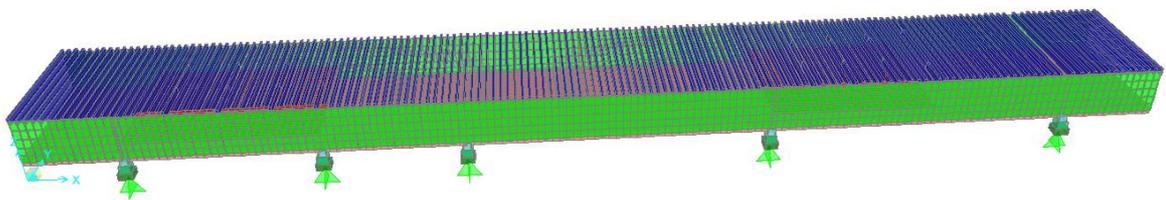


FIG. 4-56 Modelo do Pavilhão da Gameleira desenvolvido no software SAP2000-V14 (Fonte: Autora)

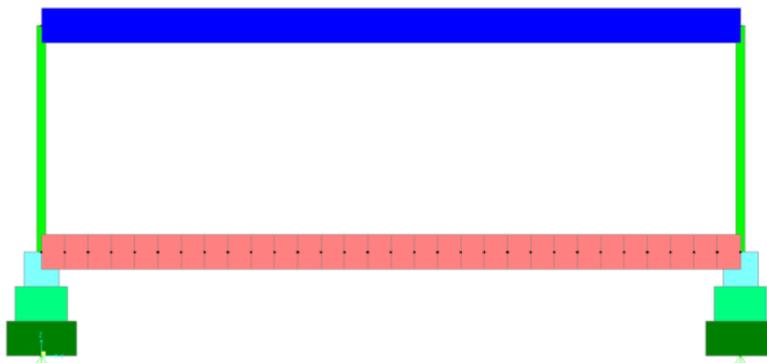


FIG. 4-57 Vista do Modelo SAP a laje da sobreloja (Fonte: Autora)

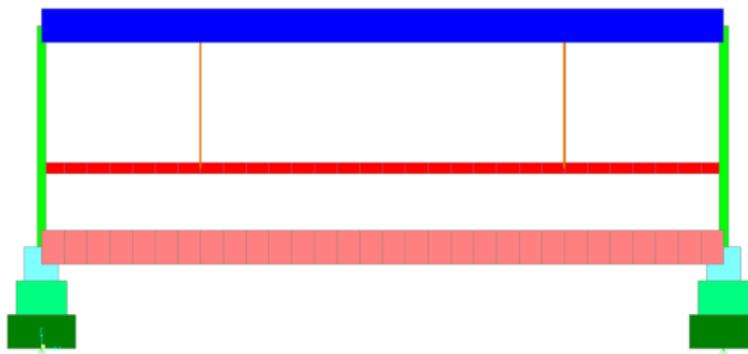


FIG. 4-58 Vista do Modelo SAP com a laje da sobreloja (Fonte: Autora)

Os elementos estruturais foram definidos no SAP2000 segundo a Tabela 4-2

**Tabela 4-2 Definição de Elementos no SAP2000** (Fonte: Autora)

ELEMENTOS ESTRUTURAIS – Pavilhão da Gameleira			
FRAME		SHELL - PLATE	
1	Pilar / seções: trecho 1 = 3x3m; trecho 2 = 2,5x2,5m; trecho 3 = 1,5x1,5m	4	Viga-parede / seção = 9,8x0,4m
2	Vigas cobertura / seção = 1,5x50cm	5	Laje / seção = 1,5x30m
3	Tirantes / Ø = 100mm	6	Sobreloja / seção = 0,5x30,5m

