



*UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL - EDIFICAÇÕES*

*ARQUITETURA E ESTRUTURA  
O USO DO CONCRETO ARMADO EM FORTALEZA*

*Beatriz Helena Nogueira Diógenes  
Fortaleza - Ce  
2001*



# ARQUITETURA E ESTRUTURA O USO DO CONCRETO ARMADO EM FORTALEZA

**Beatriz Helena Nogueira Diógenes**

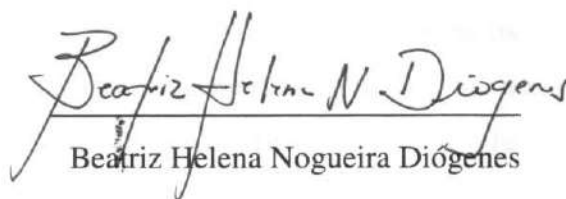
Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Mestrado em Engenharia Civil, com área de concentração em Edificações, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

ORIENTADOR: Prof. José Liberal de Castro

Fortaleza - 2001

Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Edificações, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, em cuja Biblioteca Central encontra-se à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

  
Beatriz Helena Nogueira Diógenes

Dissertação aprovada em: 05/12/2001

  
Prof. José Liberal de Castro, professor titular, L.D.  
Orientador

Prof. Dr. Augusto Carlos de Vasconcelos

Prof. Dr. José Carneiro de Andrade, professor titular

# Agradecimentos

A Deus, primeiramente.

A meus pais, que me permitiram e incentivaram o acesso ao conhecimento.

Ao meu marido Pedro, pelo companheirismo, apoio e incentivo sempre demonstrados.

Às minhas filhas Sarah e Mirna, pela paciência e compreensão das horas ausentes.

Ao Prof. José Liberal de Castro, orientador desta dissertação, mestre e amigo desde os tempos de escola, que sempre me motivou pela disciplina intelectual, transmitindo-me o apego à reflexão e à análise crítica dos fatos, orientando-me, enfim, a "saber ver (e fazer) a arquitetura".

Aos arquitetos Paulo Cardoso, Neudson Braga, Roberto Castelo, Francisco Hissa e Rocha Furtado, pelas conversas sobre arquitetura e estrutura, que muito enriqueceram o conteúdo deste trabalho.

Aos engenheiros estruturais entrevistados Dácio Carvalho, Gerardo Santos, Luiz Carlos Fontenele, Ricardo Brígido, Marcelo e Denise Silveira, Hugo Alcântara Mota, Magnólia e Joaquim Mota, Hilda e Afrodízio Pamplona, Augusto Albuquerque, Sérgio Otoch e Joaquim Caracas pelas valiosas informações fornecidas ao transmitir suas experiências, e pelos documentos e materiais cedidos para a pesquisa.

Aos engenheiros Xisto Medeiros e José Alberto Cabral, pelos relatos de suas experiências em obras, evidenciando a importância do diálogo entre projeto e execução.

Ao prof. Ricardo Bezerra, pela conhecida prestabilidade, ao ajudar na normalização e aperfeiçoamento do texto. Ao prof. Gastão Sales, um agradecimento especial, pela contribuição valiosa nas questões de informática.

Ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFC, principalmente à professora Margarida Júlia Salles Andrade, cujo apoio foi fundamental para a realização do mestrado e elaboração desta dissertação. Ao professor Amaurício Cortez e demais



professores e funcionários do DAU/UFC, pela presteza em colaborar sempre que necessário.

A Sylvia Cavalcante, pela amizade, pelas seguidas leituras críticas do texto, pelas observações e sugestões valiosas.

À estudante de arquitetura Minéia Frazão, e a Rodrigo Veiga, pelo apoio na fase de apresentação gráfica.

E a todos, que, de diversas formas, contribuíram para a consecução deste trabalho.

# Sumário

<i>Lista de Figuras</i>	<i>ix</i>
<i>Lista de Fotos</i>	<i>xii</i>
<i>Abreviaturas</i>	<i>xv</i>
<i>Resumo</i>	<i>xvi</i>
<i>Abstract</i>	<i>xvii</i>

## Capítulo 1

<b>Introdução</b>	<b>01</b>
-------------------	-----------

## Capítulo 2

### **Arquitetura e estrutura**

<b>2.1</b>	<b>Conceito de estrutura</b>	<b>07</b>
<b>2.2</b>	<b>Estrutura e forma - a lógica da concepção</b>	<b>09</b>
<b>2.3</b>	<b>Classificação das estruturas na edificação</b>	<b>10</b>
	2.3.1. Estruturas tradicionais	11
	2.3.2. Estruturas independentes	11
<b>2.4.</b>	<b>Estabilidade e forma - princípios estático-constructivos</b>	<b>12</b>
	2.4.1. Princípio da arquiteve	12
	2.4.2. Princípio da abóbada	13
	2.4.3. Princípio do pórtico	14
<b>2.5.</b>	<b>Tipos de estruturas quanto ao material</b>	<b>14</b>
	2.5.1. Estruturas de madeira	14
	2.5.2. Estruturas metálicas	15

## Capítulo 3

### **Estruturas de concreto armado**

<b>3.1.</b>	<b>Tipos de concreto</b>	<b>19</b>
<b>3.2.</b>	<b>Conceituação e características</b>	<b>20</b>
<b>3.3.</b>	<b>O concreto armado como elemento estrutural</b>	<b>22</b>
<b>3.4.</b>	<b>Concreto armado e expressão formal</b>	<b>25</b>

## Capítulo 4

### O concreto armado na construção civil: origem e aplicações

<b>4.1. Origem e difusão do concreto armado no mundo</b>	30
4.1.1. A Revolução Industrial e o surgimento de novos materiais e novas técnicas na construção civil	31
4.1.2. Primórdios	32
4.1.3. Os precursores do uso do concreto	33
4.1.4. Difusão e aplicação das técnicas do concreto armado	35
<b>4.2. A tecnologia do concreto armado no Brasil</b>	37
4.2.1. Antecedentes	37
4.2.2. Surgimento do concreto no Brasil - as primeiras obras	38
4.2.3. O papel de Emílio Baumgart	41
4.2.4. Difusão do uso do concreto armado depois de 1930 e o surgimento da arquitetura moderna brasileira	44
4.2.5. Avanços da arquitetura e o desenvolvimento do cálculo estrutural	47

## Capítulo 5

### Estruturas de concreto protendido

<b>5.1. Conceituação</b>	56
<b>5.2. Vantagens</b>	57
<b>5.3. Tipos de protensão</b>	59
<b>5.4. Primeiras aplicações no Brasil</b>	65
<b>5.5. Concreto protendido e espaço arquitetônico</b>	69

## Capítulo 6

### Novas técnicas do concreto armado

<b>6.1. Concreto de alta resistência</b>	78
<b>6.2. Concreto de alto desempenho</b>	79
<b>6.3. Pré-fabricação industrial</b>	83
<b>6.4. Concreto de pós-reativos</b>	86
<b>6.5. Concreto auto-adensável</b>	88
<b>6.6. Concreto reforçado com fibras metálicas</b>	88
<b>6.7. Técnicas de recuperação do concreto</b>	89
<b>6.8. Tendências de evolução</b>	92

## Capítulo 7

# O Concreto armado em Fortaleza

<b>7.1. Antecedentes</b>	94
7.1.1. Algumas informações sobre a cidade de Fortaleza	94
7.1.2. As construções anteriormente ao emprego do concreto armado	95
7.1.3. As primeiras aplicações do concreto e a criação da IFOCS	98
7.1.4. Baumgart e as oficinas de Rede de Viação Cearense	100
<b>7.2. O desenvolvimento da técnica do concreto armado na cidade</b>	102
7.2.1. A presença de engenheiros construtores na cidade	102
7.2.2. Primórdios da verticalização da cidade	105
7.2.3. A atuação do engenheiro Luciano Ribeiro Pamplona	109
7.2.4. Outras contribuições	110
<b>7.3. A nova fase do cálculo estrutural</b>	112
7.3.1. A Escola de Engenharia da Universidade Federal do Ceará	112
7.3.2. O Professor engenheiro Hugo Mota e a nova geração de engenheiros estruturais	112
7.3.3. A contribuição do professor engenheiro José Valdir de Medeiros Campelo	116
7.3.4. O processo de verticalização da cidade e as mudanças provocadas pela arquitetura	119
<b>7.4. Situação atual do emprego do concreto armado em Fortaleza</b>	121
7.4.1. A evolução do uso do concreto armado na cidade	122
7.4.2. O emprego de novas técnicas	126
7.4.3. A questão do controle de concreto	133
7.4.4. Formas arquitetônicas e projeto estrutural	134
7.4.5. As relações entre engenheiro estrutural e arquiteto	137
7.4.6. O cálculo estrutural e o uso do computador	138
7.4.7. Sensib. criativa do calculista e respeito a normas estabelecidas	142
7.4.8. Estruturas de concreto e durabilidade da obra	149
7.4.9. Partidos estruturais predominantes na cidade	150

<b>Conclusão</b>	157
------------------	-----

<b>Bibliografia</b>	161
---------------------	-----

<b>Anexo</b>	166
--------------	-----

Roteiro de perguntas aplicadas nas entrevistas com os engenheiros estruturais

## Lista de figuras

Nº	Título	Pag.
2.1	Templo pré-histórico	12
2.2	Templo Porta dos Leões	12
2.3	Parteñon/Grécia	12
2.4	Pantheon/Roma- planta	13
2.5	Pantheon/Roma - corte	13
2.6	Estrutura/igrejas góticas	13
2.7	Igreja Sta Maria dei Fiori/Florença	13
2.8	Esquema estrutural/pórtico	14
3.1	Estádio/Caracas – foto	27
3.2	Estádio Caracas – corte esquemático	27
3.3	Palácio dos esportes/Roma – foto	27
3.4	Palácio dos esportes/Roma – desenho	27
3.5	Teatro Arena/Carolina do Norte – foto	27
3.6	Teatro Arena/Carolina do Norte – desenho	27
3.7	Estação ferroviária Lyon – Satolas	28
3.8	Estação ferroviária Lyon – Satolas	28
3.9	Casa da Cascata/Pennsylvania	28
3.10	Museu Guggenheim/NY	28
3.11	Vila Savoye/França	29
3.12	Capela Ronchamps/França	29
3.13	Fábrica Gatti Wool/Roma	29
3.14	Pavilhão de Portugal/Lisboa	29
4.1	Edifício Martinelli/São Paulo	39
4.2	Edifício Ministério da Educação e Saúde/RJ	46
4.3	Museu de Arte Moderna /RJ	46
4.4	Museu de Arte Moderna /RJ – detalhe/estrutura	46
4.5	Museu de Arte Moderna /RJ - esquema estrutural	46
4.6	MASP - foto	47
4.7	MASP - esquema estrutural	47
4.8	Esquema coluna em V/ projeto Niemeyer	49
4.9	Detalhe coluna em V/ projeto Niemeyer	49
4.10	Igreja Pampulha/Belo Horizonte - croquis	49
4.11	Igreja Pampulha/Belo Horizonte - foto	49
4.12	Congresso/Brasília - foto	50
4.13	Congresso/Brasília - esquema estrutural/planta	50
4.14	Cúpula Congresso - foto	50
4.15	Cúpula Congresso - corte	50
4.16	Catedral/Brasília - foto	51
4.17	Catedral/Brasília – corte esquemático	51

Nº Título	Pag.
Continuação	
4.18 Coluna Palácio Alvorada – armadura pilar	51
4.19 Coluna Palácio Alvorada - foto	51
4.20 Coluna Palácio Alvorada - esquema estrutural	51
4.21 Palácio Alvorada - fachada	51
4.22 MAC / Niterói	52
4.23 Capela do Centro Administrativo de Salvador	54
4.24 MASP	54
5.1 Esquema/protensão/laje	60
5.2 Esquema/protensão/viga	60
5.3 Legenda	60
5.4 Ed. Delamachia/Fortaleza – fachada	62
5.5 Ed. Delamachia/Fortaleza – ancoragem ativa	62
5.6 Ed. Delamachia/Fortaleza – ancoragem passiva	62
5.7 Esquema laje protendida com monocordoalhas	64
5.8 Edifício Atrium III/São Paulo – fachada	70
5.9 Edifício Atrium III/São Paulo - planta/esquema de protensão	70
5.10 Edifício Olympia Park/São Paulo- interior	71
5.11 Edifício Olympia Park/São Paulo – planta	71
5.12 Edifício Olympia Park/São Paulo – planta/esquema estrutural	71
5.13 Edifício World Trade Center/São Paulo	71
5.14 Teatro Arena Villa Lobos/São Paulo - foto	73
5.15 Teatro Arena Villa Lobos/São Paulo – corte esquemático	73
5.16 MUBE/SP – foto	74
5.17 MUBE/SP – esquema/viga protendida	74
5.18 Prédio Instituto José Frota/Fortaleza- foto	74
5.19 Prédio Instituto José Frota/Fortaleza – corte	76
5.20 FAU/USP – rampas	76
5.21 FAU/USP – rampas	76
5.22 FAU/USP – rampas	76
6.1 Arco de la Défense – Paris	82
6.2 Torres Kuala Lumpur – Malásia	82
6.3 Centro Empresarial Nações Unidas/São Paulo	82
6.4 Secretaria Centro Administrativo de Salvador – fachada	85
6.5 Secretaria Centro Administrativo de Salvador – corte esquemático	85
6.6 Secretaria do Centro Administrativo de Salvador – esquema de montagem das peças	85
6.7 Abrigo de ônibus/Rio de Janeiro- foto	85
6.8 Abrigo de ônibus/RJ - esquema de montagem	85
6.9 Hospital Sarah/Fortaleza	86
6.10 Tabela/dosagem de concreto	87

Nº	Título	Pag.
7.1	Estádio Castelão/Fortaleza- vista	114
7.2	Estádio Castelão/Fortaleza – planta	114
7.3	Estádio Castelão/Fortaleza – corte	114
7.4	Esquema estrutural Supermercado Pão de Açúcar Náutico	124
7.5	Esquema estrutural Supermercado Pão de Açúcar Mucuripe	125
7.6	Sebrae/Fortaleza – fachada	127
7.7	Sebrae/Fortaleza – estrutura	127
7.8	Sebrae/Fortaleza – estrutura	128
7.9	Sesc/Fortaleza – fachada	128
7.10	Sesc/Fort – montagem das cordoalhas de protensão	128
7.11	Sesc/Fort – protensão/laje	128
7.12	Fundações em radier protendido	129
7.13	Fundações em radier protendido – detalhe	129
7.14	Fundações em radier protendido – execução da protensão	129
7.15	Galpão Concretópolis/Fortaleza	131
7.16	Montagem/galpão Concretópolis/Fortaleza	131
7.17	Esquema Software TQS	135
7.18	Esquema formas plásticas/lajes nervuradas	149
7.19	Edifício Ancoradouro/Fortaleza - protensão/laje	152
7.20	Edifício Ancoradouro/Fortaleza – vista	152
7.21	Torre Santos Dumont/Fortaleza – estrutura	152
7.22	Torre Santos Dumont/Fortaleza - vista interna	152
7.23	Ed. Palladium/Fortaleza	153

# Lista de fotos

Nº	Título	Pag.
4.1	Casa rua Franklin, Paris	36
4.2	Casa rua Franklin, Paris	36
5.1	Execução protensão/laje	62
5.2	Execução protensão/laje	62
5.3	Execução protensão/marquise	62
5.4	Marquise com laje protendida	62
5.5	IJF/Fortaleza – detalhe	74
6.1	Shopping Avenida/Fortaleza	79
7.1	Palacete Ceará (atual Caixa Econômica Federal)	96
7.2	Banco Frota & Gentil (atual Banco Bandeirantes)	96
7.3	Palace Hotel (atual Associação Comercial do Ceará)	96
7.4	Escola Justiniano de Serpa	96
7.5	Secretaria da Fazenda	97
7.6	Faculdade de Ciência Econômicas/UFC	97
7.7	Reitoria/UFC	97
7.8	Excelsior Hotel	97
7.9	Oficinas /RVC – detalhe estrutura/galpão	101
7.10	Oficinas /RVC – exterior/galpão	101
7.11	Oficinas /RVC – galpão	101
7.12	Oficinas /RVC – galpão/máquinas	101
7.13	Oficinas /RVC – interior/galpão	101
7.14	Oficinas /RVC – interior/galpão	101
7.15	Edifícios de apartamentos - Silvio Jaguaribe Ekman	105
7.16	Edifício Parente	105
7.17	Edifício J. Lopes	106
7.18	Secretaria de Polícia e Segurança Pública	106
7.19	Edifício Correios e Telégrafos	106
7.20	Edifício São Luiz	107
7.21	Edifício Diogo	107
7.22	Palácio do Comércio	107
7.23	Antiga sede IAPC	108
7.24	Antiga sede IAPI	108
7.25	Antiga sede IPASE	108
7.26	Igreja N. Sra. de Fátima	109
7.27	Hospital Cura d'Ars	109
7.28	Prédio ACI	110
7.29	Prédio INSS Praça J. de Alencar	110
7.30	Antiga Escola de Engenharia	110



Nº Título	Pag.
Continuação	
7.31 Tribunal de Contas	110
7.32 Galpão anexo ao Tribunal	110
7.33 Hotel Savannah	110
7.34 Concha Acústica/UFC	111
7.35 Residência Universitária / UFC	113
7.36 Bloco anexo Reitoria	113
7.37 Assembléia Legislativa/plenário	115
7.38 Edifício Solar Volta da Jurema	115
7.39 Mausoléu Castelo Branco	115
7.40 Escola Pe. José Nilson – pavilhão recreio	117
7.41 Escola Pe. José Nilson – bloco salas de aula	117
7.42 Fábrica de refrigerantes Mais Sabor (antiga fábrica de sorvetes Bembom)	118
7.43 Fábrica de refrigerantes Mais Sabor (antiga fábrica de sorvetes Bembom)	118
7.44 Galpão Instituto de Educação – fachada	118
7.45 Galpão Instituto de Educação - vista interna	118
7.46 Residência rua Mons. Catão	119
7.47 Residência rua Prof. Dias da Rocha	119
7.48 Edifícios Av. Beira Mar	120
7.49 Edifícios Av. Beira Mar	120
7.50 Edifícios Av. Beira Mar	120
7.51 Subsolo Supermercado Pão de Açúcar Náutico	123
7.52 Subsolo Supermercado Pão de Açúcar Náutico	123
7.53 Subsolo Supermercado Pão de Açúcar Mucuripe	126
7.54 Subsolo Supermercado Pão de Açúcar Mucuripe	126
7.55 Fábrica T&A - aspecto geral	131
7.56 Galpão/ fábrica T&A	131
7.57 Montagem telha / galpão fábrica T&A	132
7.58 Pista de protensão/fábrica T&A	132
7.59 Fábrica T&A - laje pré-moldada alveolar	132
7.60 Estrutura galpão Porto do Pecém	132
7.61 Galpão Porto do Pecém	132
7.62 Montagem galpão Porto do Pecém	132
7.63 Pilar/Shopping Aldeota	132
7.64 Prédio FIC/rua Oswaldo Cruz	132
7.65 Edifício Arpoador	133
7.66 Prédio Unibanco	144
7.67 Federação Cearense de Futebol	144
7.68 Antigo prédio do BEC, av. Pontes Vieira	144
7.69 Hotel Esplanada – fachada principal	145
7.70 Hotel Esplanada – fachada posterior	145
7.71 Estádio Castelão – vista externa	146
7.72 Estádio Castelão – arquibancadas	146

Nº Título	Pag.
Continuação	
7.73 Estádio Castelão – arquibancadas	146
7.74 Estádio Castelão – detalhe/laje	146
7.75 Edifício de apartamentos com esquema estrutural convencional	147
7.76 Aspecto laje nervurada	147
7.77 Aspecto laje nervurada	147
7.78 Ed. Juan Miró, av. Beira Mar	148
7.79 Estacionamento Hipermercantil - av. Barão de Studart	150
7.80 Edifício com laje protendida maciça	151
7.81 Torre Santos Dumont	152
7.82 Centro Empresarial Etevaldo Nogueira - av. D. Luís	153
7.83 Ed. Manhattan – execução da protensão	154
7.84 Ed. Manhattan – estrutura	154
7.85 Hotel Caesar Park - av. Beira Mar	155
7.86 Mercado Central – vista externa	155
7.87 Mercado Central – vista interna	155
7.88 Igreja N. Sra. da Glória, av. Oliveira Paiva - fachada	156
7.89 Igreja N. Sra. da Glória, av. Oliveira Paiva - interior	156
7.90 Ed. Ocean Palace - av. Beira Mar	156
7.91 Edifício Veleiro - av. Beira Mar	156
7.92 Harmony Center - av. D. Luís	156

#### NOTA

As ilustrações da dissertação aparecem mencionadas no texto como figuras e como fotos. Receberam a denominação de figuras aquelas obtidas de terceiros, isto é, desenhos, tabelas e fotografias retiradas de fontes bibliográficas, tais como livros, revistas, folhetos, etc. e estão numeradas de 2.1 a 7.30. Ganharam o título de fotos as ilustrações fotográficas numeradas de 4.1 a 7.92, todas executadas pela própria autora, exceto algumas, cujos créditos estão devidamente assinalados.

# Abreviaturas

<b>ABCP</b>	Associação Brasileira de Cimento Portland
<b>ACI</b>	American Concrete Institute
<b>ADAPT</b>	Structural Engineering Consultants
<b>CAD</b>	Concreto de Alto Desempenho
<b>CAGECE</b>	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
<b>CAR</b>	Concreto de Alta Resistência
<b>CONMETRO</b>	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade
<b>CPR</b>	Concreto de Pós-Reativos
<b>CSTB</b>	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
<b>DERT</b>	Departamento Estadual de Rodovias e Transportes
<b>DNER</b>	Departamento Nacional de Estrada de Rodagem
<b>DNOCS</b>	Departamento Nacional de Obras contra as Secas
$f_{ck}$	Resistência característica do concreto a compressão
<b>HPC</b>	High Performance Concrete
<b>IBRACON</b>	Instituto Brasileiro de Concreto
<b>IFOCS</b>	Inspeção Federal de Obras contra as Secas
<b>INSS</b>	Instituto Nacional de Seguridade Social
<b>IPT</b>	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
<b>MPa</b>	Mega Pascal
<b>NB</b>	Norma Brasileira
<b>PDDU/FOR</b>	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Fortaleza
<b>RFFSA</b>	Rede Ferroviária Federal S.A
<b>RVC</b>	Rede de Viação Cearense
<b>STUP</b>	Sociedade Técnica para Utilização da Protensão
<b>TQS</b>	Tecnologia e Qualidade de Sistemas Ltda.
<b>UFC</b>	Universidade Federal do Ceará

## Resumo

A estrutura se configura como um componente essencial da obra de arquitetura. Recentemente tem ocorrido uma importante evolução nos projetos estruturais das edificações, proporcionada pelo emprego de novos materiais, aplicação de modernas técnicas, além da utilização da informática, com reflexo na concepção de princípios avançados de projeto.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de uma pesquisa realizada sobre estruturas de concreto armado, em que se abordam as conseqüentes interferências no espaço arquitetônico e se aprecia o emprego do material em obras edificadas na cidade de Fortaleza.

O estudo está dividido em duas partes. A primeira parte trata das estruturas de modo geral, seu significado e seu emprego na edificação, sua importância em relação à arquitetura, bem como a estreita relação entre a solução estrutural e o espaço arquitetônico. Também são feitas considerações sobre o concreto armado como elemento estrutural, e sobre o surgimento e a difusão do material no Brasil e no mundo, tentando-se sempre estabelecer as inter-relações entre estrutura e arquitetura.

A segunda parte, de ordem predominantemente prática, consta de uma análise da utilização do concreto armado em Fortaleza, feita com o objetivo de verificar os modos de emprego do material nas edificações já construídas ou ainda em fase de execução. Essa análise aparece precedida de um breve histórico sobre o início e desenvolvimento das técnicas do concreto armado na cidade.

A pesquisa pôde confirmar que o concreto armado é material dominante nas estruturas das edificações, e foi possível verificar que a cidade de Fortaleza apresenta alto nível tecnológico no que se refere à concepção e execução de estruturas de concreto armado.

# Abstract

The structure represents an essential component of the architectural work. Recently there has been an important evolution in the structural construction projects, made possible by the use of new materials, modern techniques, as well as the use of computer technology, which reflects in the making of advanced project line.

This study aims at presenting the results from a research about reinforced concrete structures, tackling the resulting interference in the architectural space and the material used in buildings works in the city of Fortaleza.

The study is divided in two parts. The first part deals with structures as a whole, their meaning, their use in the construction process, their importance in relationship to architecture, as well as the close connection between the structural solution and the architectural space. An attempt is also made at looking at reinforced concrete as a structural element and its rise and development in Brazil and in the world, always trying to establish the inter-connections between structure and architecture.

The second part, almost strictly pragmatic, consists of an analysis of the use of reinforced concrete in the city of Fortaleza, with the purpose of looking at the methods in which this material is used in finished constructions or still in the execution process. This analysis is preceded by a short history of the development of the concrete in the city.

The research was able to confirm that reinforced concrete is the dominant material used in the structures of buildings. It was also possible to verify that the city of Fortaleza presents a high level of technology regarding the planning and execution of reinforced concrete building structures.

*"A arquitetura e a engenharia são duas coisas inseparáveis. Delas surgem os edifícios; a casa do homem, seus locais de trabalho e lazer". Niemeyer, 1978*

# Capítulo 1

## Introdução

A arte de construir, em todas as épocas, baseia-se nas propriedades e nas características dos materiais empregados. Assim, a arquitetura, desenvolvendo concepções de estrutura e estética, traduz possibilidades que resultam da técnica e dos materiais, operando consoante a história e o meio cultural em que se insere.

Há dois mil anos, o arquiteto romano Marco Vitrúvio Pólion exigia que as edificações atendessem ao trinômio *firmitas, utilitas e venustas* (estabilidade, utilidade e beleza). A condição milenar da *firmitas*, que engloba a estrutura do edifício, constitui aspecto de fundamental importância no processo construtivo, sendo responsável pela materialização do projeto, mesmo porque as técnicas estruturais empregadas têm gerado padrões construtivos que podem, muitas vezes, afetar a própria organização do espaço arquitetônico.

A estrutura é, pois, um conjunto de elementos construtivos responsáveis pela estabilidade do edifício. Presentemente, a estrutura pode ser metálica, de madeira ou de concreto armado.

O concreto armado, objetivo principal deste trabalho, é definido, segundo LEMOS & CORONA (1972: 141) como um "*material misto lítóide-metálico que se origina do processo construtivo baseado na associação do concreto com ferro. Sua realização depende de forma de madeira, no interior das quais é colocado ferro redondo, de várias espessuras, classificado em polegadas e suas frações, com disposição prévia, e depois o concreto, que em um período de tempo determinado estabelecerá a união do conjunto*". Fazem parte de sua composição cimento, água, agregados e aço.

O uso relativamente recente do concreto armado permite que sejam feitas observações claras sobre sua aplicação em edificações contemporâneas. Tais circunstâncias facilitam rastrear o desenvolvimento do emprego do concreto armado na cidade de Fortaleza, permitindo acompanhar as linhas gerais do processo e determinar até que ponto o arquiteto interferiu nas soluções estruturais do projeto ou, em caso inverso, em que medidas o estruturalista interveio nas decisões do projeto arquitetônico.

Deste modo, considera-se importante explicitar as relações mantidas entre o projetista de arquitetura e o de estrutura, as quais, na maioria das vezes, não ficam definidas. Impõe-se também verificar quais os métodos de trabalho abraçados por ambos profissionais na permanente busca de atingir alta qualidade da obra edificada.

Não se pretende elaborar um estudo sobre os aspectos técnicos e numéricos do concreto, mas sim chamar atenção para as inter-relações entre estrutura, forma e material, ou seja, entre a concepção estrutural e a arquitetura.

O objetivo do trabalho é, pois, verificar as modificações ocorridas nas técnicas e nas soluções estruturais em obras de arquitetura na cidade de Fortaleza, procurando-se analisar:

- a evolução das técnicas do concreto armado e seu reflexo no ambiente construído (relacionando os avanços técnicos do material com as modificações formais da arquitetura);
- a relação entre solução estrutural e espaço arquitetônico, bem como a influência do arquiteto no processo;
- a relação dos padrões técnicos de concreto armado utilizados pela arquitetura local, em confronto com os padrões utilizados em projetos nacionais e internacionais;
- comportamento do cálculo estrutural frente às transformações ocorridas na arquitetura de Fortaleza (tipologia programática, tipologia edificatória, etc.);
- possíveis descompassos existentes entre a concepção formal e a solução estrutural.



A elaboração deste trabalho compreendeu duas partes distintas. A primeira consiste no estabelecimento do embasamento teórico que subsidia a parte conseqüente. A segunda parte apresenta a análise do emprego do concreto armado em Fortaleza, e constitui o objetivo principal da dissertação, visando a que sejam formuladas conclusões de ordem analítica e crítica, e não somente de ordem descritiva.

### **Metodologia e estrutura do trabalho**

A primeira parte do trabalho apoiou-se sobretudo na pesquisa bibliográfica e documental, isto é, em publicações nacionais e estrangeiras relevantes para o assunto: livros, periódicos e publicações avulsas, bem como em *sites* da Internet.

O tema estudado - concreto armado, dimensionamento e técnicas de aplicações - não faz parte, de forma intrínseca, dos objetivos profissionais específicos do arquiteto. Por tal razão, achou-se por bem, antes de tudo, proceder a uma investigação mais aprofundada da matéria, de modo a permitir se discorresse com mais propriedade sobre o assunto em questão.

Para tanto, formularam-se pesquisas em autores especializados sobre estruturas, bem como sobre a tecnologia do concreto armado, conceitos e classificações, e sobre o emprego do material na obra arquitetônica, tentando-se em quaisquer instâncias, sempre descobrir referências concernentes às inter-relações entre concepção estrutural e arquitetura.

Com o intuito de obter uma visão atualizada sobre o assunto, utilizaram-se também, como fonte de pesquisa, recentes trabalhos acadêmicos relativos ao emprego do concreto, assim como artigos publicados em periódicos e em *sites* na Internet referentes ao assunto, além de trabalhos apresentados no 42º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado em Fortaleza em Agosto de 2000, particularmente aqueles que deram maior ênfase ao tema.

A pesquisa bibliográfica comprovou haver íntima relação entre arquitetura e concepção estrutural, assunto que constitui o objetivo fundamental deste trabalho. Em consequência, vários exemplos de obras arquitetônicas foram destacadas no material bibliográfico estudado, com o intuito de demonstrar até que ponto as soluções estruturais influenciaram o espaço arquitetônico ou foram por ele influenciados.

A segunda parte do trabalho, relativa ao uso do concreto armado em Fortaleza, foi fundamentada sobretudo em pesquisas de campo que constaram de visitas documentadas e levantamentos de obras, além de entrevistas realizadas com engenheiros estruturais, construtores e arquitetos.

Foram feitas análises de várias obras arquitetônicas de porte, executadas (ou em execução) na cidade de Fortaleza, consideradas significativas para o objetivo de trabalho, nelas averiguando a incidência do emprego do concreto armado.

As entrevistas procuraram abordar a visão peculiar de diferentes profissionais sobre a questão em estudo, sobre suas respectivas metodologias de trabalho, bem como as relações entre forma e estrutura.

As perguntas (em anexo) que orientaram as entrevistas procuram conhecer, além do exposto acima, a opinião de vários profissionais sobre o emprego e a evolução da técnica do concreto armado na cidade, o relacionamento entre o projetista de arquitetura e o de estruturas, a opinião sobre a interferência da informática no processo e, finalmente, sobre as tendências de evolução da técnica.

O resultado das entrevistas serviu de subsídio para complementar a análise geral sobre o emprego das estruturas de concreto na cidade, apreciando suas peculiaridades, sobretudo nas edificações contemporâneas.

Por razões óbvias, as respostas dos profissionais entrevistados não foram transcritas na íntegra, mas muitas opiniões aparecem destacadas e inseridas no texto conforme o assunto abordado, como pode ser constatado no item 7.3 e itens subsequentes.

Nessa fase do trabalho, buscando conhecer o início da utilização da técnica do concreto armado na cidade de Fortaleza, recorreu-se ainda a material bibliográfico relativo à história da arquitetura cearense, sobretudo obras do professor arquiteto José Liberal de Castro, estudioso das origens e do desenvolvimento da arquitetura local.

Coletado o material pertinente e realizada a análise dos dados, a dissertação foi estruturada em sete capítulos, cujos conteúdos são apresentados a seguir:

O primeiro capítulo é dedicado à introdução. O segundo capítulo tem o objetivo de estabelecer considerações gerais sobre o conceito de estrutura, em seu sentido amplo e aplicado à edificação, ressaltando-se sua importância na obra construída. Nesse capítulo, também se relacionam os tipos de sistemas estruturais básicos, cuja abrangência cobre todas as possibilidades estruturais.

O terceiro capítulo conceitua e define o concreto armado como o tipo de estrutura mais usual em nossas edificações. Também tenta chamar a atenção para as inter-relações entre estrutura, forma e material, ressaltando o emprego do concreto armado nas obras de arquitetura e sua relação com o espaço arquitetônico.

O quarto capítulo faz um breve histórico do surgimento do concreto armado no mundo, descrevendo suas primeiras aplicações e sua posterior difusão. Em seguida, examina como o material surgiu e se desenvolveu no Brasil, além de sua estreita relação com a eclosão da arquitetura moderna brasileira, nas décadas de 40 e 50. Fazem-se ainda referências às obras de Oscar Niemeyer e à forma como o arquiteto empregou o material. Analisa também o papel dos calculistas no processo, sobretudo a contribuição de Joaquim Cardozo no desenvolvimento do cálculo estrutural do país, particularmente no que se reporta à liberdade formal da edificação.

O quinto capítulo considera a importância e a crescente utilização do concreto protendido no Brasil e no mundo. As técnicas de uso do concreto protendido são abordadas de maneira didática, considerando conceitos, classificação, emprego, etc. Tenta, em seguida, estabelecer uma correlação entre a técnica da protensão e suas consequências no espaço arquitetônico.

O sexto capítulo ressalta o arsenal de novas técnicas e procedimentos relacionados com o emprego do concreto armado, que visam a otimizar cada vez mais sua utilização, relacionando os avanços técnicos do material com modificações formais na arquitetura.

O capítulo sétimo consiste finalmente no objetivo principal do trabalho, centrado na utilização do concreto armado em Fortaleza, abordando aspectos especiais, desde os primórdios de seu emprego até às últimas realizações, ou seja, focalizando a evolução da técnica e seu reflexo no ambiente construído. Como já foi mencionado, para a elaboração desse capítulo procedeu-se uma ampla pesquisa de campo, através de visitas a obras, estudos de projetos e documentação fotográfica, bem como se realizaram entrevistas com mais de uma dezena de profissionais da área, tentando destacar todos os modos de uso do material.

Como conclusão do trabalho, apresentam-se os resultados obtidos ao longo da pesquisa, como a estreita relação que existe entre a concepção estrutural a arquitetura, ao mesmo tempo que destaca o papel do arquiteto no processo. Oferece ainda uma visão global da situação do emprego do concreto armado na cidade de Fortaleza, podendo-se antecipar, resumidamente, que o atual estágio desse emprego se acha bastante desenvolvido em relação às demais cidades do país. Observou-se também existir grande entrosamento entre engenheiros estruturais e arquitetos, particularmente no que se refere a projetos de obras de porte.

## Capítulo 2

# Arquitetura e estrutura

*"L'ossature est à l'edifice ce que le squelette est à l'animal. De même que le squelette de l'animal rythmé, équilibré, symétrique, contient et supporte les organes les plus divers et les plus diversement placés, de même la charpente de l'edifice doit être composée, rythmée, équilibrée, symétrique même. Elle doit pouvoir contenir les organes, les organismes le plus divers et les plus diversement placés, exigés par la fondation et la destination". (Auguste PERRET, 1949).*

*"A obra arquitetônica é, em essência, síntese orgânica e racional de um complexo de elementos estruturais que integram o esqueleto e asseguram sua estabilidade, em perfeita analogia com o que ocorre na natureza com todos os membros do mundo animal e vegetal. Cada elemento desempenha uma função estática definida". (PETRIGNANI, 1970:03).*

**E**ste capítulo trata do conceito de estrutura, em seu sentido amplo e na edificação, ressaltando a importância da relação entre estabilidade e forma, ou seja, entre a solução estrutural e a arquitetura. Em seguida, as estruturas são classificadas quanto ao tipo e quanto ao material, abordando-se ainda os princípios estático-constitutivos segundo a classificação de Petrigani.

### 2.1 Conceito de estrutura

Antes de iniciarmos o estudo das estruturas de concreto armado na obra arquitetônica, julgamos ser útil estabelecer considerações gerais sobre estruturas, desde sua origem, seu significado e seu emprego na edificação.

A palavra **estrutura** origina-se do latim *structura*:

*structura, -ae, subs. f. I - sentido próprio: 1) Construção, estrutura (Cés. B. Civ. 2,9,2). II Sent. figurado: 2) Arranjo das palavras (na frase para produzir ritmo) (Cíc. Br. 33)*

*struo, is, ere, struxi, structum, v. tr. I - Sent. Próprio (raro): 1) Dispor em pilhas ou camadas, empilhar, levantar (Ov. Met. 1,153); (Verg. En. 11,204) (Verg. En 5,54). Daí: 2) Erigir, construir, edificar (sent. próprio e*

*figurado*) (Cat. Agr. 38,1); (Cíc. Or. 232) II - Sent. *Figurado*: 3) *Tramar*; *preparar, maquinar* (Cíc. Clu. 190); (Tác. Na. 4,10).

*structor, -oris, sub. m.* I - Sent. *Próprio*: I *Construtor, arquiteto, autor* (Cíc. At. 14,3,1). II - Sent. *Figurado*: 2) *O que prepara um banquete, o que serve a comida e trincha* (Marc. 10,48,15) (Dicionário Escolar Latino-Português, 1956: 915).

Na língua portuguesa, o vocábulo estrutura conhece significados iguais aos latinos, e significados novos, formados por derivação, por extensão ou analogia. No campo da edificação, pode deparar com definições tais como:

Para TACLA: (1984:200)

*"A ordem, disposição ou maneira como as partes de uma construção são arranjadas entre si. A parte de um corpo ou o todo que corresponde pela respectiva solidez e resistências às solicitações".*

De acordo com CHING: (1999:100)

*"Estrutura é o conjunto estável de elementos projetados e construídos de modo a atuarem como um todo no suporte e na transmissão de cargas aplicadas ao solo, sem que as tensões admissíveis para cada peça sejam excedidas".*

Segundo LEMOS & CORONA, (1972:207)

*"A estrutura, sob o ponto de vista da engenharia civil, é um conjunto de elementos construtivos responsáveis pela estabilidade do edifício".*

Para PETRIGNANI, (1970:73)

*"Entende-se por estrutura de um edifício aqueles elementos que desempenham, no organismo arquitetônico, uma função estática principal".*

Para SIEGEL, (1975:07)

*"A palavra estrutura sugere a ordem imposta a tudo que é construído".*

Segundo o professor Erico WEIDLE, (1992:83)

*"Estrutura, em arquitetura, é o sistema material da edificação capaz de transmitir cargas e absorver esforços, de modo a garantir a estabilidade, a segurança e a integridade da construção, cooperando na sua organização espacial e na sua expressão, mediante o adequado emprego dos materiais, das técnicas, dos processos e dos recursos econômicos".*

Para o Professor Yopanan REBELLO, (2000:21)

*"No caso de edificações, a estrutura é um conjunto de elementos - lajes, vigas e pilares - que se inter-relacionam - laje apoiando em viga, viga apoiando em pilar - para desempenhar uma função: criar um espaço em que as pessoas exercerão diversas atividades".*

Para SILVA & SOUTO, (1997: 17)

*"Quando falamos em de estrutura, em Engenharia Civil, por definição, designamos as partes que suportam as cargas de uma construção e as transmitem às fundações".*

A par de todas essas definições, convém salientar que a estrutura não é responsável apenas pela estabilidade do edifício, mas também pelo seu desempenho, no sentido de evitar vibrações, deformações excessivas e fissurações exageradas. Não basta que a estrutura resista a uma carga duas vezes maior que a exigida, é também necessário que ela funcione satisfatoriamente para as cargas máximas previstas, sem se deteriorar dentro de um prazo pré-estabelecido.

## **2.2 Estrutura e forma - a lógica da concepção**

*"There can be no architecture without technology to translate architectural concepts into physical reality". (SIEGEL, 1975:07)*

Conceber uma obra arquitetônica significa necessariamente conceber uma estrutura. Toda construção pressupõe uma estrutura, um material, uma técnica que a caracterizam. Assim, estrutura e arquitetura nascem juntas no momento do projeto. Estruturas e formas se tornam um fato unitário. São arquitetura. Embora óbvio, trata-se de um aspecto nem sempre consciente em quem projeta, como se a estrutura pudesse surgir *a posteriori* ou, em certos momentos, ficar relegada a um segundo plano.

A estrutura não se constitui, pois, um resultado acidental, mas quando concebida juntamente com a arquitetura, numa ordem natural, adquire significativo poder de expressão.

O estudo de um problema estrutural relacionado à execução de um edifício apresenta diversas soluções, caracterizadas por critérios estáticos também bastante diferentes, que podem influir consideravelmente na economia geral, no resultado construtivo e na



expressão formal da obra. É evidente que na escolha da solução é preciso ter em conta todas as exigências de caráter distributivo, econômico, estrutural e expressivo que nela interferem.

A análise que será feita a seguir terá, pois, duplo interesse: o da estabilidade do edifício e o de sua expressão, posto ser conhecida a relação íntima que existe entre as formas estáticas e estéticas.<sup>1</sup>

Ao se examinar o processo evolutivo das formas arquitetônicas, desde as realizações dos templos egípcios até as basílicas romanas, dos esqueletos de pedra da arquitetura gótica, onde o mais alto virtuosismo construtivo se associa à mística expressão que a caracteriza, até as modernas estruturas de aço e concreto armado, em todos os casos se pode comprovar a completa correlação entre sistema estrutural e expressão formal.

Tentativas sempre foram feitas no sentido de descobrir novos métodos e estruturas, a fim de permitir aliviar o empuxo das cobertas, reduzir as seções resistentes, aproveitar a resistência dos materiais, com o objetivo de buscar sempre a perfeição.

Observa-se uma contínua evolução dos processos construtivos e princípios estruturais, através dos quais se estabelece a investigação constante de novas soluções do incessante problema de separar espaços internos e externos.

### **2.3 Classificação das estruturas na edificação**

Se examinarmos a função estática das estruturas nas edificações, devemos distinguir, de início:

- as estruturas de coberta: tetos, abóbadas, cúpulas, etc.;
- as estruturas portantes, que têm a função de apoio daquelas.

---

<sup>1</sup> A estrutura, sob o ponto de vista da arquitetura, é sempre voltada para produzir abrigo. Assim, estruturas como pontes, viadutos, monumentos, etc, não serão considerados nesta pesquisa, embora a tecnologia nelas utilizadas tenha sido mencionada para análise das edificações.



No entanto, nem sempre é possível considerar os elementos de cobertas separadamente dos elementos sustentantes, como ocorre, por exemplo, nas estruturas porticadas, nas quais as partes estão tão intimamente ligadas entre si, formando um todo indivisível.

As estruturas do vão podem ainda classificar-se em duas grandes categorias, segundo o modo de execução:

- estruturas tradicionais;
- estruturas independentes.

### **2.3.1 Estruturas tradicionais**

As estruturas realizadas segundo o modo tradicional são caracterizadas por paredes (ou pilares) - geralmente de alvenaria - que exercem duplo papel de elementos portantes e divisores de espaço. Formam uma malha fechada que envolve os ambientes internos, isoladas ou agrupadas segundo suas proporções. A estas paredes se confia a função estática principal de suportar o peso próprio e o das cobertas. Nas paredes apenas se abrem os vãos das portas e janelas indispensáveis para o funcionamento da edificação. Estes vãos constituem zonas de menor resistência, que devem ajustar-se ao lançamento da estrutura. Quanto mais uniforme é a carga transmitida à base pelas paredes portantes, melhor será o comportamento estático da estrutura.

### **2.3.2 Estruturas independentes**

Nas estruturas independentes, característica da arquitetura moderna, ambas as funções, estáticas e delimitadoras do espaço aparecem separadas. Esta separação de funções exige a montagem de um "esqueleto" de sustentação, projetado com adequada resistência, ao qual se conecta um complexo de outros elementos com funções diversas: de vedamento, de delimitação dos espaços e de proteção dos ambientes internos. Essa característica é fundamental para as estruturas de elementos elásticos, resolvidas com madeira, aço e concreto armado. Uma das principais vantagens deste tipo de estrutura recai na total flexibilidade de tratamento dos espaços internos.

## 2.4 Estabilidade e forma - princípios estático-construtivos

Segundo PETRIGNANI (1970), os princípios estático-construtivos dos quais pode derivar a forma expressiva das construções em geral são:

- princípio da arquitrave, apoiada sobre colunas;
- princípio da abóbada;
- princípio do pórtico.

### 2.4.1 Princípio da arquitrave

O princípio da arquitrave caracteriza a mais antiga forma de construção e, pode-se dizer, também o mais intuitivo, visto que nasce do simples apoio de um elemento horizontal disposto sobre elementos verticais. Remonta aos tempos da arquitetura pré-histórica. Foi o princípio construtivo sobre o qual a arquitetura egípcia e a grega, as basílicas romanas e cristãs fundaram sua concepção estrutural. Por serem geralmente executadas com pedra, ficaram conhecidas como estruturas trilíticas.

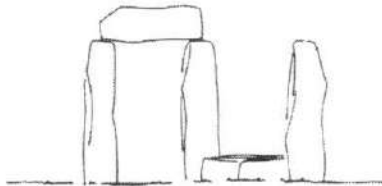


Fig. 2.1 - Templo pré-histórico  
(Fonte: SIEGEL)

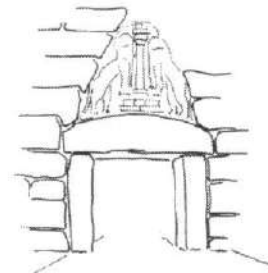


Fig 2.2 - Templo Porta dos Leões, Grécia  
(Fonte SIEGEL)

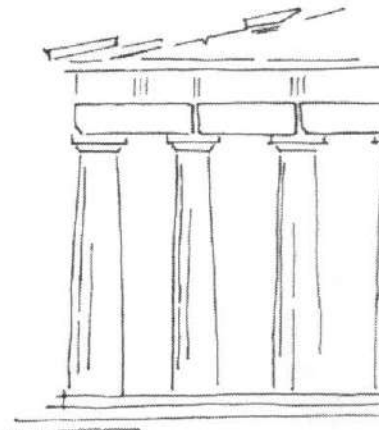


Fig. 2.3 - Partenon / Grécia  
(Fonte SIEGEL)

### 2.4.2 Princípio da abóbada

O princípio da abóbada, já conhecido de civilizações mais antigas, porém utilizado pela primeira vez em larga escala e com grandes vãos pela arquitetura romana, determinou a mais orgânica fusão do elemento portante com o da coberta. Inspirou um conceito arquitetônico completamente novo, no qual, a solução construtiva, ao se incorporar à conformação plástica dos ambientes harmoniosamente reunidos, resultou em efeitos cenográficos, que determinaram o desenvolvimento da citada arquitetura.

O conceito estático que inspirou o princípio da abóbada é bastante simples, pois, ao empuxo das grandes abóbadas, os construtores romanos opuseram a resistência passiva de massas de apoio adequadas, como se observa na construção do Pantheon de Roma, no ano 27 a.C.

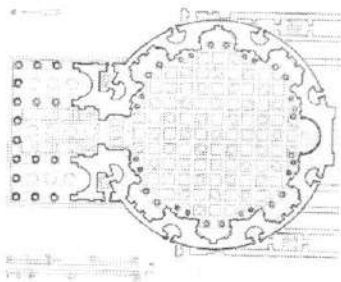


Fig. 2.4 - Pantheon - Roma - planta  
(Fonte: Revista AU)

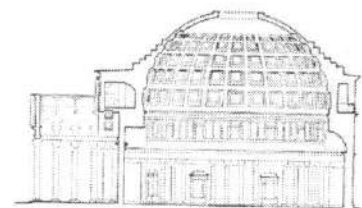


Fig 2.5 - Pantheon - Roma - corte  
(Fonte: Revista AU)

Uma evolução no sentido de reduzir as espessuras das grossas paredes portantes se observa nas igrejas bizantinas e românicas, construídas no século XI, e mais tarde, no próprio sistema utilizado com os vazios nas ogivas das catedrais góticas. Nestas, um jogo de empuxos que permitiu realizar uma estrutura sutil e esbelta, capaz de expressar todo aquele sentido de virtuosismo que se observa em construções da Idade Média.

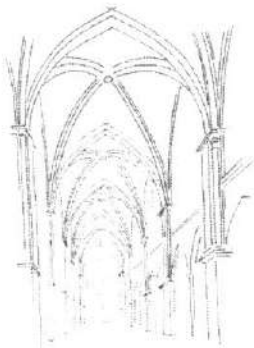


Fig. 2.6 – Estrutura Igrejas Góticas.