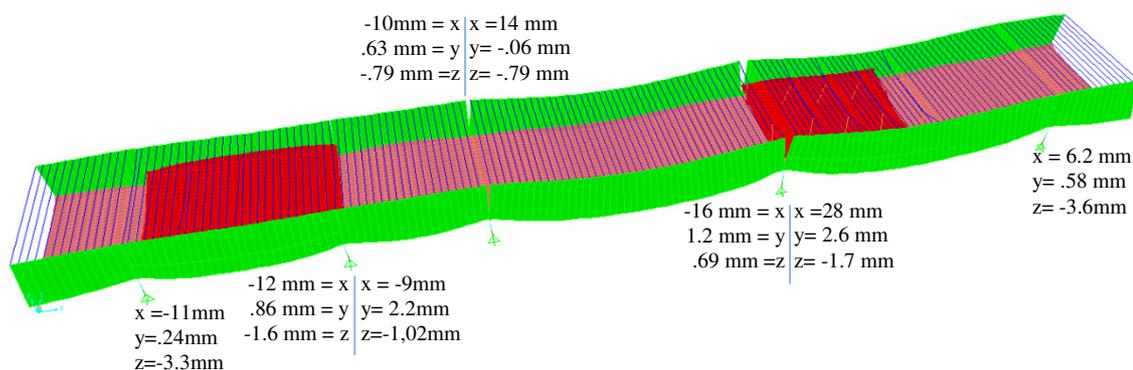
Foram consideradas as seguintes cargas: Peso Próprio (G); Sobrecarga (Q). Sendo considerada uma sobrecarga de 400kg na laje principal e na sobreloja. As cargas foram analisadas apenas para a combinação de serviço.

Não foram encontradas informações detalhadas sobre os materiais utilizadas na execução desta edificação e por isso o material foi definido pela configuração padrão do SAP200 para concreto armado.

#### 4.3.4. Análises

Assim como no caso anterior, com o objetivo de verificar o comportamento do sistema estrutural, foi feita uma simulação no software SAP2000.

Na figura FIG. 4-59 podemos observar os deslocamentos da estrutura para a combinação de serviço. É possível observar que os deslocamentos foram maiores na região com os maiores vãos, que é a região da estrutura que desabou durante a execução da edificação.



**FIG. 4-59 Deformação para combinação de serviço** (Fonte: Autora; Desenvolvida no SAP2000)

A figura FIG. 4-60 mostra o resultados dos esforços normais na edificação do Pavilhão da Gameleira. Assim como no caso da Igreja da Pampulha, a escala de cores usada foi configurada para facilitar a análise dos resultados, ela foi configurada entre 23.000 Kgf à compressão e 19.800 Kgf à tração. Sendo assim, as regiões em amarelo, laranja, vermelho e magenta da figura mostram áreas que estão sendo comprimidas e as regiões em tons de verde, *cian* e azul mostram áreas que estão sendo tracionadas.

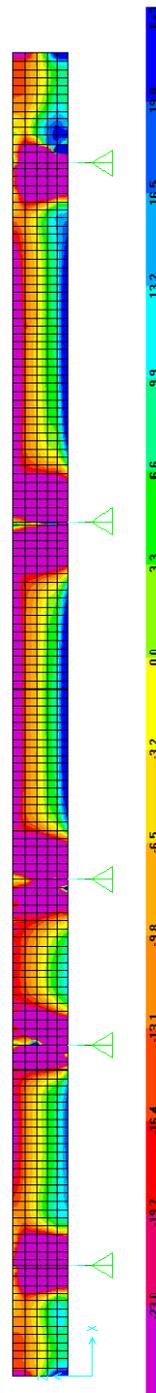
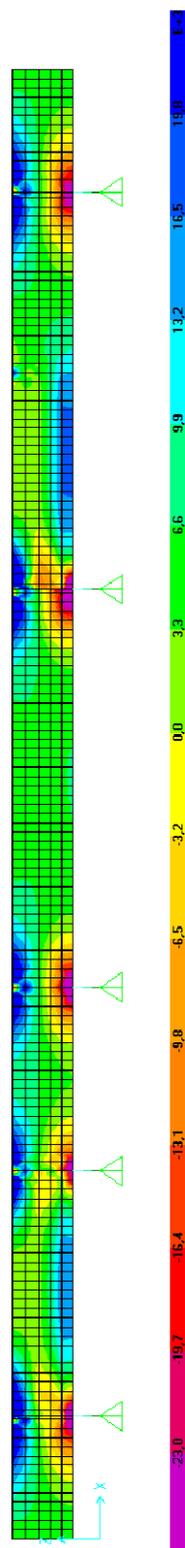