Fig. 2.7 - Igreja Sta. Maria dei Fiori / Florença - foto (Fonte: Revista AU)

*Projetada por Brunelleschi, em 1420, a cúpula vence o vão de 52 m*

### 2.4.3 Princípio do pórtico

O princípio do pórtico, que caracteriza a técnica construtiva moderna, identifica-se com o princípio elástico da continuidade, que pode ser considerado como de maior alcance. O princípio do pórtico, do qual derivam as estruturas independentes, nasce da observação de fenômenos estáticos e mecânicos de caráter universal, inerentes às leis naturais. Com efeito, as aplicações mais recentes do princípio do pórtico tendem a identificar-se com aquelas estruturas do tipo fibro-celular típicas do mundo vegetal nas quais a disposição dos membros se orienta segundo as linhas de fluxo das tensões internas e realiza a máxima economia de material, base de todos os fatos criadores na natureza.

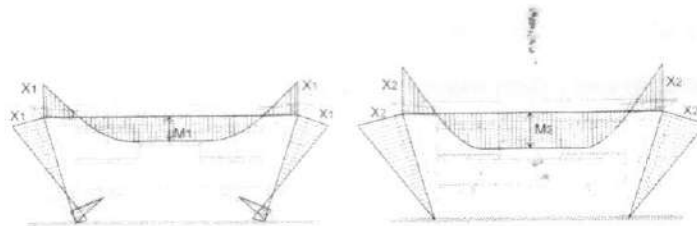


Fig. 2.8 - Esquema estrutural / pórtico (Fonte: Revista AU)

## 2.5 Tipos de estruturas quanto ao material

Considerando-se a técnica atual, a estrutura de uma edificação pode ser metálica, de madeira ou de concreto armado. Todos esses materiais possuem em comum certas propriedades essenciais que permitem resistir a cargas. As estruturas de concreto armado, por figurarem como objeto principal desta pesquisa, serão apreciadas detalhadamente na continuação deste trabalho, a partir do capítulo 3.

### 2.5.1 Estruturas de madeira

A madeira é um material de construção empregado pelo homem desde as épocas pré-históricas. Até o século XIX, as mais importantes obras de engenharia eram erguidas com pedra e com madeira, combinando-se freqüentemente os dois materiais.

Na arquitetura popular, e mesmo em obras eruditas, durante longo período, a madeira foi utilizada como material estrutural, principalmente nas cobertas. Entretanto, embora o princípio da tesoura já fosse conhecido pelos romanos, somente na primeira metade do sec. XX se estabeleceram teorias e técnicas modernas, como os diagramas de esforços, aplicadas às estruturas de madeira. Após a Segunda Guerra Mundial, as pesquisas tecnológicas tiveram grande incremento e atualmente dispõe-se de métodos precisos para projetos das mais variadas formas estruturais.

Não obstante sua larga utilização na construção civil como estrutura, a madeira exige cuidados sérios para sua obtenção e aplicação e apresenta algumas desvantagens, que a fizeram ser aos poucos substituída por estruturas de concreto ou aço. Além das limitações estáticas, não podendo vencer grandes vãos, e em face do alto custo, a madeira oferece pouca resistência ao fogo e apresenta restrições quanto à durabilidade.

### **2.5.2 Estruturas metálicas**

As primeiras aplicações do ferro como elemento estrutural nas construções civis remontam à segunda metade do século XIX, quando foi interrompida uma tradição milenar baseada no emprego da pedra e da madeira como recurso estático para sustentar os edifícios.

A difusão do ferro no campo da construção civil foi muito rápida, conseqüência do progresso da técnica, da busca de novas e audaciosas realizações, da evolução do ambiente social e dos avanços da indústria siderúrgica.

Em 1850 já se fabricavam vigas metálicas de tipo retangular, obtidas da união de perfis laminados. Do ponto de vista arquitetônico, pode-se afirmar que a predominância das construções de estrutura metálica deu-se no período entre a metade dos oitocentos e a Primeira Guerra Mundial.

Foram realizadas inúmeras obras significativas no período, dentre as quais, citam-se o Palácio de Cristal, construído em Londres, em 1851, por Joseph Paxton, para a Primeira Exposição Universal, a Biblioteca de Sta Geneveva (1843-1851) e a Biblioteca Nacional (1858-1868), construídas em Paris, projeto de H. Labrouste (1801-1874). O

depósito de livros desta última seria a primeira construção pública a usar o sistema esqueleto de viga, arco e pilares de ferro.

No entanto, as primeiras obras com armação em ferro efetivamente erguidas segundo os princípios construtivos modernos foram os edifícios de escritório construídos nos Estados Unidos entre 1880 e 1890, particularmente aqueles projetados pela chamada Escola de Chicago. A estrutura metálica passou a ser usada em substituição às grossas paredes portantes de alvenaria, com o intuito de ganhar espaço de uso comercial no pavimento térreo e também como medida de prevenção contra incêndios.

O surgimento da estrutura metálica e do elevador abriu caminho para a verticalização dos edifícios. O primeiro arranha-céu construído em Chicago, provido de um esqueleto completo em metal foi o edifício Home Insurance Company, projeto de William Le Baron Jenney, engenheiro formado na *École Polytechnique de Paris*.

*"Os edifícios altos de Chicago são possibilitados por algumas invenções técnicas. A estrutura em esqueleto de aço aperfeiçoada sobretudo por Le Baron Jenney permite aumentar a altura sem receio de sobrecarregar excessivamente os pilares dos andares de baixo e abrir nas paredes vidraças quase contínuas". (BENÉVOLO, 1989: 234)*

Configurações simbólicas também foram erguidas utilizando estruturas metálicas, como a famosa torre de 300m de altura, construída por Gustave Eiffel para a Exposição Universal de Paris, em 1889, que obteve especial importância pelo papel assumido na paisagem da capital francesa. Em outras obras, como na Galerie des Machines, em Paris, e nas pontes Elizabeth, em Budapeste, e a de Brooklin, em Nova York, os construtores também souberam intuir o significado do novo sistema construtivo, conferindo ao aço toda a sua expressão plástica, fato que não se observou nos períodos seguintes, sobretudo na construção dos grandes arranha-céus americanos, cujas estruturas de aço ficavam escondidas entre paredes de alvenaria.

Apenas recentemente vem se observando uma evolução no sentido de utilizar o aço como parte da expressão formal dos edifícios. As estruturas atuais, ao contrário daquelas dos oitocentos, são estruturas reticulares, que manifestam clara consistência. As novas formas de expressão ficaram facilitadas pela substituição dos rebites, como

meio de união dos elementos da estrutura pela soldadura elétrica, permitindo a junção das partes de modo mais simples e direto.

Apesar das vantagens apresentadas pelo aço, como rapidez de execução, leveza, grande flexibilidade de montagem, possibilidade de vencer grandes vãos, seu emprego no Brasil ainda é restrito. A produção ainda limitada decorre sobretudo do elevado custo de construção, da falta de mão de obra especializada e de maior conhecimento tecnológico do material, aliada à maior vulnerabilidade aos problemas de corrosão.

## Capítulo 3

# Estruturas de concreto armado

**Concretus, -a, -um.** Adj.: compacto, espesso, concreto, material. (Dicionário Escolar Latino-Português, 1956: 210)

A palavra concreto provém do latim *concretum*. Originalmente usada como adjetivo, por extensão, tornou-se substantivo, designando certo tipo de material de construção utilizado pelos romanos desde os primeiros séculos da era cristã.

O *concretum* romano era formado de pedra e cascalho, com uma argamassa cujo principal ingrediente era a pozzolana, e permitiu inovações estruturais, tornando possível alguns dos mais belos exemplos da arquitetura romana.

A pozzolana<sup>2</sup>, uma espécie de lava vulcânica encontrada nos arredores de Roma e de Nápoles, produzia uma argamassa de grande resistência. "*Pozzolana is a much superior substitute for sand, and when mixed with lime and wetted, produces mortar of great strenght and tenacity*". (FLETCHER, 1961:168)

O concreto romano consistia em camadas alternadas de argamassa e pedra britada firmemente comprimidas, e não como é usado hoje, como uma mistura confeccionada antes de ser aplicada. As proporções variavam conforme a natureza e a destinação do edifício. Atualmente, o concreto, segundo a definição de TACLA (1984: 34), é o

*"material de construção resultante da mistura convenientemente dosada de cimento, água e materiais granulosos inertes, como areia e pedregulho ou pedra britada, que, ainda em estado plástico, é lançado em forma, onde, com o tempo, se solidifica e adquire apreciável resistência."*

<sup>2</sup> O nome pozzolana é devido à cidade de Pozzuoli, próximo ao Vesúvio, onde as cinzas vulcânicas foram encontradas pela primeira vez.



Em Portugal, usa-se o termo betão, originário do francês *béton*.

Nos itens a seguir são mencionados aspectos como conceito, classificação, características e propriedades do material, considerando ainda a relação do emprego do material com a expressão formal da obra de arquitetura.

### 3.1 Tipos de concreto

Antes de estudarmos as estruturas de concreto armado propriamente ditas, tendo em vista as diferentes propriedades do material, e a fim de facilitar a exposição do texto, faz-se necessário, estabelecer uma breve descrição dos principais tipos de concreto:

- Concreto simples - chama-se bloco de concreto simples (ou concreto magro, em casos de baixa resistência) àquele em que não se usa outro material que não o concreto. O concreto simples pode ser usado em peças sujeitas tão somente à compressão. E, sabendo-se que a flexão é um esforço que se compõe de compressão e tração, conclui-se que o concreto simples também não é recomendado para flexão. Entretanto, desde quando apareceram aglomerantes hidráulicos, o concreto simples vem sendo usado em pilares e blocos de sustentação, em vigas de pequenos vãos e abóbadas com predomínio de compressão.
- Concreto leve - é um concreto feito com agregados leves, com peso específico aproximadamente dois terços do peso específico do concreto armado convencional.
- Concreto celular - é o concreto leve cuja massa tem uma microtextura alveolar resultante de uma infinidade de bolhas de ar ou de gás geradas por agentes espumantes ou agentes geradores de gás, adicionados à massa ainda fresca que, em razão do desprendimento das bolhas se expande e, nesse estado, é submetido à cura e endurecimento ao ar ou em autoclaves. O concreto celular tem sido usado em edificações como vedação, em substituição à alvenaria convencional.
- Concreto magro - concreto com baixo teor de aglomerante, que é usado especialmente como material de enchimento ou de preparação de pisos de carga leve.
- Concreto pré-fabricado - peça ou produto de concreto moldado e curado em um local diverso daquele onde será instalado em uma estrutura.

- Concreto armado - é o material resultante da associação de um material resistente à compressão, o concreto propriamente dito, com um material resistente à tração, o aço. Segundo a norma NBR 6118/2000, o concreto dito armado, depende da aderência entre o concreto e a armadura

O material concreto armado será estudado mais detalhadamente nos itens 3.2 a 4.25.

- Concreto protendido - surgido na década de 1940 e definido pelo verbo protender, "estender", "esticar um cabo",

*"é o concreto armado submetido a um estado de tensão prévio que lhe aumenta a capacidade portante, decorrente de uma elevada tração dada à armadura, que ao concreto é transmitida por aderência ou pela reação de apoio dos aparelhos de protensão, na forma de tensões reativas de compressão". (TACLA, 1984: 134)*

O material concreto protendido será objeto de capítulo à parte, onde também serão abordados os conceitos de concreto de alta resistência e de alto desempenho.

A decisão do projetista pela escolha de uma dessas opções, decorre de vários fatores, dentre os quais:

- destinação da estrutura e conseqüente natureza das cargas;
- dimensões da estrutura;
- compatibilização com o projeto arquitetônico;
- tipo do meio ambiente;
- metodologia construtiva adotada.

### **3.2 Concreto armado - conceituação e características**

O concreto armado, por definição, é o

*"material de construção composto de dois outros, concreto e aço, que trabalham solidários; o segundo em barras finas redondas posicionadas convenientemente para absorver as tensões de tração que o primeiro por si não poderia fazê-lo, enquanto as tensões de compressão são inteiramente absorvidas pelo concreto ou parte pelo aço e parte pelo concreto". (TACLA, 1970: 134)*

Fazem parte da composição do concreto:

- água - a água potável, sem impurezas, é a indicada para a composição do concreto;
- cimento - material finamente pulverizado, que desenvolve propriedades ligantes, como resultado da hidratação. O cimento hidráulico mais usado para a confecção do concreto é o cimento Portland, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidratados;
- agregados - material granular, tal como a areia, o pedregulho, a pedra britada;
- aditivos - produtos que podem ser adicionados à mistura do concreto e que alteram, com vantagens, as propriedades do mesmo, melhorando a trabalhabilidade, aceleração ou retardamento do tempo de pega, melhora da resistência, etc.

Unindo-se convenientemente o concreto ao aço, vê-se que o concreto protege o aço, e que o aço resiste aos esforços de tração; por outro lado, o concreto, resistindo já por si aos esforços de compressão, permite que o aço também participe desse trabalho, ao impedir a flambagem.

Dessa forma, o concreto passa a adquirir características peculiares que fazem dele um material extremamente adequado para utilização nas estruturas dos edifícios. Como marca de suas particularidades, vale ressaltar que o concreto:

- apesar de constituído por mais de um material (cimento, areia, pedra, água e aço), é considerado isótropo e homogêneo, pois suas propriedades físicas são as mesmas em todas as direções;
- necessita de fôrma (que pode ser de madeira, aço ou plástico) para execução de peças estruturais;
- necessita de um período de cura - período de permanência na fôrma - para endurecer e criar condições de absorver esforços;
- recorre a técnicas de domínio público, não exigindo mão-de-obra especializada;
- é bastante plástico, podendo assumir diferentes formas.

O concreto armado, enfim, constitui um material de fácil obtenção e manuseio, permitindo bastante liberdade formal nas peças estruturais.

### 3.3 O concreto armado como material estrutural

O concreto armado é atualmente considerado o material mais utilizado em estruturas na construção civil, e seu emprego tem sido cada vez mais intenso. Estima-se que o atual consumo mundial de concreto é da ordem de 6 bilhões de toneladas por ano, ou seja 1 tonelada por habitante da terra. Sua aplicação, pois, deve ser objeto de estudos intensos e bastante definidos, devendo ser considerados tanto os cálculos matemáticos que permitem o dimensionamento da peças, como o material em si.

Segundo MEHTA (1994) existem algumas razões que explicam o uso tão difundido do concreto:

- possui excelente resistência à água, o que faz dele um material ideal para estocar, controlar e transportar água;
- possui grande facilidade de execução, podendo assumir as mais diversas formas, devido à sua consistência plástica;
- é um material de custo baixo, facilmente disponível no canteiro;
- permite a execução de grandes peças contínuas;
- apresenta elevada resistência à compressão;
- oferece relativa durabilidade às estruturas e grande resistência ao fogo, à umidade, a agentes químicos, etc.

Além do mais, a utilização do concreto na construção proporciona economia de energia e benefícios ecológicos, já que sua produção, comparado à maioria dos outros materiais de construção, requer pequeno consumo de energia, e pode aproveitar materiais reciclados, substituindo os agregados.

Tudo isto explica a ampla difusão do emprego de estruturas de concreto armado nas construções do mundo inteiro.

#### 3.3.1 O processo de produção e controle de qualidade do concreto

Antes de fazer a mistura do concreto, a escolha dos materiais constituintes adequados constitui o primeiro passo para a obtenção de um concreto de qualidade e que apresente a resistência especificada. Além disso, fazem parte da produção do concreto, a

dosagem, através da qual é obtida a proporção ideal entre os diferentes componentes, a mistura, o transporte até o local da aplicação, o lançamento nas formas, o adensamento, o acabamento, a cura e a desmoldagem. Todas essas operações são necessárias para garantir que o concreto acabado seja estruturalmente eficaz.

Com o intuito de garantir a qualidade e a segurança das estruturas construídas, é fundamental proceder ao controle do concreto como ferramenta essencial a fim de assegurar que o material satisfaça as exigências requeridas, ou seja, esteja apto para exercer a função estrutural.

Tecnologistas de concreto são requisitados para desenvolver programas de garantia de qualidade que envolvam, entre outros requisitos, a escolha dos métodos de ensaio, análise estatística dos resultados de ensaio e procedimentos de controle, com o objetivo de assegurar que o elemento resultante seja estruturalmente capaz de se adequar à finalidade para a qual foi projetado.

### 3.3.2 Propriedades

De acordo com MEHTA (1994), a escolha de um material de construção para uma aplicação específica deve levar em conta sua capacidade de resistir à uma força aplicada. A deformação decorrente de cargas aplicadas chama-se deformação específica, definida como a mudança de comprimento por unidade de comprimento; a carga aplicada é expressa em tensão, definida como a força por unidade de área.

As relações tensão/deformação dos materiais são geralmente expressas em termos de resistência, módulo de elasticidade, ductilidade e tenacidade.

A resistência é a medida de tensão exigida para romper o material, ou seja é a sua capacidade de resistência à tensão sem ruptura. Nas estruturas de concreto, as resistências são geralmente especificadas. Atualmente, na maioria das aplicações é comum serem usadas resistências de 20 a 40 MPa.

Módulo de elasticidade é definido como a relação entre a tensão e a deformação reversível; ductilidade é a quantidade de deformação permanente que pode ocorrer antes

do rompimento e tenacidade é quantificada como medida da energia necessária para romper o material.

Para efeito do presente estudo, a propriedade dita resistência (representada pela sigla  $f_{ck}$  - resistência característica do concreto à compressão) será a mais avaliada nas pesquisas realizadas, visto se tratar da propriedade mais valorizada pelos projetistas de estrutura e pelos responsáveis pelo controle de qualidade. Isso acontece também porque, segundo MEHTA (1994), comparada com a maioria das propriedades, a resistência é a mais fácil de ser ensaiada.

A unidade de medida de resistência utilizada atualmente é Mega Pascal (MPa), adotada universalmente a partir de 1982, conforme resolução nº 1/82 do CONMETRO - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade. O Mega Pascal veio substituir a antiga unidade  $\text{kgf/cm}^2$  (quilograma força/centímetro quadrado). 1 MPa equivale a  $10\text{kgf/cm}^2$ .

Outras propriedades também são inerentes ao concreto armado, como a fluência, que é o aumento gradual de deformação com o tempo, sob tensão constante; a retração, que provoca deformações em função de mudanças na umidade e na temperatura ambiente; e a durabilidade, que é definida como a vida útil de um material, sob dadas condições ambientes.

A durabilidade tem sérias implicações econômicas nos custos de manutenção e substituição de uma estrutura e, ultimamente, tem sido objeto de crescente interesse e preocupação por parte dos engenheiros estruturais. Atualmente, nos projetos de estrutura, a durabilidade deve ser avaliada com o mesmo cuidado dispensado a outros aspectos, tais como a resistência e o custo. Além disso, o uso de estruturas de concreto tem sido estendido a ambientes hostis, como plataformas marítimas, onde o meio, bastante agressivo, provoca deterioração do material.

### 3.3.3 Cálculo estrutural

Apesar de não ser objetivo deste trabalho o dimensionamento das estruturas de concreto armado, pois, como já foi dito, serão sobretudo considerados a concepção e o comportamento das estruturas, convém externar alguns comentários relativos à expressão cálculo estrutural, referidas no texto em diversas ocasiões.

O conceito de cálculo estrutural é mencionado por TORROJA (1960) como uma ferramenta capaz de verificar se as formas e dimensões de uma construção, simplesmente imaginada ou já realizada, estão aptas para suportar as cargas a que está submetida. Assim, trata-se de uma técnica operacional que permite a materialização das concepções abstratas em resultados numéricos e concretos de cada caso ou grupo de casos.

*"O cálculo não pode ser mais do que um meio de comprovação e correção das dimensões dos elementos estruturais que foram dadas pela intuição do projetista. A obra não nasce do cálculo; ao contrário, o cálculo é a consequência da concepção da estrutura, que vai assegurar suas condições de estabilidade e resistência". (TORROJA, 1960: 735)*

### 3.4 Concreto armado e expressão formal

*"O concreto é um material extraordinário, não só porque ele pode ser moldado em uma variedade de formas complexas, como também pode fornecer efeitos especiais de superfície". (MEHTA, 1994: 07)*

Ao contrário da madeira e do aço, materiais anteriormente mencionados, o concreto armado é um conglomerado heterogêneo, com propriedades plásticas, integrado por quatro elementos essenciais: cimento, areia, pedra britada e água. Estes elementos, misturados segundo uma determinada proporção, resultam numa massa pastosa, a qual, colocada em formas e oportunamente armada com barras de ferro, endurece em pouco tempo, alcançando elevada resistência à compressão e à tração, com propriedades estáticas eminentemente elásticas.

Essa característica plástica do concreto, que faculta a adoção das mais variadas formas, faz dele um material de infindáveis aplicações no campo da construção civil. Reputada como sua maior prerrogativa, essa possibilidade, no que se refere à forma externa,



permite ao arquiteto infinitos recursos de criação, não oferecidos por nenhum outro material.

Se considerarmos as estruturas de concreto armado como um elemento arquitetônico, ou seja, como um meio de expressão formal, logo percebemos como a estrutura toma parte da composição plástica da edificação, portando um significado realmente preponderante no conjunto.

O êxito da solução arquitetônica dependerá, portanto, da coordenação lógica dos elementos estruturais, isto é, do estudo sintético que precede e prepara o ato criador, e da clareza com que se desenvolve, na mente do projetista, a definição espacial da estrutura.

As primeiras aplicações do concreto armado nas construções, conquanto se limitassem a suas possibilidades estáticas, ofereciam soluções para muitos problemas insolúveis anteriormente. Resultavam, porém, em construções maciças, denunciando o "peso" do material, ao contrário, pois, do que se observa atualmente, quando a arquitetura moderna se vale muito da expressão plástica proporcionada pelo concreto. Por tal razão, o papel da estrutura, na composição, adquire uma importância cada vez mais definida.

Algumas realizações altamente significativas confirmam esta afirmação, mostrando que a estrutura de concreto pode assumir uma função estética na obra arquitetônica. Mestres como Robert Maillart, Pier Luigi Nervi, Eduardo Torroja, Felix Candela, e tantos outros, souberam superar a mera resolução de problemas técnicos. Para eles, a estrutura resulta de um equilíbrio entre o critério científico de eficácia e a inovação no âmbito da pesquisa formal

Na seleção dos exemplos apresentados a seguir, demos preferência às criações estruturais nas quais a personalidade do projetista logrou imprimir maior sentido de clareza e espontaneidade e nas quais a linguagem expressiva alcançou, ao nosso entender, maior qualidade arquitetônica.



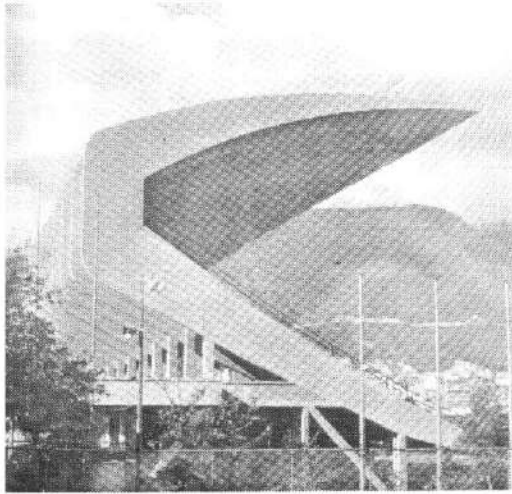


Fig. 3.1 – Estádio / Caracas - foto  
(Fonte: SIEGEL)  
projeto: Villanueva

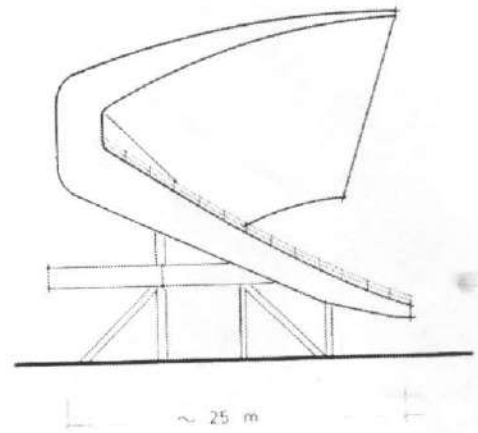


Fig. 3.2 – Estádio / Caracas - corte esquemático (Fonte: SIEGEL)



Fig. 3.3 - Palácio dos Esportes / Roma - foto  
(Fonte: SIEGEL)

projeto: Pier Luigi Nervi, 1956

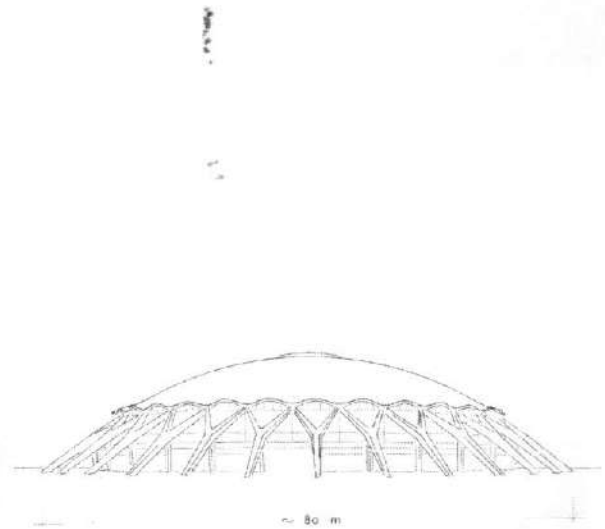


Fig. 3.4 - Palácio dos Esportes - desenho (Fonte: SIEGEL)

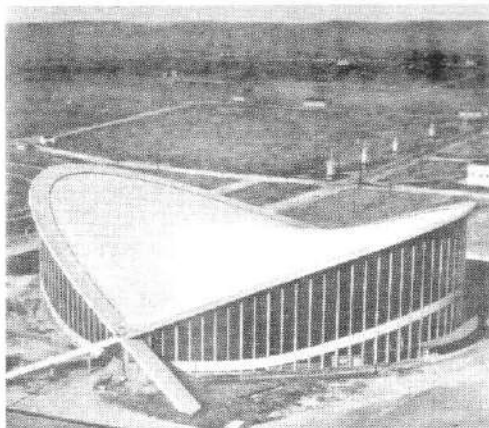


Fig. 3.5 - Teatro de Arena / Carolina do Norte - foto (Fonte: SIEGEL)

projeto: Mathew Novicki

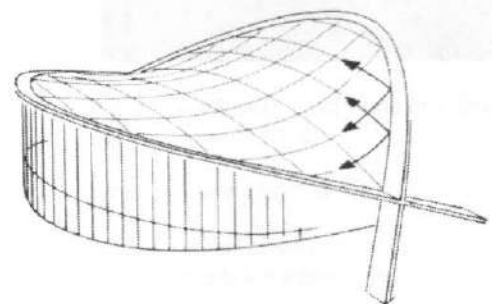


Fig. 3.6 - Teatro de Arena - desenho (Fonte: SIEGEL)



Fig. 3.7 - Estação ferroviária Lyon-Satolas, 1994  
(Fonte: Revista Projeto)

*projeto: Santiago Calatrava*



Fig. 3.8 - Estação ferroviária  
(Fonte: Revista Projeto)



Fig. 3.9 - Casa da Cascata / Pennsylvania, 1935  
(Fonte: CURTIS)

*projeto: Frank Lloyd Wright*

*Construída basicamente em concreto, a residência é marcada pelo jogo de 3 planos em balanço*

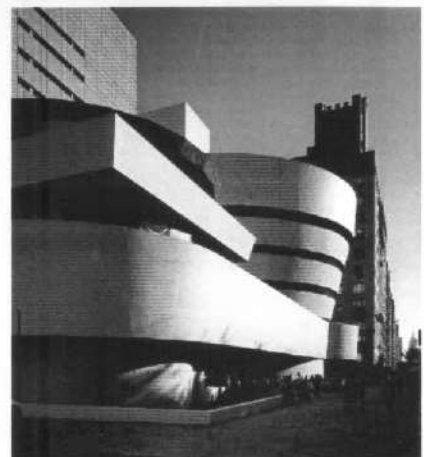


Fig. 3.10 - Museu Guggenheim / Nova York, 1943 - (fonte: CURTIS)

*projeto: Frank Lloyd Wright*

*Sua forma esbelta e dinâmica foi desenvolvida com base em um espaço helicoidal*



Fig. 3.11 - Vila Savoye, 1929 - (fonte: CURTIS)

projeto: Le Corbusier

Constituída por um volume em forma de prisma sobre pilotis, a casa apresenta-se configurada de acordo com os 5 pontos da arquitetura moderna

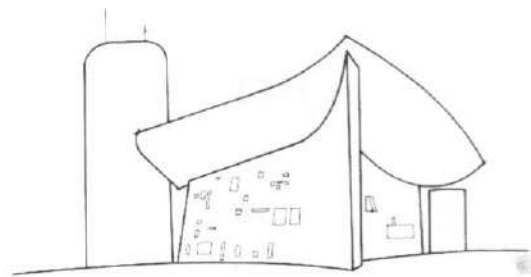


Fig. 3.12 - Capela Ronchamps, 1950 (fonte: SIEGEL)

projeto: Le Corbusier

Formas curvas, convexas, grossas paredes e uma gigantesca cobertura de concreto dominam a composição

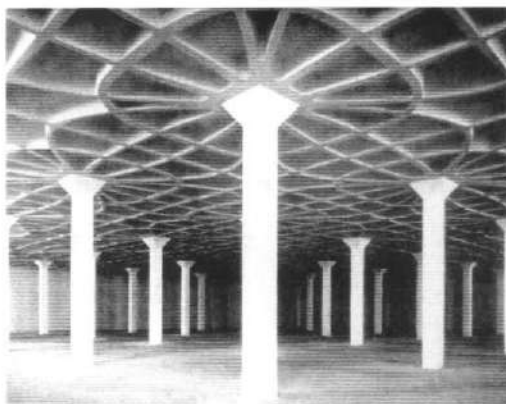


Fig. 3.13 - Fábrica Gatti Wool / Roma (fonte: CURTIS)

projeto: Pier Luigi Nervi

O projeto demonstra uma simbiose entre estrutura e expressão plástica

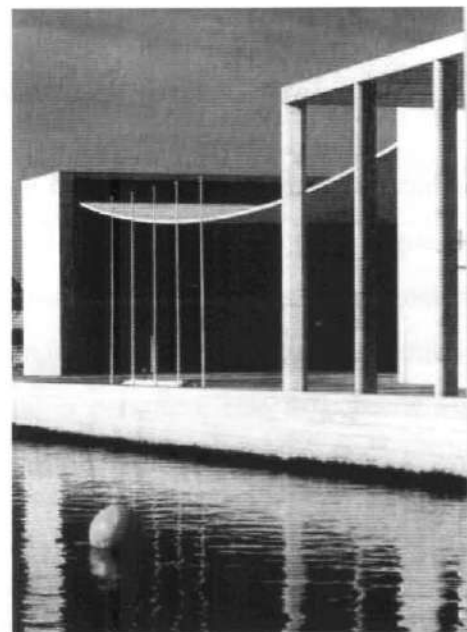


Fig. 3.14 - Pavilhão de Portugal / Lisboa, 1998 (fonte: : Revista AU)

projeto: Álvaro Siza

Edifício concebido para a Expo 98 - um grande "toldo" de concreto - uma lâmina de 20 cm de espessura que descreve uma curva catenária

## Capítulo 4

# O concreto armado na construção civil: origem e aplicações

A atual predominância de emprego do concreto armado nas estruturas das edificações exige que se faça um breve histórico do surgimento do material no mundo e no Brasil, descrevendo suas primeiras aplicações e posterior difusão. O capítulo relaciona ainda o modo de emprego do concreto com o espaço arquitetônico, ressaltando a íntima correlação entre o desenvolvimento das técnicas relativas ao material, bem como o avanço do cálculo estrutural e o surgimento da arquitetura moderna brasileira, sobretudo através da obra de Oscar Niemeyer. Vários exemplos são destacados a fim de demonstrar a influência das soluções estruturais nas diversas formas arquitetônicas, e vice-versa, como a concepção estrutural é influenciada pela forma.

### 4.1 Origem e difusão do concreto armado no mundo

Nos primórdios, o homem utilizava os materiais de construção como eram encontrados na natureza, como a pedra, o barro, a madeira, o cipó, etc. Com o tempo, passou a moldá-los com o intuito de adequá-los às suas necessidades, sempre buscando materiais que pudessem oferecer maior resistência e vencer maiores vãos. Assim, em substituição à pedra, surgiram o ferro, o aço e, posteriormente o concreto, este logo reconhecido como material de mais fácil modelagem, e portanto capaz de atender a novas solicitações.

A descoberta e a aplicação desses novos materiais são consequência da Revolução Industrial, marco referencial considerado para o breve histórico sobre a origem e a evolução do concreto armado, que será esboçado em seguida.

#### 4.1.1 A Revolução Industrial e o surgimento de novos materiais e novas técnicas na construção

A *Revolução Industrial* designa uma conjuntura sócio-econômica que começa a se desenvolver em fins do século XVIII. Caracterizada pela aplicação de variadas técnicas usadas em benefício da produção industrial, essa conjuntura se inicia na Grã-Bretanha, e finalmente se espalha por vários recantos da terra.

A consolidação do processo deve-se ao emprego motriz da energia a vapor, que tanto permitiu eliminar o recurso milenar à força de trabalho humano ou animal, como liberou a localização industrial, anteriormente presa a determinados pontos beneficiados pela energia eólica ou hidráulica. Entre outros, este fato, de amplo alcance social e econômico, resultou na transformação das cidades em centros industriais de crescimento rápido e caótico.

A Revolução industrial, em suma, implica o início de uma expressão mecanicista nos processos e nas técnicas de produção, cada vez mais alheios à participação direta do homem. Como referências históricas sobre o processo, devemos lembrar que a energia a vapor, exigindo rendimento maior na produção do calor, logo elegeu o carvão mineral como combustível preferido, à parte o fato de que este também poderia fornecer temperaturas elevadas, necessárias à obtenção de vários produtos iniciais novos. Na corrida em busca de posições hegemônicas na nova ordem, as disponibilidades de reservas de carvão mineral privilegiaram não apenas a Grã-Bretanha, mas, já no século XIX, outros países europeus e os Estados Unidos.

A construção civil, em conseqüência, logo passou a sentir o impacto dos novos materiais que viriam modificar radicalmente os processos edificatórios, milenarmente presos à pedra e à madeira, agora envolvidos pela industrialização dos produtos e das técnicas.

Entre os novos materiais de edificação, dois deles assumiram papel preponderante. Um, o aço, decorrente direto dos novos processos de produção e, portanto, logo empregado de modo caracteristicamente industrial. O outro, o concreto, um tanto ao contrário, figuraria como proposta ambígua, mesmo porque, recorrendo a produtos industriais, tais

como o cimento, era também formado por materiais naturais, tais como a brita e a areia. Além do mais, como veremos mais adiante, e certamente por causa de sua própria composição, por longo tempo, o concreto recorreria a técnicas artesanais.

O aço passou a se impor como material preponderante das novas construções, pois permitia vãos maiores com peças de seções menores, rapidez de execução, padronização (pré-fabricação), etc., embora apresentasse algumas deficiências em relação à alvenaria: durabilidade, conservação, aspecto e textura.

Quanto ao cimento, em 1824, com J. Aspdin, surgiu o chamado cimento Portland, cujo nome deriva de sua semelhança com um calcário extraído da ilha de Portland, na Inglaterra, e é produzido mediante a queima de uma mistura de argila e calcário em um forno rotativo e a pulverização da escória resultante, de modo a convertê-la num pó muito fino. Produzido industrialmente, pôde melhorar os antigos métodos de edificação, criar produtos de alta valia e exigir a formulação de técnicas pertinentes. O cimento Portland é o principal componente do concreto.

O desenvolvimento das técnicas do concreto e do aço teve como consequência natural a junção dos dois materiais, formando o concreto armado, que surge como novo material, com propriedades vantajosas, passando a ser usado desde então em larga escala nas construções.

#### **4.1.2 Primórdios**

A associação do ferro com o concreto, no sentido que se conhece hoje, com a denominação de concreto armado surgiu na França, provavelmente em 1849. Mas a idéia de associar barras metálicas à pedra ou à argamassa com a finalidade de aumentar a resistência às solicitações de esforços, remonta aos tempos dos romanos. Durante a recuperação das ruínas das termas de Caracalla, em Roma, verificou-se a existência de barras de bronze dentro da argamassa de pozzolana (material silicoso, proveniente de lavas vulcânicas), em pontos onde o vão a vencer era maior que o normal na época.

A associação do aço com a pedra natural maciça aparece pela primeira vez na estrutura da igreja de Sta. Genoveva, hoje Pantheon, em Paris, 1770. Segundo as palavras do



próprio projetista, Jacques Soufflot, a intenção era de reunir na obra a leveza do gótico com a pureza da arquitetura grega. Havendo poucas colunas nas fachadas, era necessário executar grandes vigas em condições de transferir as elevadas cargas da super estrutura para as fundações. Convidado para ultimar a obra, Rondelet executou, em pedra lavrada, verdadeiras vigas modernas de concreto armado, usando barras de ferro longitudinais retas nas zonas de tração e barras transversais para conter o cisalhamento. Estava descoberta a associação do ferro com a pedra (neste caso, pedra natural) para execução de estruturas. O processo, todavia, só pôde ser retomado décadas depois, quando se tornou possível inverter as técnicas de fabricação, executando-se os trabalhos na pedra antes: - corte, preparo das superfícies, furos - e a armadura, depois. Mais tarde, quando entra em uso a pedra artificial, como era chamado o concreto, a armadura era feita antes - corte, dobramento, amarração - e a pedra depois.

Apenas 30 anos após a descoberta de um processo industrial (1824) para a fabricação da "pedra artificial" - o cimento Portland - já se montava na Alemanha (1855) a primeira fábrica deste cimento. Foi apresentado oficialmente, pela primeira vez no mundo o novo material: O "cimento armado".

#### 4.1.3 Os precursores do uso do concreto armado

Entre 1848 e 1852, um certo número de experiências provam que desde essa época já se produzia o concreto armado. Presume-se que, em 1850, Joseph Louis Lambot, engenheiro francês, realizou as primeiras experiências práticas relativas à introdução de ferragens numa massa de concreto visando a fabricação de um barco. Nesse mesmo ano, ocorreu a primeira aplicação do concreto armado na construção de um imóvel, de autoria do francês François Coignet, em St. Denis, França.

Na Exposição Universal de Paris de 1855, Lambot solicitou a patente de um barco de concreto, juntamente com um desenho semelhante a um pilar de seção retangular, reforçado com 4 barras longitudinais de ferro.

O barco de Lambot e demais experiências com o concreto armado exibidos na Exposição Universal suscitaram a curiosidade de outro francês, Joseph Monier,

Exemplar 13968073



paisagista e horticultor em Paris. Monier aperfeiçoou a técnica, procurando inicialmente usá-la em suas caixas de plantas, cultivadas durante o inverno, em estufas. Comercializando posteriormente o produto, este se revelou excelente para ser empregado em peças que tivessem contato com água. Assim, suas primeiras realizações voltaram-se para produtos tais como: bacias, caixas d'água, tubos para encanamentos, reservatórios de água, etc. Começou então a registrar patentes de tudo o que fazia, denotando espírito comercial e empenho em desenvolver o novo campo, não só na França, mas em toda a Europa.

Por suas realizações, Monier ficou conhecido como o criador do concreto armado. (Na Alemanha, ainda hoje o termo "Monierbau" é sinônimo de concreto armado).

Mais para o fim do sec. XIX, outro estudioso da técnica do concreto armado, o americano Thaddeus Hyatt, realizou inúmeras pesquisas e ensaios, tendo publicado em 1877 o trabalho *An account of some experiments with Portland-Cement-Concrete, combined with iron as a building material with reference to economy of construction and for security against fire in the making of roofs, floors and walking surfaces.*

Entre as conclusões formuladas por Hyatt em seus ensaios podem ser mencionadas as seguintes:

- o concreto deve ser considerado como material de construção resistente ao fogo - para tanto, o ferro deve estar totalmente envolvido por cimento;
- o coeficiente de dilatação térmica dos dois materiais é igual;
- o funcionamento conjunto do concreto com ferro chato ou redondo é perfeito e constitui uma solução mais econômica do que com o uso de perfis como armadura;
- a relação dos módulos de elasticidade deve ser igual a 20;
- concreto com ferro tracionado presta-se não somente para uso nas estruturas de edificações como também para construções de abrigos.

De acordo com VASCONCELOS (1992), Hyatt é considerado efetivamente o grande precursor do concreto armado e o primeiro a compreender a necessidade de aderência entre os dois materiais e do posicionamento correto das barras de ferro, a fim de que este último material pudesse colaborar eficientemente na resistência.



Apesar de plenamente convencido das qualidades notáveis do material, Hyatt não soube tirar partido do grande potencial que o concreto armado oferecia; além disso, as condições sócio-econômicas de seu país, inteiramente voltado para as estruturas metálicas, não teriam permitido a difusão do concreto armado do mesmo modo que ocorreu na Europa.

Na Europa, o francês François Hennebique foi o primeiro a compreender a função das armaduras de concreto. Percebeu a necessidade de dispor outras armaduras além das de tração, e imaginou armaduras dobradas, prolongadas em diagonal e ancoradas na zona de compressão.

VASCONCELOS (1992) classifica o desenvolvimento da tecnologia do concreto armado em três fases:

- primeiras experiências empíricas - até 1872;
- formação da teoria e definição dos componentes - até 1905;
- extensão e difusão das aplicações - a partir de 1905.

Assim, partindo de pesquisas empíricas, os precursores do concreto armado elaboraram teorias a partir de experiências conduzidas em canteiros ou em laboratórios, levando o novo material, desde então, a significativa participação na arquitetura.

#### **4.1.4 Difusão e aplicação das técnicas do concreto armado**

A técnica do concreto armado logo se difundiu, sobretudo na Europa, iniciando-se na Alemanha, com as firmas Freytag & Hedschuch e Martenstein & Josseaux, que compraram a patente de Monier em 1884, cedendo mais tarde o direito para o engenheiro Gustavo Wayss, que passou a realizar construções baseadas no novo processo construtivo.

Tornou-se evidente, a partir de então e durante muito tempo, o domínio alemão no emprego do concreto armado. No final do sec. XIX, a aceitação do concreto era geral na Europa, sobretudo na Alemanha e França, onde Hennebique estabeleceu um sistema

completo para armar o concreto e já usava peças em balanço, minuciosamente dimensionadas.

Hennebique teve o mérito de realizar experiências sistemáticas com o concreto. Conhecendo profundamente a técnica desse tipo de estrutura, foi a partir do seu trabalho que o concreto armado passou a ser usado em grande escala na construção civil. (GIEDION, 1954).

### O concreto armado e a arquitetura

No início do sec. XX, projetos dos arquitetos franceses Auguste Perret (casa da rua Franklin, 1903, e galpão da rua Ponthieu, 1905, em Paris) e Tony Garnier (Cidade Industrial, 1904), já procuravam tirar partido estético do novo material, que, definitivamente incorporado à linguagem da arquitetura, passou a obedecer, tal como a pedra, o tijolo ou o ferro, às regras essenciais da linguagem arquitetônica.

Até então, os engenheiros haviam usado o concreto armado com vistas apenas às possibilidades técnicas que ele oferecia, sobretudo como elemento de apoio.



Fotos 4.1 e 4.2 - Casa rua Franklin, Paris  
Proj. arq.: Auguste Perret

*A estrutura de concreto armado, em vez de ficar dissimulada, é posta em evidência como elemento fundamental - representa o primeiro emprego do concreto armado como meio de expressão arquitetônica.*

O grande mérito de Perret foi demonstrar que se podia explorar plasticamente o novo material. Empreendeu longas pesquisas sobre a expressão arquitetônica do concreto armado e suas obras demonstram claramente suas intenções, representando uma nova linguagem e conferindo ao concreto verdadeira expressão e estilo.

O exemplo de Perret logo encontrou eco no mundo inteiro, entusiasmando os novos arquitetos, de sorte que a descoberta das várias possibilidades e das propriedades específicas do concreto proporcionou grande desenvolvimento e aperfeiçoamento dessa tecnologia, na qual se apoia, em grande parte a evolução da arquitetura contemporânea.

## **4.2 O concreto armado no Brasil**

O Brasil não tomou parte efetiva na descoberta do concreto, e nem acompanhou as pesquisas tecnológicas relacionadas ao material nos Estados Unidos e na Europa à época, que já eram bem avançadas. Entretanto, desde que começou a empregá-lo, no início do século XX, logo passou a fazê-lo de forma criativa e intensiva, de sorte que o concreto passou a incorporar-se definitivamente como material estrutural predominante em nossas edificações. Vale ressaltar que o desenvolvimento do concreto armado encontrou no Brasil um ambiente bastante favorável, como será visto mais adiante. O surgimento e aperfeiçoamento da técnica do concreto armado no Brasil serão abordados nos itens que se seguem.

### **4.2.1 Antecedentes - a arquitetura brasileira no início do século**

O panorama da arquitetura brasileira por volta de 1900 era bastante modesto. Nenhuma originalidade podia ser observada nos numerosos edifícios recém-construídos, que não passavam de imitações, em geral medíocres, de obras antigas de maior prestígio, ou então de meras cópias das modas então em voga na Europa.

Entre 1890 e 1920, os edifícios de maior vulto eram construídos com estruturas metálicas importadas, com as quais também se executavam pontes e viadutos. Tornava-se, portanto, compreensível que se desenvolvessem as técnicas de construção de

edifícios com estruturas metálicas, formando um quadro que começou a se alterar no início do século XX.

Quase todos os edifícios da época, no entanto, eram térreos ou assobradados e em sua maioria construídos por operários que possuíam experiência no ramo da construção. Os poucos edifícios com mais de dois pavimentos eram projetados e construídos por firmas estrangeiras ou por engenheiros estrangeiros radicados no Brasil. Restava aos engenheiros nacionais, a construção de apoios, geralmente de alvenaria, que serviam de suporte para as estruturas metálicas importadas. Os edifícios construídos por profissionais engenheiros brasileiros, só começaram a surgir a partir da década de 20.

Pouco se sabe sobre quando se começaram a aplicar, no Brasil, as técnicas de construção em concreto, uma vez que a documentação existente sobre o assunto é muito escassa e também é difícil se precisar quais foram os primeiros edifícios que utilizaram esse processo construtivo. Faltam datas e pormenores acerca das primeiras realizações e a maioria já desapareceu ou se descaracterizou, não restando registros de sua importância. Existem apenas descrições vagas e pouco precisas.

#### 4.2.2 O surgimento do concreto no Brasil - as primeiras obras

*"Na primeira década do sec. XX alguns técnicos alemães chegam ao Rio de Janeiro trazendo a novidade, e logo as possibilidades do novo material começaram a atrair alguns jovens engenheiros". (CASTRO, 1989: 125)*

A mais antiga notícia que se tem sobre a aplicação do concreto no Brasil, segundo VASCONCELOS (1992) data de 1904, documentada no curso do Prof. Antônio de Paula Freitas, na Escola Polytechnica do Rio de Janeiro (hoje Escola de Engenharia / UFRJ). Freitas, no fim de sua publicação "Construções de cimento armado" aborda as "Aplicações no Brasil", quando menciona que as primeiras obras eram habitações em Copacabana, executadas pela "Empresa de Construções Civis", com execução a cargo do engenheiro Carlos Poma, que utilizou uma variante do sistema Monier. A essas casas, seguem outros exemplos de edificações executadas por Poma, alguns prédios em Petrópolis e um reservatório d'água.

Na cidade de São Paulo, os primeiros passos para a construção de estruturas de concreto também foram dados entre 1900 e 1910. O projeto mais antigo para um edifício com estrutura de concreto no estado de São Paulo foi provavelmente o de Victor Dubugras para a estação de Mayrink, da estrada de ferro Sorocabana, em 1907 e levou alguns anos para ser construído. O professor Augusto VASCONCELOS (1992), entretanto, não considera esta uma obra *"em concreto armado, pois como armadura foram utilizados trilhos usados e metal deployé. Tudo leva a crer tratar-se de uma estrutura metálica envolvida ou protegida por concreto."*

Um dos primeiros edifícios construídos em São Paulo com estrutura de concreto foi um prédio na rua São Bento, com um jardim na cobertura, projeto do arquiteto Francisco Nataroberto, executado em 1907.

Em 1915, ainda em São Paulo, foi construído o Edifício Guinle, na rua Direita, conhecido como "arranha-céu", obra já submetida a controle técnico do concreto, realizado pelo Laboratório de Materiais da Escola Politécnica, origem do IPT.

Nos anos seguintes, surgiram vários exemplos de edifícios com estrutura de concreto na cidade de S. Paulo: tais como o edifício sede do Escritório Técnico Ramos Azevedo, o edifício Sampaio Moreira, e o edifício da Cia Antártica, na Av. São João.

O edifício do Hotel Esplanada (hoje sede do Grupo Votorantim) constituiu um dos pontos de referência da cidade de São Paulo, até a construção do edifício Martinelli, erguido entre 1924 e 1929, considerado durante muito tempo a maior e mais alta estrutura de concreto do Brasil.