FIG. 4-60 Forças Normais(Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000)

Para obter os resultados de momento fletor foi configurado o mesmo intervalo de valores que foi configurado para a força normal: -23.000kgf e 19800kgf. Na figura FIG. 4-61, podemos observar os resultados para o momento fletor.



**FIG. 4-61 Momento Fletor** (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000)

A figura FIG. 4-62 mostra os valores das reações nos apoios.

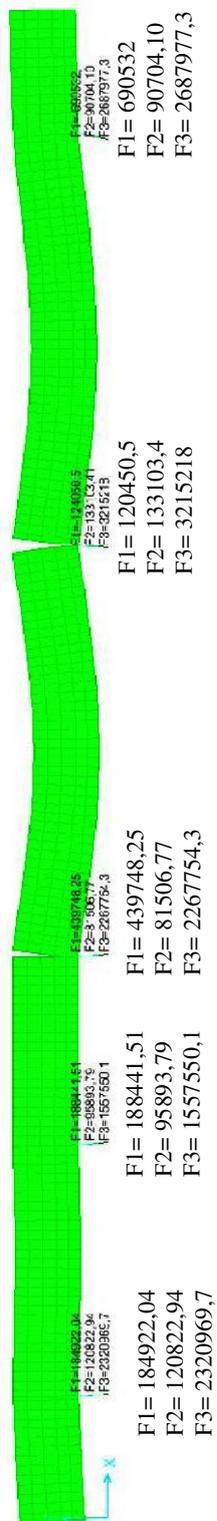


FIG. 4-62 Reações nos apoios em Kgf (Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000-V14)

A simulação permitiu descrever de uma forma gráfica os elementos estruturais do Pavilhão da Gameleira e seu funcionamento. Não houve nenhum conflito entre os dados descritos nas referências bibliográficas e os resultados apresentados pela simulação.

Vários são os fatores apontados na literatura disponível para explicar as causas do desmoronamento do Pavilhão da Gameleira. Observando o desenho de edifício e levando em consideração o que se sabe sobre o uso mais eficiente da tecnologia do concreto armado, coloca-se que também é importante refletir sobre até que ponto o desenho proposto ou a concepção arquitetônica da edificação estava alinhado com a tecnologia adotada para construção. Pois, se por um lado é interessante tentar expandir os limites das formas de utilizar a tecnologia, por outro lado esta obra se torna pouco eficiente no uso de recursos e mais arriscada.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sem dúvida, o legado da obra de Niemeyer é muito significativo e representou um novo olhar sobre a tecnologia do concreto armado e sobre a estética das edificações em concreto armado.

A partir da pesquisa documental realizada em órgãos públicos, em referências bibliográficas e na internet confirma-se que a documentação primária das edificações analisadas é escassa. Pouco foi encontrado em relação aos originais dos projetos das edificações escolhidas para estudo de caso.

Com o estudo de caso foi possível perceber a importância do trabalho dos engenheiros calculistas que trabalharam com Niemeyer por toda sua carreira. Fica claro que os edifícios com estruturas atípicas projetadas por Niemeyer só puderam sair do papel porque ele teve ao seu lado engenheiros muito competentes e que aceitaram assumir o desafio de viabilizar tais obras. Conseqüentemente depreende-se a importância de que na concepção da edificação se assumam a necessidade de contemplar os aspectos relacionados às demandas dos sistemas estruturais que estarão sustentando a edificação a ser executada e que haja uma boa interação entre os profissionais que atuam desenvolvendo projetos arquitetônicos e projetos estruturais.