Fig. 4.1 - Edifício Martinelli, São Paulo – foto  
(Fonte: Elevadores Atlas)

*Projeto de Giuseppe Martinelli*

*Edifício concluído em 1929, no centro de S. Paulo, com 30 pavimentos e 960 salas de escritório.*

Na década de 20, já com o emprego do concreto relativamente difundido, as normas técnicas pertinentes tornam-se conhecidas nos meios profissionais, passando a integrar os códigos de obras de vários municípios brasileiros. Nessa época, alguns calculistas estrangeiros, ligados a escritórios europeus se estabeleceram no país desenvolvendo os cálculos com informações recebidas por correspondência.

Pouco depois, algumas daquelas empresas européias de engenharia abriram seus próprios escritórios em S. Paulo, executando os cálculos e contratando obras de vulto. Na ocasião, tanto as técnicas quanto os materiais ainda eram importados.

Os calculistas, a essa época, ainda exageravam nas margens de segurança que adotavam, como num exemplo que deve ser mencionado, o do edifício da Cia. Antártica, que exigiu várias cargas de dinamite ao ser demolido, em 1950.

Supõe-se que na maioria das vezes, o cálculo das estruturas de concreto dessa época eram desenvolvidos no exterior, sendo um desses calculistas o francês Hennebique, como se pode verificar pelos *"anúncios no Almanak Laemert, de 1914, onde Hennebique oferece plantas e orçamentos gratuitos para obras de cimento armado na cidade do Rio de Janeiro, confeccionados pelo seu escritório em Paris."* (VASCONCELOS, 1992)

À parte a contribuição de Hennebique, a chegada da firma alemã Wayss & Freitag foi bastante significativa para o desenvolvimento do concreto armado no Brasil e para a formação dos engenheiros brasileiros na área, os quais logo passaram a atuar como calculistas, eliminando a participação de técnicos estrangeiros. A partir de 1924, a quase totalidade dos cálculos de concreto eram feitos por profissionais brasileiros, destacando-se então o nome do engenheiro Emílio Henrique Baumgart.

Ainda vale salientar que o concreto armado encontrou no Brasil um ambiente bastante favorável para seu desenvolvimento, sobretudo pelo tipo de execução artesanal das estruturas, quer dizer, o preparo manual tanto das formas e do escoramento, como o dobramento e amarração das armaduras, assim como a cura e a desforma.



*"O êxito do concreto armado no Brasil não pode ser explicado unicamente por razões econômicas, mas não há dúvida que estas tiveram um papel decisivo, pois seus componentes básicos, areia e cascalho, eram encontrados em qualquer lugar, a preços muito baixos. Além disso, a preparação do concreto no próprio canteiro de obras não exigia operários qualificados, fato importante num país onde eles são escassos, mas que, em compensação, conta com uma abundante mão-de-obra não qualificada. Portanto, independente de suas qualidades técnicas e plásticas, o concreto armado apresentava a vantagem de ser, de longe, o material mais barato para toda estrutura de maior porte". (BRUAND, 1981: 16)*

### 4.2.3 O papel de Emílio Baumgart

O nome de Emílio Baumgart se destaca como o primeiro brasileiro de renome internacional no cálculo de concreto armado, pelo importante papel que desempenhou, na introdução e no desenvolvimento da tecnologia do novo material no Brasil, ficando conhecido como "o pai do concreto armado no Brasil".

Nasceu em Santa Catarina em 1889, e, seguindo exemplos na família, formou-se em engenharia pela Escola Politécnica do Rio de Janeiro, em 1918. Desde os tempos de estudante, Baumgart exerceu atividades no escritório de Riedlinger, e depois, na Wayss & Freytag, onde desfrutou de boas oportunidades, visto que por sua condição de descendente de alemães, dominava bem a língua dos dirigentes da firma. Ainda estudante, fez seus primeiros projetos estruturais, a ponte Maurício de Nassau, no Recife, e a ponte do Areal, no estado do Rio.

Ao retornar de uma viagem de estudos à Alemanha, em 1923, monta seu próprio escritório no Rio de Janeiro, sendo responsável pelo cálculo estrutural de inúmeras obras de porte construídas ainda nas primeiras décadas do século. Dentre elas destacam-se as arquibancadas do Fluminense Futebol Clube, construídas para o campeonato sul-americano de Futebol, em 1922, o Teatro João Caetano, no Rio de Janeiro, o prédio do jornal "A Noite", as pontes sobre o rio Paraíba do Sul e o rio do Peixe. Esta última, a ponte Herval (que mais tarde recebeu o nome de seu projetista), de grande originalidade de concepção, pois, não sendo possível o escoramento sobre o leito do rio, foi construída por meio de balanços sucessivos. Foi a primeira realização em concreto armado a empregar essa técnica.

Ainda na década de 20 realizou inúmeros projetos de grande repercussão também na cidade do Rio de Janeiro, como os da estrutura do Hotel Glória, do Copacabana Palace, do Hotel Central e do Liceu de Artes e Ofícios, onde utilizou pela primeira vez a laje de 6cm para piso, proposta extremamente inovadora e audaciosa para a época, procedimento que, aliás, passou a ser amplamente empregado a partir de então. Sabe-se que ele próprio realizou o trabalho de retirada do escoramento, ante o temor dos engenheiros em fazê-lo. Baumgart executou também na década de 20, o cálculo e a construção do que viria a ser ao primeiro arranha-céu do Rio de Janeiro com estrutura de concreto armado – o cinema Capitólio, na Cinelândia.

Como a firma, fundada em 1923, e também dedicada à construção, foi à falência anos mais tarde, Baumgart passou a dedicar-se tão somente ao cálculo estrutural a partir de então. Em meados da década de 20, aproxima-se da empresa construtora Dourado, Gusmão & Baldassini, da qual era sócio o arquiteto e engenheiro argentino Alejandro Baldassini, responsável pela maioria das grandes construções executadas no Rio de Janeiro à época.

Baumgart viria a ter relações profissionais com o estado do Ceará, como será visto em item adiante, sendo de sua autoria o cálculo estrutural dos elegantes pavilhões da antiga Rede de Viação Cearense. A inauguração dos pavilhões ficou registrada pelo jornal O Povo, a 4 de outubro de 1930, sob o título "*Rede de Viação Cearense / A Inauguração das novas oficinas / O histórico desta importantíssima construção ferroviária*", onde havia minuciosa descrição de todos os pavilhões, com farta documentação técnica e fotográfica. A estrutura adotada demonstrava leveza, audácia e arrojo, comparada às demais estruturas de concreto armado então existentes no Ceará.

Em seu escritório, Baumgart realmente preparou os primeiros engenheiros para a vida profissional, complementando o que aprendiam durante o curso de graduação. Com ele trabalharam vários colaboradores que se tornaram posteriormente nomes significativos no cálculo estrutural, como Antônio Alves Noronha, Paulo Rodrigues Frago, Fernando Lobo Carneiro, Sérgio Marques de Souza e Arthur Eugênio Jermann, este último, continuador das obras de seu escritório. Após o falecimento de Baumgart, Jermann e o engenheiro Jorge Degow continuaram o trabalho do mestre em Belo Horizonte mantendo o mesmo escritório – SEECLA – Serviços de Engenharia Emílio



Baumgart, que se tornou uma poderosa firma de consultoria e projetos. Os alunos diretos e indiretos de Emílio Baumgart levaram seus ensinamentos a todo o Brasil, divulgando a tecnologia do concreto armado.

Segundo o professor Augusto Vasconcelos, o escritório de Baumgart foi prodigioso em matéria de realizações:

*"Baumgart e sua equipe técnica tiveram ensejo de projetar, em números redondos, 100 pontes, 80 conjuntos industriais, 300 edifícios de apartamentos ou escritórios, e 500 outros de menor vulto. Tudo isso era executado dentro de um padrão de perfeição e originalidade que lhe valeu toda a fama e glória que possui". (VASCONCELOS, 1992: 28)*

Baumgart atuou também como professor, ensinando a disciplina Sistemas Estruturais e Detalhes no Curso de Arquitetura da Escola Nacional de Belas Artes, onde travou relacionamentos com os arquitetos da época, o que o levaria a projetar, mais tarde, a estrutura do edifício do Ministério da Educação e Cultura, no Rio de Janeiro, realização marcante da arquitetura moderna brasileira. Nesta obra, depois de muitas discussões com os projetistas de arquitetura, Baumgart empregou um tipo de laje cogumelo, cujo dimensionamento se desenvolveu em total desobediência a todas as normas, procedimento ainda hoje utilizado pelos projetistas de arquitetura. Na concepção do contraventamento, usou as lajes como gigantescas vigas dispostas horizontalmente, apoiadas nas paredes cegas das extremidades do edifício. Assim, os esforços horizontais ficavam todos transferidos para os pilares do térreo por intermédio da laje de teto, devidamente engrossada com essa finalidade. Sabe-se também da participação de Baumgart em outra obra de vulto da arquitetura brasileira – um estádio projetado por Niemeyer em 1942, o Estádio Nacional, no Rio de Janeiro, que por sinal não foi construído.

Prematuramente falecido, em 1943, o trabalho do engenheiro Baumgart foi de fundamental importância no desenvolvimento do cálculo estrutural das construções brasileiras.

*". . . íntimo conhecedor das propriedades mecânicas dos materiais e seu comportamento construtivo, Baumgart possuía o 'sentimento' do concreto, aqui empregado no sentido de intuição, imaginação e criação, tão admirado por seus companheiros, nacionais e estrangeiros". (CASTRO, 1989: 135)*

Vale salientar que a atuação de Baumgart representou valiosa contribuição técnica num momento de transição da arquitetura brasileira, exatamente quando da eclosão da arquitetura moderna em nosso país.

#### **4.2.4 A difusão do concreto armado depois de 1930 e o surgimento da arquitetura moderna brasileira**

Depois de 1930, o concreto tornou-se um símbolo do desenvolvimento tecnológico nacional, empregado desde então nas principais obras do país.

A par de outros fatores que contribuíram para a o incremento do uso do concreto na construção civil, a descoberta das várias propriedades específicas do novo material proporcionou um grande desenvolvimento da sua tecnologia, sobretudo a partir da década de 30.

Com a crise de 1929, impedindo a importação do aço para a construção dos edifícios, foi estimulada a produção de cimento no país, como forma de dinamizar o setor de construção civil e reduzir as conseqüências da problemática econômica do período.

Também data dessa época o desenvolvimento do cálculo do concreto armado na engenharia brasileira. No início da década de 30, em São Paulo, foi criado o IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, por muito tempo o suporte principal para o controle técnico das obras em concreto, nova técnica empregada em todas as grandes obras.

Arquitetos e engenheiros empenhavam-se em explorar e valorizar as possibilidades do novo material exibindo suas especificidades, reforçadas com o surgimento da arquitetura moderna brasileira, a partir da década de 30, quando o concreto armado passou a desempenhar importante papel.

Naquela ocasião, já havia, portanto, condições bem definidas para o uso do concreto, bem como

*"um amplo entendimento profissional entre arquitetos e engenheiros estruturais, em busca de uma renovação espacial e formal. ....Por outro lado, a rápida percepção do comportamento do material, suprindo as limitações dos laboratórios especializados para testar proposições renovadoras, conduziu à aplicação de processos cuja validade se comprovava com o êxito das realizações. A gradativa diminuição dos perfis das peças aproveitava quaisquer oportunidades, infringindo normas internacionais consagradas. Além do mais, a docilidade do material e suas inesgotáveis possibilidades plásticas logo incentivaram a imaginação dos projetistas, fascinando os arquitetos, que o elegiam para as mais inusitadas situações estruturais". (CASTRO, 1989: 129)*

As soluções arquitetônicas se imbricavam nas variações de natureza estrutural, evidenciando a extensa gama de efeitos que se poderia extrair da plasticidade do concreto armado, que mais do que qualquer outro material de construção, permitia a liberdade de criação plástica, em função principalmente de sua possibilidade de assumir qualquer forma, além de suas características de resistência e durabilidade.

*"Um dos fatores que contribuiu decisivamente para o desenvolvimento da arquitetura moderna brasileira foi o desenvolvimento da técnica do concreto armado, que resultou não só em estruturas mais leves e elegantes, mas também em uma economia significativa, em comparação com o custo da construção em outros países". (MINDLIN, 1999: 32)*

A estrutura independente, premissa aceita pela quase totalidade dos arquitetos brasileiros, inspirada no racionalismo de Le Corbusier, possibilitava completa liberdade no tratamento das fachadas e do uso do espaço interno. Elementos arquitetônicos novos, como a coberta-terraço, o pilotis, as janelas de grandes vãos, o emprego de estruturas especiais para a realização de formas puras, tudo isso só foi possível com o emprego do concreto armado.

Entre outros, Lúcio Costa, Warchavsky, Luís Nunes, MMM Roberto, Afonso Eduardo Reidy e Oscar Niemeyer, considerados os introdutores da arquitetura moderna no Brasil, demonstraram em suas obras uma disposição de utilizar ao máximo as possibilidades plásticas do concreto armado, *"numa lógica profunda de explorar até as últimas conseqüências um material moderno, valorizando sua ductilidade e as qualidades escultóricas dele decorrentes". (BRUAND, 1981:16)*

Esses arquitetos criaram a grande arquitetura brasileira, que no pós-guerra chamaria a atenção de todo o mundo. De fato, edifícios como o Ministério da Educação e o Museu

de Arte Moderna, no Rio de Janeiro, constituíram inovações pela ousadia no emprego do concreto armado gerando formas arquitetônicas novas. Essa arquitetura definiu a nova imagem do Brasil no cenário internacional.



Fig. 4.2 - Edifício do Ministério de Educação / RJ, 1936  
(Fonte: Revista AU)

*proj.arquitetura: Lúcio Costa, Niemeyer, Leão, Moreira, Reidy e Vasconcelos*  
*proj.estrutural: Emílio Baumgart*

*O edifício representa uma inovação na sua concepção volumétrica e espacial, utilizando as conquistas tecnológicas e culturais da época*



Fig. 4.3 - Museu de Arte Moderna / RJ - 1954  
(Fonte: Revista AU)

*Proj. arq.: Afonso Eduardo Reidy*  
*Proj. estrut.: Sydney Santos*

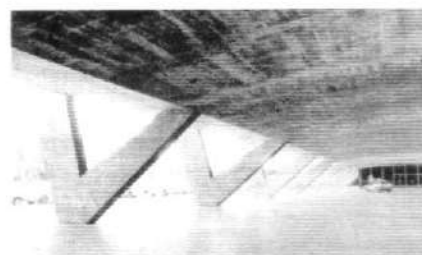


Fig. 4.4 – MAM / RJ - Detalhe estrutura  
(Fonte: Revista AU)

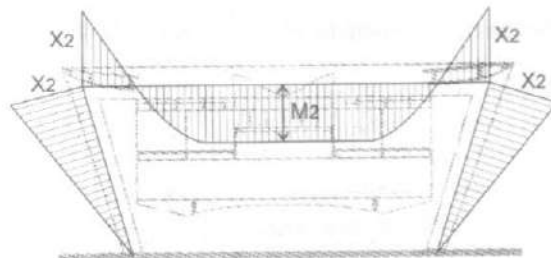
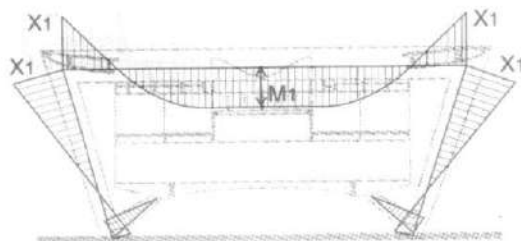


Fig. 4.5 – MAM / RJ - Esquema estrutural (Fonte: Revista AU)

*O bloco de exposições é um edifício em concreto armado, constituído por pórticos sucessivos, que elevam o corpo da construção do solo, sustentando a laje do primeiro pavimento. As lajes intermediárias e da cobertura são atirantadas à viga superior*

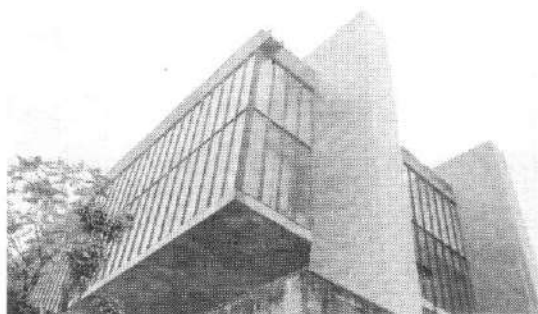


Fig. 4.6 - MASP - foto (Fonte: Revista AU)

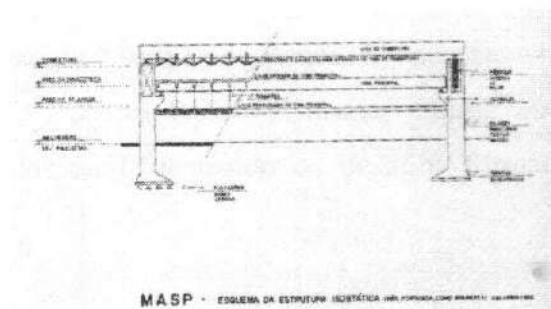


Fig. 4.7 - MASP - esquema estrutural (Fonte: Revista AU)

Proj. arq.: Lina Bo Bardi  
Proj. estrut.: I. Figueiredo Ferraz

Com vão livre de 74 m, o edifício preservou a vista da paisagem local

#### 4.2.5 Os avanços da arquitetura e o desenvolvimento do cálculo estrutural

*"Foi a leveza da arquitetura, ligada à liberdade plástica, que atualizou as novas estruturas, dando-lhes maior audácia e interesse, incorporando-as à arquitetura como antes não acontecia". (NIEMEYER, 1978: 18)*

A técnica de cálculo e construção em concreto armado se enriqueceu então com os desafios que as novas formas e os generosos vãos foram sendo sugeridos pelos audaciosos projetos arquitetônicos. As estruturas se multiplicaram e se diferenciaram, possibilitando novos volumes e novas formas de expressão.

Desde então se estabeleceu, de maneira marcante, o diálogo entre arquitetura e engenharia, no enfrentamento de desafios estruturais propostos pelos arquitetos. Essa simbiose garante a integração da estrutura na idealização da obra de arquitetura e constituiu uma das características da concepção e da produção da arquitetura moderna brasileira.

*"O desenvolvimento da nossa arquitetura e engenharia está estreitamente ligado ao avanço da tecnologia do concreto no Brasil: nenhum outro material seria capaz de dar à criação a liberdade e flexibilidade viabilizados por ele, face à sua possibilidade de assumir qualquer forma, aliada a excelentes características de resistência e durabilidade". (SUSSEKIND, 1976: 50)*

Um brilhante grupo de projetistas estruturais acompanhou e colaborou com os arquitetos desde o início: Emílio Baumgart, citado anteriormente, Joaquim Cardozo, Antônio Alves de Noronha, Paulo Fragoso, Sérgio Marques de Sousa, Sydney Santos, José Carlos de Figueiredo Ferraz, Zuccolo Roberto Rossi, e muitos outros que prestaram valiosa contribuição ao cálculo estrutural, aceitando os desafios formais propostos pelos arquitetos.

O novo vocabulário plástico exigia dos engenheiros estruturais um envolvimento completo com o projeto arquitetônico:

*"Antes relutante, o engenheiro passou a seguir com entusiasmo o traço arquitetural. Seu trabalho não mais se repetia, assumindo outra dimensão. Sentia, confiante, que na arquitetura ele se incorporava, que nas formas diferentes, que o arquiteto propunha estava o caminho inovador, que antes não era oferecido". (NIEMEYER, 1978:35)*

*"Não há como negar, historicamente falando, que a engenharia avançou e progrediu no Brasil a partir de impulsos de origem arquitetônica, visando à variação da forma, à leveza estrutural ao espetáculo da solução nova e criadora". (SUSSEKIND, 1976: 49)*

### **A obra de Niemeyer e as possibilidades plásticas do concreto armado**

*"Uma de minhas alegrias foi procurar a forma nova e criadora que o concreto armado sugere. Descubri-la, multiplicá-la, inseri-la na técnica mais avançada. Criar o espetáculo arquitetural". (NIEMEYER, 1998: 259)*

A obra do arquiteto Oscar Niemeyer revela de maneira inigualável a leveza arquitetural e a liberdade de formas proporcionadas pelo emprego do concreto armado:

*"As especulações e as postulações de Niemeyer em relação a esse material de construção procuraram fixar os procedimentos mais adequados ao seu trato, explorando todas as suas possibilidades e sua expressão plástica. Desde suas primeiras obras, Oscar colocaria em pauta essa pesquisa, caracterizando-a pelo número de pilares, redução da espessura das lajes, das seções das vigas e pilares, por meio do uso abundante da curva, da abóbada e das superfícies reversas". (PEREIRA, 1997: 171)*



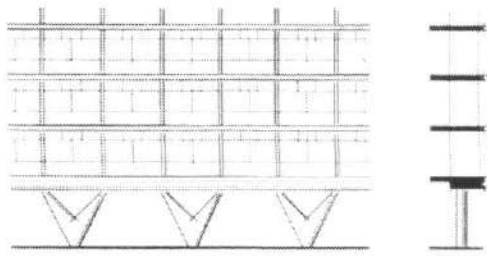


Fig. 4.8 - Esquema coluna em V - proj. Niemeyer  
(fonte: SIEGEL)

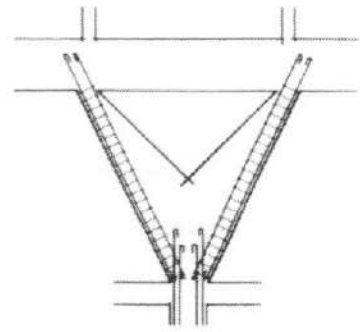


Fig. 4.9 - Detalhe / coluna em V  
(fonte: SIEGEL)

As formas livres do conjunto da Pampulha, em Belo Horizonte figuram como uma demonstração notável da imensa gama de possibilidades que a técnica do concreto armado podia oferecer, em contraste com os esquemas ortogonais da arquitetura moderna, até então usuais. Nessa obra, Niemeyer manifesta sua ilimitada força de invenção, toda ela dirigida para o problema de estrutura.

*"Quando iniciei os estudos em Pampulha, desprezei deliberadamente o ângulo reto tão louvado e a arquitetura racionalista feita de régua e esquadro, para penetrar corajosamente nesse mundo de curvas e formas novas que o concreto armado sugere. E o fiz com desenvoltura, cobrindo a igreja de curvas variadas, e a marquise da Casa de Baile a se desenvolver, também em curvas, pela margem da pequena ilha". (NIEMEYER, 1988: 261)*

*"O uso freqüente das linhas curvas, no Cassino, na Igreja e na Casa do Baile, que se manifesta definitivamente na forma aerodinâmica... numa intenção de leveza, de desligamento do solo e das condições materiais, e mais ainda, numa sugestão de efeito dinâmico". (CARDOZO, 1956: 32)*



Fig. 4.10 - Igreja da Pampulha - croquis  
(fonte: Revista AU)

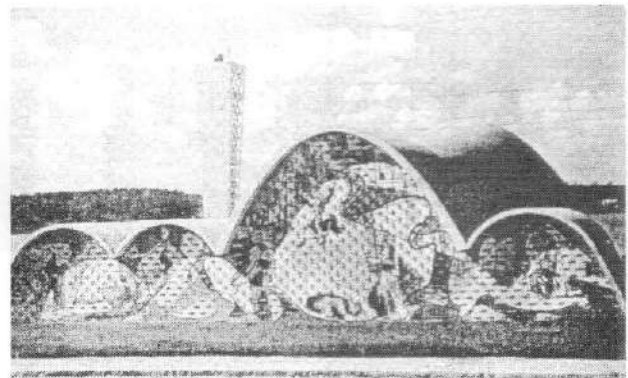


Fig. 4.11 - Igreja da Pampulha / Belo Horizonte, 1947 - foto  
(fonte: Revista AU)

Posteriormente, em Brasília, Niemeyer retomaria as pesquisas estruturais iniciadas na Pampulha, desenvolvendo estudos de viabilidade construtiva e macro-concepção estrutural, o refinamento formal, a definição geométrica e o dimensionamento de cada forma e de cada peça, o que exigia profundas investigações. Os casos mais complexos de concepção estrutural foram a cúpula do Palácio do Congresso e a Catedral.

*"Decidi que nos palácios de Brasília, essa seria a minha escolha, caracterizando-os pelas próprias estruturas, dentro das formas concebidas. Se examinarem o Congresso de Brasília ou os palácios nela realizados, verão que, terminadas suas estruturas, a arquitetura já estava presente. E procurei especular no concreto armado, nos apoios principalmente, terminando-os em ponta, finos, finíssimos, e os palácios como que apenas tocando o chão". (NIEMEYER, 1998: 264)*



Fig. 4.12 – Congresso / Brasília - foto  
(fonte: CURTIS)

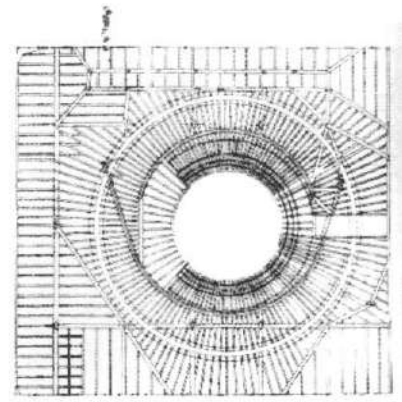


Fig. 4.13 – Congresso / Brasília - esquema estrutural / planta  
(fonte: Revista AU)

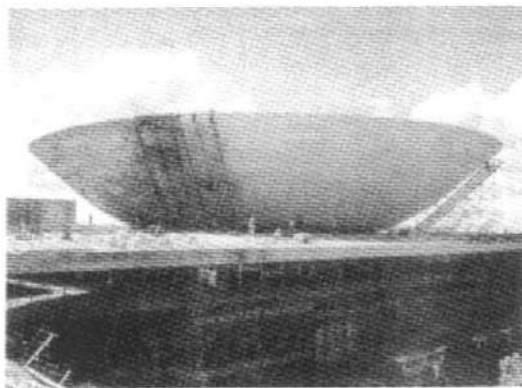


Fig. 4.14 – Cúpula / Congresso / Brasília - foto  
(fonte: VASCONCELOS)

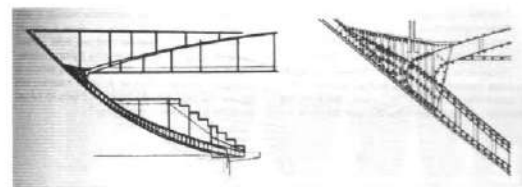


Fig. 4.15 – Cúpula / Congresso / Brasília - corte  
(fonte: VASCONCELOS)

*A calota esférica suporta as lajes planas da cobertura e do forro, com uma relação flecha / corda de apenas 1/14, o que exigiu muito esforço, muito tempo, e muita audácia do calculista e sua equipe.*



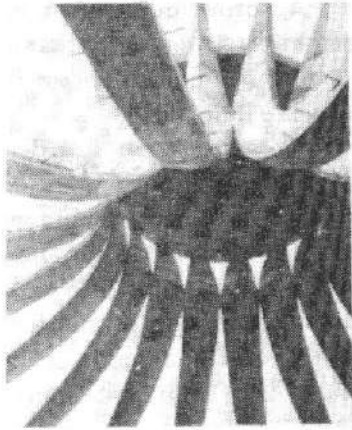


Fig. 4.16 – Catedral / Brasília, 1958 - foto  
(fonte: Revista AU)

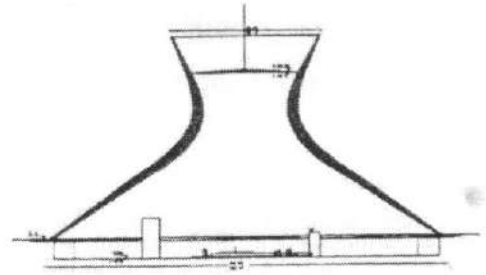


Fig. 4.17 – Catedral / Brasília – corte  
(fonte: Revista AU)

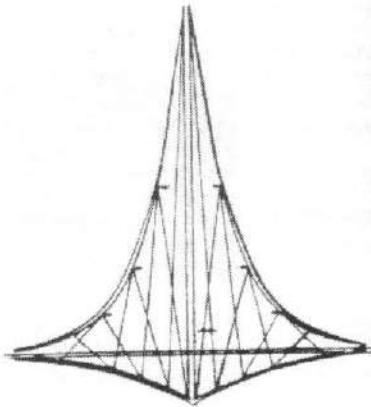


Fig. 4.18 – Coluna / Palácio Alvorada / Brasília – armadura / pilar  
(fonte: VASCONCELOS)

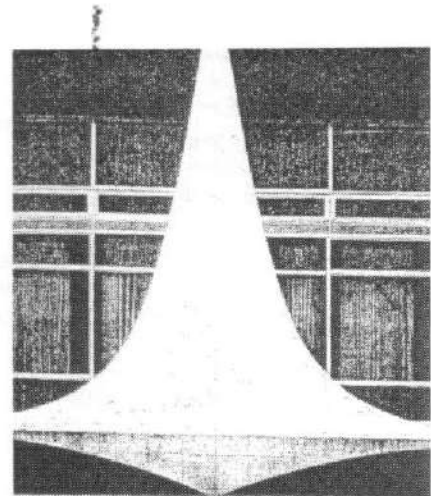


Fig. 4.19 – Coluna / Palácio Alvorada / Brasília - foto  
(fonte: VASCONCELOS)

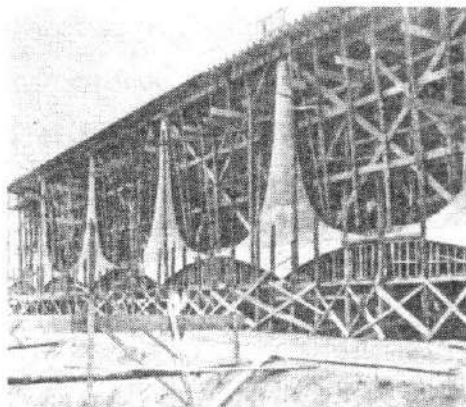


Fig. 4.20 – Coluna / Palácio Alvorada / Brasília  
esquema estrutural  
(fonte: VASCONCELOS)

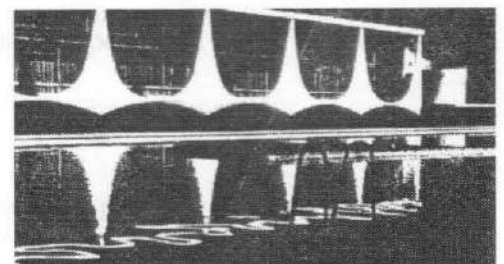


Fig. 4.21 - Palácio Alvorada / Brasília - fachada  
(fonte: Revista AU)

*Na Catedral e no Palácio da Alvorada os desafios eram a esbelteza dos perfis e as reduzidas seções dos pontos de apoio das colunas*

Em suas obras no exterior - durante o período de ditadura militar - como na sede do partido Comunista Francês, na Bolsa de Trabalho em Bobigny, na sede Fata, em Turim, na Mondadori, em Milão, e em suas obras mais recentes, como o Memorial da América Latina, em São Paulo, e o Museu de Arte Contemporânea, em Niterói, Niemeyer segue com sua imponência estrutural, evidenciando todo o potencial que o concreto armado pode proporcionar.

*"Nessa fase da minha obra, prevaleceu o propósito de levar comigo não apenas a liberdade plástica da minha arquitetura, mas o progresso da engenharia do meu país". (NIEMEYER, 1998: 266)*



Fig. 4.22 – MAC / Niterói, 1991-96  
(fonte: Revista AU)

proj. estrut.: Bruno Contarini

*A forma de cálice foi viabilizada a partir do uso de pilares lâminas protendidos, que se projetam para o interior do edifício e, semi-arcos em balanço, sustentando os pisos do museu e a casca da cobertura*

### O papel de Joaquim Cardozo

O grande engenheiro e poeta Joaquim Cardozo teve importante papel como um dos pioneiros do movimento moderno, pois integrou, ainda na década de 30, a equipe da Diretoria de Arquitetura e Urbanismo, chefiada pelo arquiteto Luiz Nunes, em Recife, participando como calculista das primeiras obras projetadas segundo os princípios da arquitetura moderna. Foi também catedrático dos cursos de engenharia e arquitetura da Universidade Federal de Pernambuco. Sobre sua experiência em Pernambuco, ele comenta:

*"Tive a oportunidade de colaborar com arquitetos que chegaram a aliar instintivamente a consciência perfeita do meio físico ao espírito tradicional, conseguindo ao mesmo tempo, os melhores efeitos plásticos do concreto armado. ...Foram utilizados todos os elementos arquitetônicos novos, a cobertura terraço, os pilotis, as janelas de grandes vãos, a estrutura independente, etc." (CARDOZO, apud SANTANA, 1998: 91)*

A conjuntura política nacional, depois da chamada Intentona Comunista de 1935, com grande repercussão em Pernambuco, fez com que o grupo da Diretoria de Arquitetura e Urbanismo se dispersasse. Joaquim Cardozo mudou-se então para o Rio de Janeiro, onde conheceu Oscar Niemeyer, tornando-se membro destacado de sua equipe. Calculou as obras do Conjunto de Pampulha e posteriormente, entre 1956 e 1964, as estruturas monumentais de Brasília, assinalando assim sua presença em momentos marcantes e decisivos da arquitetura moderna brasileira.

Joaquim Cardozo integrou-se magistralmente à arquitetura de Niemeyer, acompanhando-o à altura, no arrojo estrutural e no refinamento formal, enriquecendo os riscos originais com detalhes construtivos indispensáveis à nova arquitetura que surgia; uma arquitetura moldada em concreto, de formas ricas e livres, que rompiam com os dogmas do funcionalismo ortodoxo.

CARDOZO (1956: 33) costumava comparar as formas criadas pelos panos de concreto à expressão espacial do espaço barroco, proporcionando *"verdadeiras superfícies de formas e orientações variadas, parecendo um espaço movimentado e quase mágico"*.

Segundo NIEMEYER (1978: 24), ele não criava obstáculos às soluções propostas, *"nelas se detendo com entusiasmo, calculando os vãos e balanços enormes que apresentavam, afinando apoios e vigas, consciente, como nós, de que a arquitetura, deve, antes de tudo, ser bela e criadora"*.

Com a morte de Joaquim Cardozo, os engenheiros José Carlos Sussekind e Bruno Contarini passaram a ser os colaboradores estruturais de Niemeyer a partir de 1980, sendo responsáveis pelo cálculo estrutural de grande número de seus projetos, no Brasil e no exterior.

### **Outros arquitetos e o desenvolvimento da técnica do concreto armado**

Além dos já citados, outros arquitetos brasileiros souberam usar com maestria as possibilidades plásticas do concreto armado, como se pode ver sobretudo através dos projetos de Vilanova Artigas, João Filgueiras Lima e Paulo Mendes da Rocha, cujas

obras demonstram de forma inequívoca como o material se integra e valoriza a arquitetura.

A técnica de cálculo e construção em concreto armado sem dúvida se enriqueceu com os desafios que as novas formas de pilares, vigas e lajes e os generosos vãos foram sendo sugeridos pelos projetos desses e de outros arquitetos brasileiros.



Fig. 4.23 - Capela do Centro Administrativo de Salvador (fonte: LATORRACA)

Proj. arq.: João Filgueiras Lima - Lelé



Fig. 4.24 - MASP (fonte: Revista AU)

Proj. arq.: Lina Bo Bardi

*Exemplos de como a concepção estrutural confere expressão plástica à edificação*

## Capítulo 5

# Estruturas de concreto protendido

O concreto armado tradicional, feito com cimento Portland e agregado natural convencional, apresenta algumas deficiências. Tentativas têm sido feitas no sentido de superar essas limitações, resultando no surgimento de concretos especiais, que representam avanços na tecnologia do material. Entre as opções, surge a técnica do concreto protendido, que será estudado com mais detalhes por ser de uso mais disseminado em nossas construções, até o momento.

A descoberta do concreto armado constituiu um avanço decisivo, mas desde o início verificou-se o aparecimento de fissuras nos trechos das estruturas tracionados sob efeitos de cargas muito inferiores às cargas de ruptura. Em conseqüência, surgiram idéias de se aplicar protensão no concreto. A técnica da protensão veio resolver um problema que sempre preocupou os construtores desde as épocas mais remotas, ou seja, a fraca resistência à tração apresentada pelas pedras naturais, em geral, e pelas pedras artificiais em particular.

A idéia de "protender" o concreto, ou seja, de aumentar sua resistência à tração, por meio do emprego de fios de aço distendidos no interior das peças, visa portanto a eliminar ou diminuir as deficiências do material.

A seguir, são considerados conceitos, classificação, primeiras aplicações e difusão da técnica do concreto protendido, destacando sobretudo a interferência do uso da protensão no espaço arquitetônico.

## 5.1 Conceituação

Segundo PFEIL, "a protensão é um artifício que consiste em introduzir numa estrutura um estado prévio de tensões capaz de melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob diversas condições de carga". (1980: 1). A aplicação de esforços deve anular ou limitar drasticamente as tensões de tração do concreto, de modo a eliminar o surgimento de fissuras.

Pode-se definir ainda o concreto protendido como

*"o concreto reforçado mediante o pré ou pós tensionamento de cabos de protensão de aço de alta resistência, dentro de seu limite elástico, afim de resistirem ativamente a uma carga de serviço. As tensões de tração nos cabos de protensão são transferidas para o concreto, colocando toda a seção transversal de uma peça flexionada em compressão. As tensões de compressão resultantes anulam as tensões de tração e flexão geradas pela carga aplicada, permitindo que o elemento protendido se deflita menos, suporte uma carga maior ou cubra um vão maior do que uma peça do mesmo tamanho, proporção e carga armada da forma usual". (CHING, 1999: 62)*

De acordo com a nova NB-1, uma peça de concreto protendido

*"é aquela que é submetida a um sistema de forças especialmente e permanentemente aplicadas, chamadas de 'forças de protensão', tais que, em condições de utilização, quando agirem simultaneamente às demais ações, impeçam ou limitem a fissuração do concreto". (MOTA, 1998)*

Uma das melhores explicações técnicas da protensão é defini-la como um conjunto de esforços cuja ação neutraliza, ainda que parcialmente, os efeitos das cargas externas sobre as estruturas.

*A protensão não altera os esforços solicitantes das peças, provocadas pelo seu peso próprio, acrescido do carregamento permanente e sobrecargas eventuais. A aplicação de outras forças, de sentido contrário ao carregamento, minimiza seus efeitos, ou seja, as deformações e conseqüências danosas, como a fissuração e o surgimento de trincas. (STUCHI, apud ALMEIDA, 1993: 99)*

No concreto protendido geralmente se utilizam resistências duas ou três vezes maiores do que as empregadas em concreto armado, além do que os aços de protensão têm resistência da ordem de quatro a cinco vezes as dos aços convencionais.

A armadura do concreto protendido trabalha de maneira independente, razão por que é chamada de "ativa", pois atua gerando uma carga artificial na peça. Diferente, portanto, da armadura dita "passiva", do concreto armado convencional, que trabalha exclusivamente sob aderência, e só entra em ação quando a peça é solicitada.

PFEIL (1980) utiliza o termo "concreto estrutural" que associa, em diferentes níveis, armaduras ativas e passivas, objetivando obter soluções mais adequadas para as condições de uso fixadas para cada caso.

## 5.2 Vantagens

A técnica do concreto protendido despertou grande interesse como novo material revolucionário, sobretudo porque:

- permite vencer vãos bem maiores;
- possibilita a execução de peças mais esbeltas. Basta mencionar que, em uma viga de concreto protendido, para vencer um mesmo vão, pode-se chegar a adotar metade da altura das vigas de concreto armado, reduzindo-se assim a carga do peso próprio da peça. Assim como as vigas, as lajes se tornam menos espessas e os pilares com menores seções, possibilitando melhor distribuição dos espaços;
- não apresenta fissuras, mesmo sob carregamento máximo;
- as flechas finais são pequenas, em consequência da contra-flecha produzida pela protensão, sob a ação das cargas permanentes;
- presta-se, melhor que o concreto armado, para a produção de peças pré-fabricadas, quer no canteiro de obras, quer em instalações fixas;
- possibilita maior velocidade de montagem das formas, maior rapidez de construção;
- permite melhor impermeabilização das lajes, pois a massa do concreto está comprimida e as deformações são reduzidas;
- favorece a instalação de dutos de instalações em geral;
- é mais econômica para determinados casos. Dependendo da escala do empreendimento, há ocasiões em que, para um mesmo vão, a estrutura de



concreto protendido pode ser mais econômica que a de concreto armado, devido à redução do material empregado.

Todos esses fatores - custo, tempo, dimensões dos vãos, volume de concreto, metodologia construtiva, tipo do meio ambiente, etc. - devem ser criteriosamente analisados ao se fazer a opção pelo tipo de solução estrutural.

Observa-se, portanto, que a lista de vantagens assinaladas vem estimulando o uso de protensão em edificações simples, em contraposição à tendência menos recente de se usar o concreto protendido apenas em obras diferenciadas, de grande porte, ou para vencer grandes vãos, em pontes e viadutos.

A tecnologia da protensão vem sendo ultimamente bastante empregada nas lajes dos edifícios. Já existe uma tendência geral de substituição do sistema tradicional de lajes, vigas e pilares pelo sistema lajes-cogumelo e pilares, executado com auxílio do concreto protendido.

O uso da protensão tem se tornado, pois, cada vez mais comum em construções simples, notadamente quando é possível associar suas possibilidades de vencer vãos maiores ao melhor aproveitamento da área construída. Por tais vantagens, o concreto protendido vem sendo incorporado aos canteiros das edificações.

Atualmente, em grande parte, os edifícios de escritório em construção no país começam a usar as lajes planas protendidas. A facilidade de acabamento, a possibilidade de mudança da disposição dos espaços em face da inexistência de vigas e do distanciamento dos pilares são características extremamente favoráveis aos projetos de edificações.

Assim sendo, na busca de modelos estruturais alternativos que viabilizem maior produtividade e economia nas obras, o concreto protendido tem dado respostas positivas e, portanto, vem sendo cada vez mais utilizado.

### 5.3 Tipos de protensão

Existem duas modalidades de concreto protendido - pós-tração e pré-tração. Como se trata de sistemas diferenciados, devem ser analisados separadamente.

Antes de se estudarem os tipos de protensão, convém classificar, para melhor entendimento, os aços utilizados nas armaduras. Esses aços são chamados, na linguagem comum, de aços duros, devido ao seu alto teor de carbono, e se apresentam como:

- fios - têm diâmetro nominal menor que 7 mm; são lisos ou entalhados e fornecidos em bobinas auto-desenroláveis;
- barras - têm diâmetro nominal igual ou superior a 12 mm; são lisos ou rosqueados e fornecidos em barras de comprimento até 25 m;
- cordoalhas - são compostas de diversos fios (3 ou 7), enrolados em forma helicoidal em torno de um eixo central, fornecidas em bobinas auto-desenroláveis. As cordoalhas possibilitam a confecção de cabos de muito maior capacidade de carga;
- cordoalhas engraxadas ou plastificadas - são assim chamadas quando as cordoalhas de 7 fios recebem uma camada de graxa e, em seguida, um revestimento de polietileno de alta resistência, extrudado diretamente sobre as próprias cordoalhas, em toda a sua extensão.

Além dos aços, outros elementos e técnicas são utilizadas no processo de protensão, tais como:

- macaco - aparelho hidráulico utilizado para se estirar e tensionar os cabos quando da protensão de uma peça de concreto;
- bainha - tubo que envolve o cabo de protensão de uma peça pós-tensionada, a fim de evitar sua aderência ao concreto, durante a concretagem;
- ancoragem - dispositivo mecânico composto por um anel tubular e pares de cunha destinados a prender firmemente as pontas dos cabos de protensão, na operação de esticamento dos mesmos pelo macaco;

- bloco de ancoragem - estrutura utilizada na fixação dos cabos para protensão de uma peça de concreto;
- cone de ancoragem - dispositivo utilizado para se fixar, no lugar apropriado um cabo de protensão ao concreto, quer permanentemente numa peça pós-tensionada, quer temporariamente, durante o endurecimento de uma peça de concreto pré-tensionado.

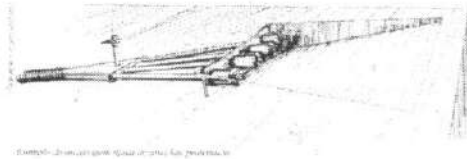


Fig. 5.1 – Esquema / protensão / laje  
(Fonte: Revista AU)

*Exemplo de ancoragem típica de uma laje protendida*

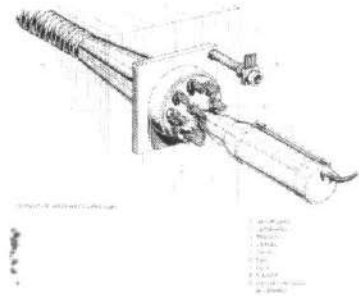


Fig. 5.2 – Esquema / protensão / viga  
(Fonte: Revista AU)

*Exemplo de ancoragem de uma viga protendida*

- |  |  |
|--|--|
| 1. Articulação fixa                      | 8. Pêndulo de concreto                         |
| 2. Vigas de concreto armado              | 9. Caixa de elevador e escadas                 |
| 3. Viga protendida 2                     | 10. Tirantes de aço                            |
| 4. Viga protendida 1                     | 11. Laje concreto armado suportada pela viga 1 |
| 5. Casca de concreto armado da cobertura | 12. Piso Paulista                              |
| 6. Casca de concreto armado              |  |
| 7. Articulações fixas de concreto        |  |

Fig. 5.3 - Legenda (Fonte: Revista AU)

Quanto aos tipos de protensão, podem ser identificados:

### 1. Pós-tração

No sistema de pós-tração, aliás o mais utilizado, os cabos embainhados são embutidos no concreto e protendidos após o endurecimento deste. Nas extremidades dos cabos existem dispositivos em condições de mantê-los esticados após a retirada dos macacos ou de outros equipamentos de protensão.

*"O pós-tensionamento é o processo de protender uma peça de concreto mediante o tensionamento dos cabos de protensão após o endurecimento do concreto. Cabos de protensão não tensionados são instalados em bainhas antes do lançamento do concreto nas formas. Após o endurecimento do concreto, os cabos são presos em uma extremidade e tensionados com um macaco contra o concreto da outra, até o desenvolvimento da força necessária. Em seguida, os cabos são ancorados na extremidade onde foram estirados pelo macaco e este é retirado". (CHING, 1999: 63)*

Os sistemas de pós-tração são agrupados em duas principais categorias:

Pós-tensionamento com aderência - processo de pós-tensionamento em que os cabos de protensão aderem ao concreto envolvente através da injeção de pasta de cimento nos espaços anulares à sua volta.

As cordoalhas ficam, assim, aderidas à pasta de injeção que, por meio das bainhas metálicas corrugadas, aderem ao concreto da peça estrutural, impedindo o movimento relativo entre as cordoalhas e o concreto.

Uma das vantagens desse sistema é que ele responde com maior segurança da estrutura em parte e no todo, diante de situações extremas, como incêndios, explosões e sismos. No entanto, seu processo de execução requer uma mão de obra mais especializada e um controle mais rigoroso, com cuidados especiais para se evitar corrosão. Além disso, devido ao atrito, pode ocorrer, com o tempo, uma perda de protensão, que deve ser prevista no projeto.

**Edifício Delamachia / Fortaleza, 1995**

Proj. arq.: Heitor Aires Jr.

Proj. estrut.: Marcelo Silveira e Denise Silveira.



Fig. 5.4 – Fachada  
(Fonte: Revista AU)



Fig. 5.5 - Ancoragem ativa  
(Fonte: Revista AU)



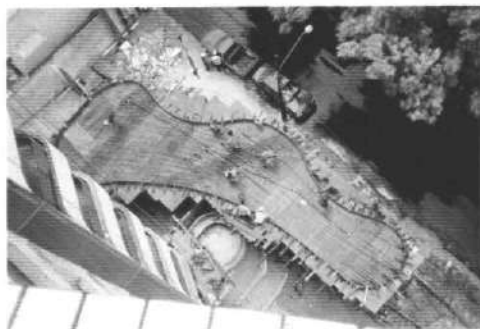
Fig. 5.6 - Ancoragem passiva  
(Fonte: Revista AU)

*Laje lisa de concreto protendido*



Fotos 5.1 e 5.2 – Execução da protensão de uma laje  
(Foto: Gerardo Santos Filho)

*Laje nervurada com faixas protendidas*



Fotos 5.3 – Execução da protensão de uma marquise  
(Foto: Gerardo Santos Filho)



Foto 5.4 – Marquise com laje protendida  
(Foto: Gerardo Santos Filho)

*A protensão possibilitou a confecção de um vão maior na marquise*

Pós-tensionamento sem aderência - processo de pós-tensionamento no qual os espaços anulares em torno dos cabos de protensão não ficam argamassados com pasta de cimento, permitindo-lhes o movimento destes no interior da peça de concreto que os envolve.

Essa forma de protensão surgiu da necessidade de se descobrir um sistema de fácil operação e baixo custo, para a execução de obras de pequenas dimensões. Já na década de 50, nos Estados Unidos, foi concedida a primeira patente de protensão a utilizar bainhas individuais de plástico, extrudadas sobre a cordoalha, garantindo um desempenho semelhante ao das bainhas metálicas, com a vantagem de não apresentar corrosão. Esse sistema é também chamado de cordoalha engraxada.

Como elemento protetor e inibidor da corrosão, uma graxa especial envolve a cordoalha antes da extrusão do plástico. Essa graxa, inibidora da corrosão, fornece também excelente lubrificação entre a cordoalha e a capa, reduzindo sensivelmente o coeficiente de atrito.