Com a descrição da estrutura das edificações estudadas, fica claro também como a concepção estrutural e a concepção arquitetônica estão intimamente ligadas nas obras citadas, pois, poucos são os elementos que compõem essas edificações que não têm função estrutural. No caso da Igrejinha há poucos fechamentos e divisões internas e no caso do Pavilhão da Gameleira, o único elemento da edificação que não teria função estrutural seria uma cobertura de fibra de vidro que seria implantada. Tudo isso fortalece a idéia de que não se deve discutir não é se existe ou não integração entre a estrutura e a arquitetura de uma edificação e sim o quanto ela essa integração é eficiente.

A simulação da estrutura deixou clara a complexidade da estrutura da Igrejinha da Pampulha, apesar da sua forma relativamente simples. Foi possível avançar em relação ao conhecimento do sistema estrutural e do método construtivo da obra. As medições e a simulação numérica indicaram a existência de elementos estruturais que, em geral, não são descritos na literatura.

Já em relação ao Pavilhão da Gameleira, a simulação estrutural possibilitou avançar no entendimento do funcionamento do sistema estrutural da edificação uma descrição gráfica de seus elementos e do seu funcionamento. Não foram encontrados conflitos entre as simulações e o que foi descrito na literatura referente à mesma.

É interessante destacar que este caso nos possibilita enxergar que há um custo a se pagar pela ousadia e pelo arrojo das formas dos elementos de uma edificação. Projetos que fogem dos padrões impressionam, mas exigem um conhecimento técnico apurado do funcionamento dos sistemas estruturais e preciosismo na execução dos projetos e seus detalhamentos e na execução da edificação propriamente dita para serem bem sucedidos. Retomando o que foi falado na apresentação do trabalho em relação à justificativa do estudo dessa edificação, onde foi dito que talvez ela possibilitasse identificar pontos a serem observados, podemos dizer que os pontos a serem observados identificados foram o detalhamento de projeto e o acompanhamento da obra.

## **5.1 RECOMENDAÇÕES**

A partir dos resultados obtidos nesta dissertação recomendam-se como temas para novas pesquisas: (1) Estudo de caso de outras obras de Oscar Niemeyer, também com ênfase na estrutura das edificações; (2) Produção de um acervo de projeto de construções históricas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDIS, B. **Edificação: 3000 anos do Projeto, Engenharia e Construção.** Tradução de ALEXANDRE SALVATERRA. Porto Alegre: Bookman, 2009.

AGUIAR, J. E. D. et al. Monitoramento e avaliação estrutural da igreja da Pampulha: como resolver um problema de 50 anos. **45º Congresso Brasileiro do Concreto**, Vitória, 2003.

BORBA, A. L. D. **A reconstrução histórico-sociológica da tragédia da gameleira em BH.** Tese de Doutorado. Campinas: FE-UNICAMP, 2007.

CORRÊA, R. M.; NAVEIRO, R. M. **Importância do ensino da integração dos projetos de arquitetura e estrutura de edifícios:** Fase de lançamento das estruturas. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

CUNHA, A. J. P. D.; SOUZA, V. C. M. D.; LIMA, N. A. **Acidentes estruturais na construção civil.** São Paulo: PINI, v. 1, 1996.

DRUMMOND, Á. P. D. M. **A contundência das soluções estruturais nos concursos nacionais de anteprojetos de arquitetura 1958 - 1969.** Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

DURAND, J. C.; SALVATORI, E. Por uma nova agente de pesquisa em torno de Oscar Niemeyer. **Arquitextos**, São Paulo, 2011.

FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. B. Desafios para integração do processo de projeto na construção de edifícios.

FLORENÇANO, J. C. S.; ABUD, M. J. M. Histórico das Profissões de Engenheiro, Arquiteto e Agrônomo. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, 1999.