Já usados largamente nos Estados Unidos e Europa, somente nos últimos anos começaram a surgir no Brasil (e no Ceará) estes sistemas de protensão, que utilizam cabos engraxados por dentro das bainhas plásticas, eliminando a necessidade de preenchê-las posteriormente com calda de cimento. Como vantagem, os cabos engraxados podem ser substituídos a qualquer tempo, prática esta que deve ampliar mais ainda os horizontes do uso da protensão.

Outra forma de baratear a protensão recaiu no emprego da ancoragem monocordoalha. Trata-se de uma única peça de aço fundido nodular, que constitui a placa distribuidora de tensões no concreto, e serve, ao mesmo tempo de reforço radial ao bloco macho-fêmea conjugado com furo tronco-cônico (que aloja a cunha da ancoragem). Também de grande praticidade e simplicidade é a fôrma plástica que protege o furo tronco-cônico da penetração da entrada de nata de cimento, estabelecendo o correto afastamento da ancoragem em relação à fôrma, além de possibilitar a moldagem de um nicho de pequenas dimensões, o qual, após a protensão e o corte da cordoalha, é facilmente preenchível com argamassa de acabamento.

Esses sistemas, que permitem reduzir os custos e simplificar a protensão leve, já estão sendo usados com maior frequência em edifícios residenciais e comerciais.

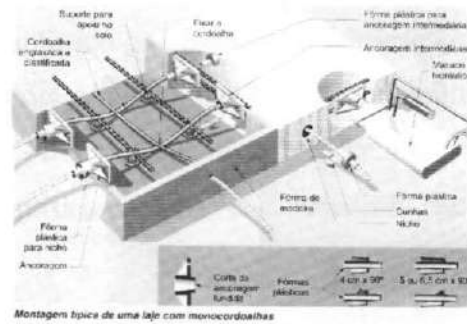


Fig. 5.7 – Esquema / laje protendida com monocordoalhas  
(Fonte: Revista Techne)

## 2. Pré-tração

A pré-tração é um tipo de protensão em que o tensionamento do aço se dá antes do lançamento do concreto. Começou a ser aplicada no Brasil aproximadamente cinco anos depois da pós-tração.

Segundo CHING (1999: 62), pré-tensão é a

*"protensão de uma peça de concreto mediante o tensionamento dos cabos de protensão antes da moldagem do concreto. Inicialmente, os cabos são estirados entre dois blocos de ancoragem até o desenvolvimento de uma força de tração pré-determinada. A seguir, o concreto é moldado em uma forma envolvendo cabos de protensão até o seu endurecimento. Por fim, os cabos são cortados e os esforços de tração deste são transferidos para o concreto por meio de tensões de aderência".*

Os fios ou cordoalhas são esticados em longas pistas de protensão e presos temporariamente em cabeceiras especialmente construídas para tal fim. Após a instalação das armaduras construtivas (estribos, ferros de amarração, ganchos, etc.) são colocadas as fôrmas, limpas e lubrificadas e é lançado o concreto, o qual é fortemente vibrado e, envolvendo as armaduras, nelas adere.



Quando o concreto atinge resistência suficiente, a armadura de protensão é liberada das cabeceiras com a ajuda de macacos. Com esta operação, a força de protensão é transferida das cabeceiras para o concreto endurecido.

Trata-se de um sistema aplicado geralmente na fabricação de peças pré-moldadas, pois permite a obtenção de peças relativamente leves, que facilitam o transporte, o manuseio e a montagem nas obras. A fabricação em usinas facilita o controle das dimensões e da qualidade do concreto, o posicionamento das armaduras, etc.

#### **5.4 Primeiras aplicações do concreto protendido no Brasil**

Quando começaram a ser constatadas as deficiências do concreto armado convencional, isto é, as indesejáveis e potencialmente perigosas fissurações, várias tentativas foram feitas no sentido de corrigir o "defeito". Uma das maneiras mais eficientes então encontradas consistia em esticar previamente a armadura, e simultaneamente aplicar no concreto forças de compressão iguais àquelas que tracionam a armadura, usando-se, para tanto, armaduras de aço doce, tracionadas e ancoradas na própria viga.

Entretanto, as tentativas, em maioria, não obtiveram sucesso devido à perda de tensão ocorrida com as deformações intrínsecas do concreto, o que praticamente anulava a protensão das barras, de tal modo que, após alguns meses, as peças também se fissuravam, como no concreto armado comum.

Segundo VASCONCELOS (1992), a primeira patente sobre a técnica do concreto protendido foi requerida em 1886, por P. H. Jackson (USA), mas a técnica só foi realmente efetivada a partir de 1928, com o engenheiro francês Freyssinet, que lançou seu sistema baseado no aço de alto limite elástico.

##### **O Sistema Freyssinet**

O concreto protendido exige a utilização de dispositivos que garantam o esticamento permanente dos cabos. Esses dispositivos são chamados "ancoragens".

*"A ancoragem do sistema Freyssinet era constituída inicialmente por dois cones de concreto: um cone fêmea, de concreto cintado, que ficava embutido na peça durante a concretagem; um cone macho feito de argamassa, com ranhuras, que se encaixava no cone fêmea e prendia os fios dos cabos entre os dois cones". (VASCONCELOS, 1992:125)*

Além da ancoragem, a patente Freyssinet abrangia também todos os detalhes do sistema: confecção dos cabos, sua vedação, macaco, modo de aplicar a protensão e fixação do cone macho.

Durante cerca de seis anos, a partir do início em 1947, a única patente explorada no Brasil foi a Freyssinet. A primeira aplicação do concreto protendido em nosso país ocorreu em 1949, na ponte do Galeão, de acesso à Ilha do Governador, no Rio de Janeiro. É uma ponte de 370 m, com vão vencido por viga simplesmente apoiada (43,40 m), que deteve o recorde mundial até 1951. Figurando como uma das primeiras aplicações da patente Freyssinet em todo o mundo, teve o próprio Freyssinet como orientador do projeto, feito na França.

Os cabos eram constituídos de 12 fios lisos de 5 mm de diâmetro, envolvidos em duas ou três camadas de papel resistente, sendo os fios e o papel pintados com tinta à base de betume. Essa maneira de confeccionar os cabos tinha por objetivo possibilitar tensioná-los após o endurecimento do concreto. O betume evitava a penetração da nata de cimento para dentro da bainha e funcionava como lubrificante por ocasião da protensão. Tratava-se, portanto de concreto protendido "sem aderência", apesar de haver posteriormente uma injeção de pasta de cimento na bainha, cuja finalidade era apenas promover uma proteção ao aço contra a corrosão.

A barragem Ernestina, no rio Jacuí (RS), executada entre 1949 e 1951, com extenso trecho protendido com cabos Freyssinet, constitui obra notável construída na época, com auxílio francês. Outro exemplo de aplicação do sistema Freyssinet de protensão ocorreu na Tribuna do Hipódromo de Porto Alegre, executada na década de 50, que possui 30 m de balanço e 15 m de contrabalanço.

A STUP - Sociedade Técnica para Utilização da Protensão é a firma que representa o sistema Freyssinet no Brasil, ainda hoje. A STUP tem participado significativamente na formação de projetistas, técnicos e engenheiros de obra, todos capacitados na

elaboração de projetos e execução de estruturas protendidas em nosso país, o qual se adaptou rapidamente às conquistas internacionais do sistema Freyssinet.

Pode-se afirmar que este sistema continua em vanguarda no mundo inteiro, com filiais trabalhando em vários países e utilizando em seus projetos as mais avançadas tecnologias.

### **Sistema Rudloff**

Depois do sistema Freyssinet, o sistema Rudloff aparece como a patente de maior repercussão no Brasil, possuindo a vantagem de ser genuinamente brasileiro.

José Rudloff Manns, engenheiro formado na Universidade do Chile, veio para o Brasil em 1952. Trabalhando em firma construtoras alemãs, teve oportunidade de realizar inúmeras experiências para determinar a melhor forma de ancorar arames de aço de 5mm, os únicos existentes no Brasil. Assim, após inúmeros estudos, ensaios e observação de desempenho da obra, estabeleceu nova patente, por ele chamada de "sistema completo de protensão", em que se apresentavam as características desejáveis num sistema de protensão.

As principais aplicações do sistema Rudloff são as seguintes:

- 3000 vigotas pré-moldadas de 5mm na Fábrica ELCLOR, protendidas com 2 fios de  $\varnothing$  5 mm. (1954);
- Dois tipos diferentes de pórticos pré-moldados tri-articulados na Fábrica ELCLOR, com vãos na ordem de 17 m (1955);
- Ponte sobre o rio Tietê, em Porto Ferrão (1956);
- Ponte Colombo Sales, em Florianópolis;
- Ponte sobre o rio Paranapanema, em Avaré, com vão de 100 m (1963);
- Anfiteatros da Escola Politécnica no "campus" da Cidade Universitária, em forma de cogumelo (1963);
- O elevador Costa e Silva - o Minhocão, em São Paulo;
- Centro Administrativo da Bahia, em Salvador;

Em 1956, apareceram as bainhas, produzidas com fitas de papel *kraft* enroladas helicoidalmente sobre os fios, pintadas com tinta betuminosa. Somente em 1958 entraram no mercado brasileiro as bainhas flexíveis, fabricadas com chapa metálica fina (0,3 mm de espessura), com "costuras" feitas em hélice. Com essas bainhas, os fios são usados sem pintura ou lubrificantes, permitindo a realização da aderência posteriormente desenvolvida, com injeção de pasta de cimento dentro das bainhas, com purgadores nos cabos a cada 20 m.

### **Outros sistemas**

Depois do Sistema Rudloff, ainda surgiram vários outros, tais como: o sistema suíço VSL, o sistema do Prof. Pfeil, o sistema Ferraz, o sistema Baur-Leonhardt, o sistema Grun & Billfinger, todos estes aplicando a protensão por meio da pós-tração e destinados principalmente ao cálculo de pontes, viadutos e barragens.

Em relação à pré-tração, o sistema somente começou a ser aplicado no Brasil uns cinco anos depois do emprego da pós-tração. O engenheiro alemão Ewald Hoyer, o primeiro a usar esse método, percebeu a necessidade de aplicar tensão prévia muito elevada ao aço, a fim de que as perdas de tensão, devidas à retração e deformação lenta, representassem fração pequena da tensão inicial de protensão.

O sistema Hoyer previa fios muito finos, de até 2 mm de diâmetro, capazes de transferir para o concreto a força de protensão através do comprimento de apenas 5 cm, adotando um concreto muito rico em cimento, com 500 kg/m<sup>3</sup>, preparado com relação água/cimento muito baixa.

A patente brasileira baseada nas idéias de Hoyer data de 1940. Em 1952, o engenheiro brasileiro Ruben Duffles Andrade adquiriu um contrato de cessão de direitos de uso do processo em todo o território nacional passando a adotar o sistema na construção de caixas d'água de uso domiciliar.

Duffles também foi o pioneiro no uso de cordoalhas de 2 e 3 fios no Brasil, empregando-as na fabricação de postes e mourões, os quais, produzidos em larga escala, passam a substituir com vantagens os mourões de concreto armado. O sistema possui

maior resistência mecânica, é mais elástico, mais durável e tem maior resistência ao fogo.

Já no final da década de 50, iniciou-se o uso dos fios de 5 mm de diâmetro na protensão por simples aderência, principalmente em estacas. Atualmente, pode-se afirmar que o emprego de cordoalhas, principalmente as de 7 fios, tornou-se generalizado, pela melhor aderência ao concreto e maior facilidade de alojamento aos fios protendidos, facilitando o adensamento do concreto.

Nas décadas de 50 e 60, a utilização do concreto protendido, de modo geral conheceu enorme expansão, constituindo hoje um dos mais importantes sistemas construtivos. Dezenas de outros processos de protensão foram desenvolvidos por diversas firmas em várias partes do mundo, sempre empenhados em resolver o problema mecânico de esticar e ancorar cabos de aço, associados com vigas de concreto.

Na década de 70, firmou-se a preferência pela utilização de cabos de protensão internos, constituídos por cordoalhas ancoradas por meio de cunhas. É um sistema mais econômico, pois permite a construção de cabos de grande capacidade, colocando-se diversas cordoalhas no interior de uma bainha metálica de diâmetro adequado.

Na opinião de Walter PFEIL (1980), atualmente o concreto protendido e o concreto armado são considerados um mesmo material, acrescentando-se no primeiro caso, o esforço de compressão que melhora o comportamento da estrutura.

### **5.5 Concreto protendido e espaço arquitetônico**

O que mais seduz os arquitetos em relação ao uso do concreto protendido em seus projetos não é o vínculo com a técnica de protensão, mas o ganho espacial dos ambientes obtidos com estruturas de grandes vãos. Seja em um museu, uma casa de espetáculos, um prédio de vários andares, o resultado da junção entre a imaginação do arquiteto e as possibilidades do concreto protendido sempre resultam em soluções bastante positivas.

O concreto protendido consegue responder com criatividade e precisão às necessidades estéticas de contar com elementos estruturais mais esbeltos e de vencer os vãos livres solicitados pelo projeto arquitetônico, proporcionando a obtenção de espaços antes impossíveis com o uso do concreto armado convencional.

A qualidade do espaço conseguido pela solução estrutural adotada causa forte impressão: a ausência de vigas, as poucas colunas, os amplos ambientes e a laje contínua provocam uma sensação de beleza e admiração pelo espaço resultante obtido.

Em prédios comerciais, o recurso da protensão é bastante utilizado, possibilitando a instalação de escritórios com ampla liberdade de *layout*, seguindo a tendência internacional de promover ambientes comerciais contínuos, sem interferências físicas de qualquer espécie.

Uma laje protendida elimina recortes e permite espaço livre para o posicionamento de divisórias e mobiliário. A solução estrutural protendida gera economia na hora das adaptações, bem como no tempo de construção, pois a facilidade de montagem das fôrmas traz grande velocidade à execução da obra.



**Edifício Atrium III**

São Paulo, 1993

projeto arq.: Roberto Affalo

proj. estrut.: eng. Aluizio d'Ávila

Fig. 5.8 - Fachada  
(Fonte: Revista AU)

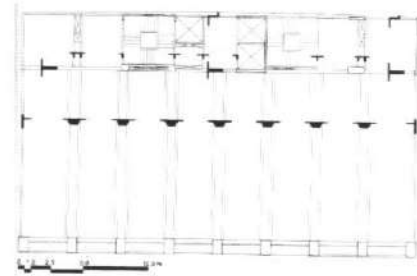


Fig. 5.9 – Planta  
(Fonte: Revista AU)

*O edifício possui vãos de 12,5 m vencidos por vigas trapezoidais de concreto protendido, sobre as quais se apoiam as lajes*

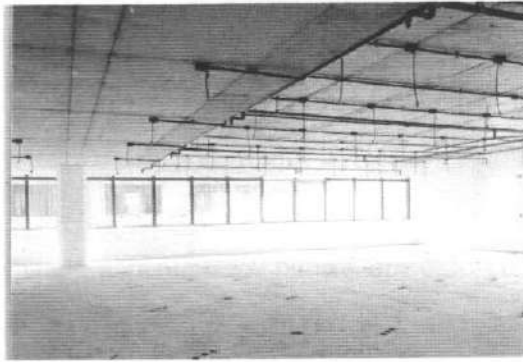


Fig. 5.10 - Foto do interior  
(Fonte: Revista AU)

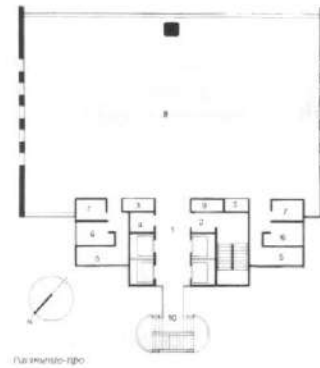


Fig. 5.11 - Planta  
Fonte: (Revista AU)

**Edifício Olympia Park São Paulo, 1994**

*projeto arq.: Miguel Juliano*

*proj. estrut.: engs. Júlio Cassoy e Mário Franco*

*Vãos de 26x24 m, sem pilares intermediários. A subdivisão dos espaços não sofre interferências, o que facilita a ocupação do pavimento tipo e das garagens.*

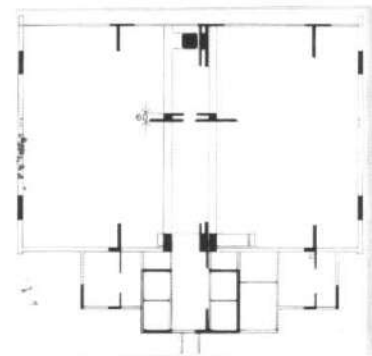


Fig. 5.12 – Planta / esquema estrutural  
Fonte: (Revista AU)

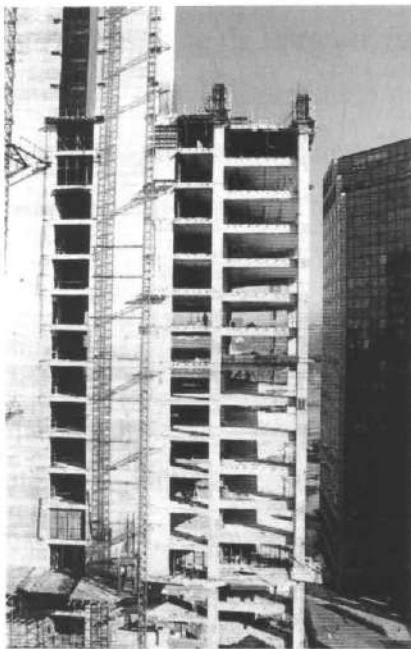


Fig. 5.13 - Edifício World Trade Center  
São Paulo, 1995 - estrutura  
(Fonte: Revista AU)

*projeto arq.: Affalo & Gasperini*  
*proj. estrut.: Rudloff VSL*

*O edifício utilizou o recurso da protensão como forma de liberar os espaços de escritório e ampliar o número de vagas no estacionamento. Um dos maiores edifícios comerciais do país, utilizou cerca de 1000 t de aço de protensão*

Vale ressaltar que a utilização estética dos recursos do concreto protendido depende da disposição do arquiteto em compreender os esforços de protensão, para deles tirar o melhor partido. Em uma estrutura simples, com uma viga apenas biapoiada, torna-se



fácil perceber as possibilidades da protensão. Se submetida a um carregamento qualquer, tal viga deverá fletir, ou encurvar-se, formando o que se chama na prática de "barriga" ou mais precisamente, de flecha. Quanto maior o vão e menor a altura do elemento estrutural, maior a flecha.

Aplicada a protensão, ocorre um esforço contrário ao carregamento, que minimiza os efeitos da flexão e reduz as deformações do concreto. Dessa maneira, elementos de menor altura podem responder a esforços que exigiriam elementos estruturais sensivelmente maiores, caso se utilizassem estruturas de concreto armado.

Os elementos de concreto protendido usados como estrutura em projetos de arquitetura, apesar de muito semelhantes aos das construções com concreto armado comum, diferenciam-se basicamente por algumas características, decorrentes do uso da tecnologia e que vão interferir na forma final da edificação: a relação entre as dimensões das peças e os vãos vencidos, e a maneira como se compõem estruturalmente os vários elementos portantes.

A relação entre as dimensões das peças e os vãos vencidos tem como consequência o resultado estético da estrutura como um todo. Ao propiciar dimensões menores para os elementos, o uso da protensão pode reduzir as massas de concreto, fazendo com que as espessuras, alturas e larguras se tornem relativamente menores, se comparadas com as distâncias entre apoios e limites das edificações.

Desta característica os arquitetos podem retirar o máximo de resultados plásticos da técnica, proporcionando ambientes mais livres e amplos, mudando as dimensões do espaço projetado. As formas do concreto também se tornam versáteis. Curvas, vãos e balanços arrojados, coberturas diferenciadas e apoios especiais podem ser introduzidos nos projetos, com a certeza prévia de que o cálculo estrutural dará uma resposta positiva, tais as opções oferecidas pela protensão.



**Teatro de Arena Parque Villa Lobos, São Paulo**  
(Fonte: Revista AU)

*projeto arq.: Décio Tozzi*  
*projeto estrut.: Ugo Tedeschi*

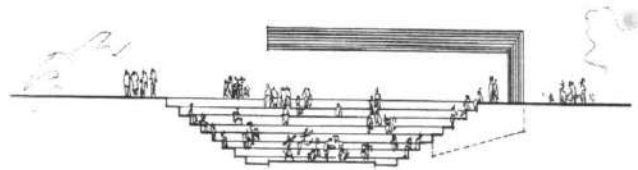


Fig. 5.14 - Foto - (Fonte: Revista AU)

Fig. 5.15 - Corte esquemático (Fonte: Revista AU)

*A construção se tornou um marco escultural da paisagem urbana. Figura como destaque da obra a grande haste de iluminação que pende sobre o balanço do palco. O concreto protendido foi o recurso técnico que possibilitou a execução do desenho*

No Museu da Escultura, em São Paulo, por exemplo, o arquiteto Paulo Mendes da Rocha projetou um pórtico, cujo fechamento horizontal se constitui de uma viga-laje simplesmente biapoiada, com 60m de vão. A protensão, no caso, além de possibilitar o vão amplo, minimiza as deformações, mantendo a forma imaginada pelo arquiteto. Em peças como essa, cabos de aço, tecnicamente chamados de cordoalhas de protensão, são instalados no seu interior em forma de arco invertido e, em seguida, tracionados (protendidos) em suas extremidades. Tais cabos tracionados exercem uma força para cima em toda a extensão da peça.

Em concreto armado comum, o projeto deveria prever uma viga com altura de cerca de 3m. para vencer o vão de 60m. Para esse mesmo vão, a viga protendida ficou reduzida em 1/3, isto é, com 2m de altura.

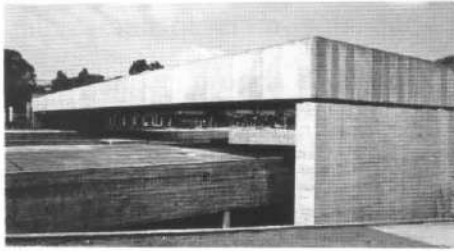


Fig. 5.16 - Foto (Fonte: Revista AU)

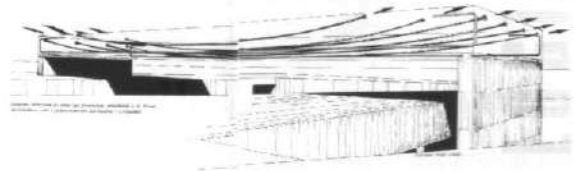


Fig. 5.17 - Esquema / viga protendida (Fonte: Revista AU)

**MUBE / São Paulo, 1991**

*projeto arq.: Paulo Mendes da Rocha*

*projeto estrut.: eng. Mário Franco*

Quanto à maneira como se compõem estruturalmente os vários componentes estruturais, as soluções em concreto protendido colocam à disposição do arquiteto elementos que nem sempre constam no repertório dos projetos de edificações. Algumas junções estruturais entre lajes, vigas e pilares, podem se transformar em parcelas importantes da forma final da edificação.

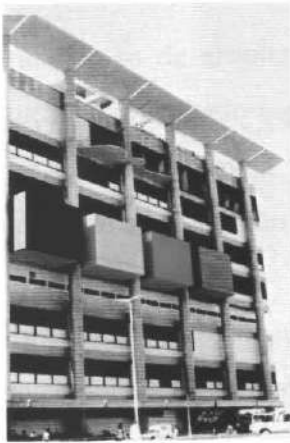


Fig. 5.18 - Fachada (Fonte: Revista AU)

**Prédio Instituto José Frota  
Fortaleza, 1992**

*projeto arq.: José Sales Costa  
Filho, Antônio Carlos Medina e  
Marcondes Lima*

*proj. estrut.: Marcelo Silveira e  
Denise Silveira*

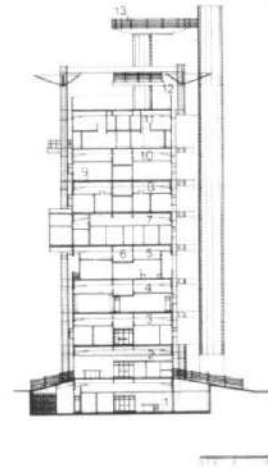


Fig. 5.19 - Corte (Fonte: Revista AU)



Foto. 5.5 - Detalhe

*A estrutura do edifício é um elemento componente da expressão plástica. O uso do concreto protendido possibilitou grandes vãos inteiramente livres de pilares, permitindo layouts diferenciados e modificações futuras*

É interessante observar, pois, que a protensão pode trazer para os projetos arquitetônicos uma linguagem própria de outros campos de atuação da engenharia de estruturas, pouco usuais nas edificações. Aparelhos de apoio, juntas de dilatação, apoios móveis, capitéis, que são elementos comuns em obras de viadutos, pontes, passarelas. Essa "linguagem", transferida para a arquitetura, se deve em grande parte aos nós estruturais, aos encontros dos elementos que compõem o esqueleto portante. Esses "adornos" estruturais se tornam, assim, elementos complementares ao repertório de quem projeta ou observa a arquitetura.