GALVANE JR., J. **A engenharia de estruturas na arquitetura de Oscar Niemeyer.** Dissertação de Mestrado. São Paulo: Poli-USP, 2004.

HELENE, P. R. D. L.; LEVY, S. M. Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção, São Paulo, 2002.

INOJOSA, L. **O sistema estrutural na obra de Niemeyer.** Dissertação de Mestrado. Brasília: UnB, 2010.

ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1ª. ed. São Paulo: IBRACON, v. 1, 2011.

- KAEFER, L. F. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo: [s.n.], 1998.
- LAMERS-SCHÜTZE, P. (Ed.). **Teoria da Architectura**. Tradução de Maria do Rosário Boléo. Köln: Taschen, 2006.
- LEITE, L. A. L. D. D. M.; CAPPELLO, M. B. C. Oscar Niemeyer pelo complexo arquitetônico de Pampulha: uma análise à sua recepção nas revistas de arquitetura nacionais e internacionais., Uberlândia, 2009.
- LOPES, J. M.; BOGÉA, M.; REBELLO, Y. **Arquiteruras da Engenharia ou Engenharias da Arquitetura**. São Paulo: Mandarim, 2006.
- MACEDO, D. M. **A matéria da invenção: a criação e construções das obras de Niemeyer em Minas Gerais 1938-1945**. Belo Horizonte: UFMG, 2002.
- MACEDO, D. M. **A matéria da invenção: a criação e construções das obras de Niemeyer em Minas Gerais 1938-1945**. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: UFMG, 2002.
- MAPHUZ, E. D. C. Reflexões sobre a construção da forma pertinete. **Vitruvius**, 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.045/606>>. Acesso em: Setembro 2011.
- MAPHUZ, E. D. C. Cinco razões para olhar a obra de Oscar Niemeyer. **Arquitetura e Urbanismo**, n. 165, Dezembro 2007.
- MELHADO, S. B. **Qualidade do Projeto na Construção de Edifícios: Aplicação ao Caso das Empresas de Incorporação e Construção**. São Paulo: Poli-USP, 1994.
- NIEMEYER, O. **As curvas do Tempo: Memórias**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2000.
- NORONHA, M. A. A. Considerações sobre a durabilidade do concreto. **A construção**.
- OSCAR Niemeyer, A vida é um sopro. Direção: Fabiano Maciel. Produção: Sasha. [S.l.]: Santa Clara Comunicação. 2007.
- OSCAR Niemeyer, O Arquiteto da Invenção. Direção: Thomaz Miguez e Marcelo Machado. Produção: Revista Arquitetura e Construção. [S.l.]: Editora Abril. 2007.
- PONTES, A. P. G. **Diálogos Silenciosos: Arquitetura moderna brasileira e tradição clássica**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: PUC-RIO, 2004.
- PULS, M. Um arquiteto do comunismo. **Cultura Vozes**, v. 94, 2000.
- PULS, M. **Arquitetura e Filosofia**. 2ª. ed. São Paulo: Annablume, 2009.

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura.** São Paulo: Ziguarte, 2006.

Relatório de Gestão da Prefeitura de Belo Horizonte do ano de 1941 e 1942. [S.l.].

SALVADORI, M. **Por que os edifícios ficam de pé?** São Paulo: Martins Fones, 2006.

SILVA, L. S. P. D. **Estrutura do Monumento a Caxias e do Teatro Pedro Calmon em Brasília:** História de projeto, execuções e intervenção e estratégias para manutenção. Dissertação de Mestrado. Brasília: UnB, 2008.

THOMAZ, E. **Tecnologia, Gerenciamento e Qualidade na Construção.** São Paulo: PINI, 2001.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil:** Professores, Cientistas, Técnicos. 1ª. ed. São Paulo: PINI, v. 2, 1992.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil:** Recordes, Realizações, História. 2ª. ed. São Paulo: PINI, v. 1, 1992.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil:** Obras Especiais, Contos Concretos. 1ª. ed. São Paulo: Ibracon, v. 4, 2011.