Nem sempre o uso do concreto protendido decorre de necessidades arquitetônicas de formular grandes vãos ou de reduzir dimensões de elementos estruturais. A solução protendida surge, em alguns casos, como meio de viabilizar determinados empreendimentos, condicionados aos locais de implantação. A exemplificação se torna mais facilmente compreensível ao se levar em conta a estrutura de uma ponte ou de um viaduto sobre determinado acidente geográfico.

Tratando-se de arquitetura, em geral, é também freqüente o emprego da técnica em função do resultado espacial almejado, embora, algumas vezes, a intenção do arquiteto vise, por exemplo, a vencer obstáculos e distâncias, sejam estas simbólicas ou em função da ambientação que pretende conseguir.

Um dos exemplos mais significativos neste sentido são as rampas protendidas projetadas por Vilanova Artigas no prédio da FAU - USP. Fisicamente esbeltas, vencem a distância entre a entrada e o interior do prédio, separando espaço da rua e circulação de alunos e professores, no interior da edificação. De forma simbólica, a rampa une o espaço da cidade ao espaço do conhecimento, ou seja, o estudo da arquitetura ao do urbanismo.

**Rampas FAU / USP, 1961**  
*projeto arq.: Vilanova Artigas*

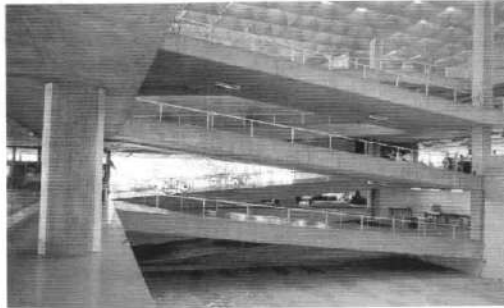


Fig. 5.20 – Foto - (Fonte: Revista AU)



Fig. 5.21 – Foto - (Fonte: Revista AU)

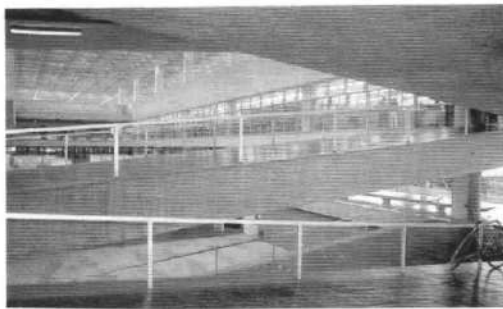


Fig. 5.22 – Foto - (Fonte: Revista AU)

Essa técnica de explorar os vãos na superação ou na transição entre ambientes, pode ser manejada com maestria por arquitetos, quando da definição de pórticos, abóbadas e cascas, viabilizados pelo uso do concreto protendido.

## Capítulo 6

# Novas técnicas do concreto armado

**A** pesar do emprego disseminado do concreto protendido, nos últimos anos têm-se intensificado as pesquisas relacionadas com novas técnicas do concreto armado, surgindo novas opções para uso do material.

A necessidade de se promoverem avanços na qualidade do concreto foi percebida em função de dois aspectos principais:

- resistência mecânica - necessidade de superar as limitações do concreto, quando comparadas com o aço, principalmente em estruturas de edifícios muito altos;
- durabilidade - necessidade de superar o rápido envelhecimento das estruturas de concreto armado, decorrente da infiltração de água nos capilares, da carbonatação do concreto, da despassivação e da conseqüente oxidação das armaduras.

Para se resolverem tais questões, impunha-se um afastamento do uso do concreto armado comum, quer pela sua baixa resistência à tração, quer pelos problemas de deterioração e necessidade de manutenção, e procurar, enfim, alternativas no sentido de se superarem tais deficiências.

O concreto armado convencional tem sido, pois, constantemente objeto de pesquisas, em busca de aperfeiçoá-lo e melhorar seu desempenho. Além do concreto protendido, outras novas técnicas, como concreto de alta resistência, concreto de alto desempenho, concreto com fibras e outros tipos expostos nos itens seguintes têm sido utilizadas:

## 6.1 Concreto de alta resistência - CAR

Para misturas feitas com agregados normais, os concretos de alta resistência são aqueles que têm resistência à compressão maior que 40MPa. Para produzir concretos que resistam a mais de 40 MPa (o concreto convencional geralmente possui resistência entre 20 e 40MPa), são necessários controle de qualidade severo e mais cuidado na seleção e dosagem dos materiais.

As pesquisas feitas no sentido de se obter concreto de maior resistência resultaram primeiramente no uso de aditivos plastificantes, os quais permitem trabalhar com relação água/cimento inferiores a 0,5. Foi, contudo, o desenvolvimento de superfluidificantes que permitiu o aperfeiçoamento dessas técnicas, obtendo-se padrões de relação água/cimento iguais a 0,3, gerando resistências de 40MPa ou mesmo mais. Atualmente, pode-se dizer que concretos com resistência à compressão acima de 100 MPa são produzidos com relativa facilidade.

Os superfluidificantes, além de aumentarem a resistência do concreto, mantêm e chegam a melhorar sua trabalhabilidade. Esses elementos são produtos orgânicos, tais como os condensados de formaldeído e melamina sulfonada ou o naftaleno sulfonado, que evitam a floculação dos grãos de cimento, eliminando portanto a água que fica presa nos flocos. A redução na relação água/cimento produz um concreto mais resistente porque o torna mais compacto, com menor porosidade e menos microfissuras. Além disso, na ruptura dos corpos de prova dos concretos de alta resistência, observa-se que os agregados se rompem também diferentemente do concreto comum, no qual a ruptura ocorre em torno dos agregados.

### Aplicações

O uso de concretos de alta resistência oferece, na maioria dos casos, a solução mais econômica para estruturas de edifícios altos, além de proporcionar significativa redução nas dimensões dos pilares, resultando em ganho de espaço e melhoria das proporções estéticas dos edifícios.



Nos Estados Unidos, nos últimos 30 anos, o concreto de alta resistência vem sendo bastante usado, principalmente em estruturas de edifícios com mais de 30 andares, nas áreas metropolitanas de Chicago, Nova York e Houston. Nestes edifícios são usados concretos com resistências não inferiores a 60 MPa. Na cidade de São Paulo e em outras cidades brasileiras (inclusive Fortaleza) também já podem ser identificadas inúmeras obras que fizeram uso de concreto de alta resistência



Foto 6.1 - Shopping Avenida / Fortaleza

*proj. arq.: Nasser Hissa Arquitetos Associados  
proj. estrutural: eng. Dácio Carvalho*

*Estrutura do subsolo executada com concreto de alta resistência*

## 6.2 Concreto de alto desempenho - CAD

Outra forma de aumentar a resistência do concreto é melhorar a sua composição granulométrica, com a adição de materiais que possam preencher os vazios entre os grãos de cimento. Esses agregados ultrafinos são constituídos de calcário ou de sílica ativa.

A adição da sílica ativa, assim como de superfluidificantes, contribui para melhorar propriedades reológicas do concreto, a granulometria do traço, além da resistência do produto como um todo. O emprego de aditivos, combinado às vantagens da sílica ativa e das fibras, propicia a obtenção de concretos cujas características vão além da elevada resistência.

Esse é o concreto chamado de alto desempenho, ou CAD, ou ainda HPC (High Performance Concrete). Neste caso, além da melhoria da resistência, ocorre também um aumento da durabilidade, em consequência do aumento da impermeabilidade do concreto aos fluidos, em face da redução da porosidade e da microfissuração. O

concreto de alto desempenho, portanto, apresenta maior trabalhabilidade enquanto fresco, tornando-se mais compacto após o endurecimento, mais impermeável e mais resistente que o concreto comum. Assim sendo, permite a construção de estruturas mais delgadas e com menor volume de concreto.

Deste modo, o concreto de alto desempenho combina características de alta resistência, alta trabalhabilidade e grande durabilidade, apresentando diversas vantagens em relação ao concreto comum:

- redução das dimensões dos elementos estruturais - permite ampliar a área útil dos pavimentos, otimizando também o espaço das garagens nos subsolos;
- maiores alturas - permite a construção de edifícios mais altos, porque apresenta grande resistência à ação dos ventos, substituindo com vantagens as estruturas de aço. Nessa perspectiva, o concreto de alto desempenho é uma inovação decisiva para o surgimento de uma nova geração de edifícios muito altos;
- maior durabilidade - dispensa as manutenções constantes solicitadas pelas estruturas de concreto armado comum. O concreto de alto desempenho vem resgatar a confiança na durabilidade dos concretos, permitindo o retorno do emprego do concreto aparente, tão comum nas construções das décadas de 60 e 70, e abandonadas devido à pouca durabilidade. As superfícies do concreto de alto desempenho são menos porosas, reduzindo a absorção da umidade e a formação de fungos, mantendo por mais tempo seu aspecto original;
- maior impermeabilidade do concreto de alto desempenho e baixa porosidade - confere maior proteção às armaduras, evitando o aparecimento de óxido de ferro na superfície, possibilitando assim a execução de obras onde o ambiente é mais agressivo, como é o caso de construções marinhas;
- permite a reutilização de formas;
- particular adequação à produção de pré-moldados - permite concretagem por bombeamento, possibilitando a confecção de peças muito esbeltas, por ser mais resistente, e também favorece a recuperação mais rápida das formas, por ser mais trabalhável.

Por tudo isso, o concreto de alto desempenho oferece um rico potencial para o desenvolvimento de novas soluções estruturais e arquitetônicas. Além de propiciar a execução de edifícios muito altos, torna viável novamente o uso do concreto aparente, além de tornar mais eficaz o uso de pré-moldados. Segundo o prof. Paulo Helene, da Poli-USP, *“o CAD será o caminho para a recuperação da imagem do concreto como solução estrutural duradoura, agora em bases reais”*. (HELENE apud ROCHA, 1997: 16).

### **O emprego do CAD no Brasil**

Apesar das inúmeras vantagens enumeradas, e ser bastante utilizado em alguns países do mundo, como Noruega, França, Estados Unidos, Canadá e Japão, o concreto de alto desempenho ainda tem uso restrito no Brasil. Acredita-se que o baixo emprego do CAD no nosso país seja em parte pela não existência de uma norma específica, pelo pouco conhecimento das especificações, pela exigência de um rigoroso controle de qualidade e certo temor quanto à execução na obra, já que exige mão de obra mais especializada. O fator custo também é levado em consideração, já que o preço da sílica ativa e dos superfluidificantes é elevado. Entretanto, para determinados casos, seu uso é aconselhado e pode até tornar-se economicamente viável, pelo ganho de área útil e reutilização das formas, além do menor custo de manutenção e aumento da vida útil da estrutura.

Sabe-se que atualmente algumas firmas de concreto brasileiras já têm condições de fornecer concreto de alto desempenho a um custo de cerca de 20% superior ao do concreto convencional. Entretanto, pesquisas feitas em duas obras em S. Paulo, evidenciaram que o custo final da obra indica empate com o concreto convencional, mas com vantagens no ganho de área e na resistência da estrutura.

As vantagens técnicas e econômicas do CAD não diminuem o fato de que este tipo de concreto necessita de cuidados bastante precisos de execução e produção, além de requerer projetos concebidos especificamente. O controle de qualidade do cimento, dos agregados, da relação água/cimento e da dosagem de aditivos exige estrito acompanhamento da execução na obra e rigoroso controle de cura.

Entre as obras arquitetônicas conhecidas mundialmente que utilizaram essa técnica, podemos citar o Arco de la Défense, em Paris, e as torres gêmeas, um arranha-céu com mais de 100 pavimentos e 452m de altura, projetado pelo escritório americano Cesar Pelli & Associates, e construído em Kuala Lumpur, na Malásia, em 1997.



Fig. 6.1 - Arco de la Défense / Paris 1986  
(Fonte: CURTIS)

proj. arq.: J. O.Spreckelsen

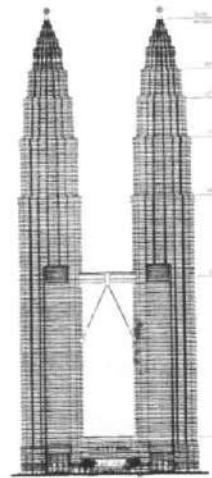


Fig 6.2 - Torres Kuala Lumpur / Malásia, 1991  
(Fonte: Revista AU)

proj. arq.: Cesar Pelli Associates

O edifício utilizou  $f_{ck}$  de 80 MPa

No Brasil, algumas obras importantes empregaram ou estão empregando o CAD, como o Tribunal da Justiça em Brasília, projeto de Oscar Niemeyer, a Estação de metrô Consolação, e o edifício Centro Empresarial das Nações Unidas, em São Paulo. Essas obras vêm recorrendo a resistências da ordem de 60 MPa. Sabe-se que no Canadá já estão sendo usados concretos com resistências de até 110MPa para edifícios muito altos.



Fig 6.3 - Centro Empresarial Nações Unidas / São Paulo, 1998  
(Fonte: Revista AU)

proj. arq.: Botti & Rubin

proj. estrutural: Júlio Cassoy e Mário Franco

Edifício mais alto do país, e primeiro a utilizar concreto de alto desempenho: 41 andares e 4 subsolos erguidos, nas áreas sujeitas a esforços de compressão (pilares) com concreto de 50 MPa, lajes protendidas de 35 MPa e 23 cm de espessura. Foram consumidos 11.000 m<sup>3</sup> de concreto com 8% de sílica ativa e plastificante"

### 6.3 Pré-fabricação industrial

A pré-fabricação de elementos de concreto armado é antiga e está ligada ao próprio processo de elaboração do produto. Entretanto, eram usadas técnicas artesanais ou semi-industrializadas. A evolução das técnicas conduziu à completa industrialização do material, agora usado também como elemento estrutural (protendido).

Bastante comum em obras no exterior, no Brasil começa a se empregar essa técnica, que apresenta vantagens, pois as peças pré-moldadas possibilitam variedades no acabamento. São peças fabricadas em pista de protensão contínua, dispensando escoramentos e fôrmas em toda a obra, com relativa resistência ao fogo e permitem a integração com outros sistemas construtivos. Terminada a montagem, as aberturas recebem vedação interna e externa, que também podem ser pré-fabricadas.

Além das vantagens de montagem simples dispensando o uso de mão de obra especializada, fácil manutenção e maior velocidade das obras, essas peças também se caracterizam pelos espaços vazios existentes, dispostos com a dupla finalidade de permitir a passagem das instalações e de reduzir o peso, redundando em economia nas fundações.

O rápido desenvolvimento do mercado de pré-fabricados tem atraído várias empresas para a área, trazendo inovações tais como a produção de painéis com acabamento, prontos para serem aplicados na obra.

#### **Painéis de fachadas pré-fabricados**

Empregados na Europa desde os anos 40, os grandes painéis de fachada conquistaram espaço nos Estados Unidos na década de 50, por ocasião da construção do edifício Lakes for Diving, em Chicago. Este prédio, foi, aliás, marco inicial da execução de fachadas pré-fabricadas em larga escala.

No Brasil, esses painéis começam a ser usados de forma relevante e seu emprego tem se intensificado nos últimos anos. Geralmente compostos de uma camada de concreto e outra de textura, oferecem um leque de opções variadíssimo, ampliando as possibilidades de escolha do arquiteto e economizando tempo de projeto e de obra.

As fachadas pré-fabricadas permitem ao arquiteto elaborar projetos com variações geométricas, de texturas de superfície e de cores. A possibilidade mais simples é o uso de painéis de fachada lisos, que oferecem inúmeras opções de acabamento, com os mais diversos tipos de revestimento. Os painéis são encaixados em estruturas de concreto convencionais ou metálicas, tornando-se peças-chave na construção.

### **A pré-fabricação na obra de João Filgueiras Lima - Lelé**

Considerado o introdutor do emprego da técnica de pré-moldados em concreto em grande escala, o arquiteto João Filgueiras Lima desenvolveu processos que trouxeram para sua obra características bastante peculiares. Seus projetos são regidos por uma estrita coordenação construtiva e modular, desde a concepção estrutural, até a expressão plástica.

Já em 1962 o arquiteto utilizava pré-moldados, como no projeto de apartamentos para professores da Universidade de Brasília. Desde então, em prédios da Universidade de Brasília, no Hospital da rede Sarah, da Capital Federal, nos edifícios do Centro Administrativo da Bahia, passando pelas peças de argamassa armada, até às estruturas de aço produzidas em Salvador, Lelé desenvolveu uma tecnologia construtiva própria, criando obras de grande expressão e apuro técnico. Projetou escolas, hospitais, centros de vivência, mercados, elementos de consolidação de morros e favelas, além de mobiliário urbano. Essas obras foram concebidas pensando em racionalidade, economia de materiais, de recursos naturais, etc.

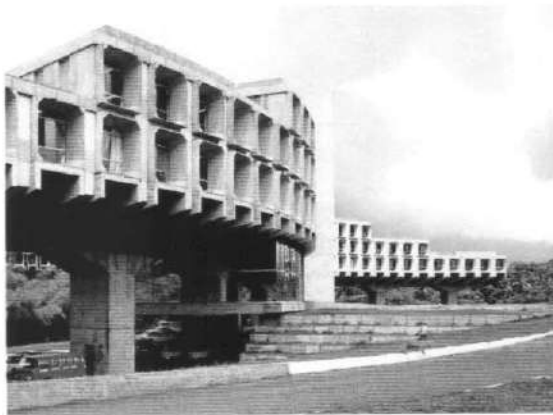


Fig 6.4 - Fachada (Fonte: LATORRACA)

Secretaria Centro Administrativo da Bahia

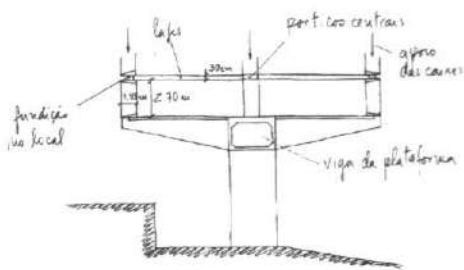


Fig 6.5 - Corte esquemático (Fonte: LATORRACA)

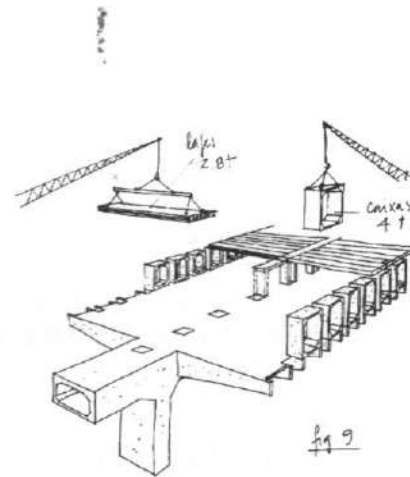


Fig 6.6 - Esquema de montagem das peças (Fonte: LATORRACA)

Abrigo de ônibus / RJ



Fig 6.7 - Foto - (Fonte: LATORRACA)

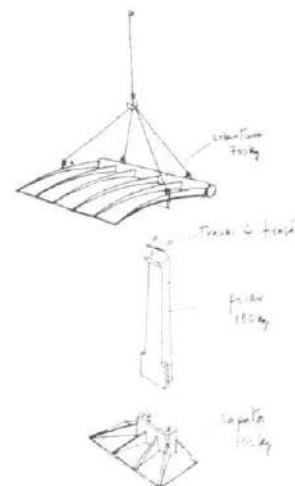


Fig 6.8 - Esquema de montagem das peças (Fonte: LATORRACA)





Fig 6.9 - Hospital Sarah / Fortaleza – vista externa  
(Fonte: LATORRACA)

A aplicação de pré-moldados, em sua obra, se revelou não apenas como saída para construções de baixo custo, mas também por possuir grande flexibilidade espacial e formal.

*"A padronização e disciplina que estabelecemos para a construção nos indicam utilização em grande escala de pré-fabricação de elementos estruturais como fator ponderável de redução do custo da obra, de garantia de qualidade dos acabamentos e de diminuição dos prazos usuais de execução". (FILGUEIRAS LIMA apud LATORRACA, 2000:122)*

O emprego da técnica da industrialização em aço e pré-moldados leves em argamassa armada e concreto exigiu a montagem de um grande canteiro de obras em Salvador, que se transformou posteriormente no Centro de Tecnologia, destinado a produzir peças para construir e equipar todos os hospitais da rede Sarah e demais obras do arquiteto.

#### **6.4 Concretos de pós-reativos - CPR**

Pesquisas realizadas na França e no Canadá, desde 1990, vêm desenvolvendo o concreto de pós-reativos - um concreto de alta ductilidade, extremamente resistente, que dispensa qualquer armadura passiva e é impermeável à água e aos gases. Criado a princípio para substituir o concreto de alta resistência e até o aço, tornou-se material de tecnologia de ponta, projetado especificamente para atender a exigências industriais e militares.

O concreto de pós-reativos pode atingir resistências entre 200 e 800 MPa, muito elevadas, principalmente quando comparadas com as do concreto convencional (até 60 MPa) e as do CAD (de 60 a 120 MPa).

Tabela comparativa entre dosagens diferentes de concretos para a mesma estrutura					
CPR (kg/m <sup>3</sup> )		Convencional (kg/m <sup>3</sup> )		CAD (kg/m <sup>3</sup> )	
cimento	710	cimento	350	cimento	450
areia	1020	areia	700	areia	650
brita	-	brita	1100	brita	1100
aditivo plastificante	-	aditivo plastificante	1	aditivo plastificante	1,5
água	140	água	180	água	180
silica	230	silica	-	silica	40
aditivo super	13	aditivo super	-	aditivo super	5
pó quartzo	210	pó quartzo	-	pó quartzo	-
microfibra	160	microfibra	-	microfibra	-
aço	-	aço	-	aço	-
Água/Aglomerante 0,17		Água/Aglomerante 0,51		Água/Aglomerante 0,37	
Abatimento > 200 mm (flow)		Abatimento 60 mm		Abatimento 120 mm	
Resistência à compressão 200 MPa		Resistência à compressão 25 MPa		Resistência à compressão 70 MPa	

Fonte: Monobeton

Fig 6.10 - Tabela de dosagem de concreto  
(Fonte: Revista Techne)

Compostos basicamente de areia de quartzo e sílica ativa, além de fibras de aço, superfluidificantes e água, os CPR são fabricados de forma semelhante aos concretos convencionais, porém com baixíssima relação água/cimento (cerca de 0,15).

A microestrutura é a chave do CPR, pois confere porosidade mínima, permeabilidade no limiar da medição e portanto, excepcional durabilidade. Comparado ao concreto comum, observa-se uma total mudança estrutural dos hidratos, que se traduz por uma estrutura contínua da fase aglomerante na escala microscópica.

O CPR é também praticamente impermeável à água, assim como à penetração de agentes agressivos. A ausência de poros capilares garante a elevada resistência ao gelo/degelo e a quase inexistência de retração não permite a ocorrência de variações volumétricas.

A utilização dos concretos de pós-reativos se dá sobretudo na construção de estruturas especiais leves, tabuleiros de pontes, vigas, colunas, passarelas, placas de revestimento de fachadas, etc.

No âmbito estético, o CPR é utilizado sobretudo em revestimentos de fachadas. Painéis planos ou curvos, de grandes dimensões, compostos de placas de apenas 10 mm de

espessura recebem somente um acabamento superficial e constituem uma solução inovadora em relação aos sistemas atuais de concreto. A utilização de armadura protendida permite obter estruturas muito finas graças ao pequeno cobrimento dos cabos, assemelhando-as esteticamente às estruturas de aço.

Assim sendo, as qualidades mecânicas do CPR permitem executar peças nunca antes imaginadas, oferecendo grande liberdade para a definição de novas formas arquitetônicas. Devido às suas características de reduzida permeabilidade, este material vem sendo também usado para a confecção de contenedores de alta integridade - depósitos destinados a armazenamento de elementos radioativos desenvolvidos em parceria com organizações de controle ambiental.

Conquanto ainda desconhecido no Brasil, o concreto de pós-reativos já vem sendo utilizado em algumas construções nos Estados Unidos, Canadá, Europa e Ásia.

## **6.5 Concreto auto-adensável**

Um novo tipo de concreto, dito auto-adensável, já está sendo comercializado na Europa (França) como resultados das pesquisas realizadas pelo CSTB - *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*.

Esse tipo de concreto é adequado para utilização em peças com alta densidade de armadura e dispensa a etapa de vibração. Ao lançá-lo na forma ele se adensa por gravidade, sem a formação de bolhas ou vazios, atingindo resistências de até 40 MPa.

Isso acontece pela adição de aditivos superplastificantes de última geração, redutores de retração, brita de pequeno diâmetro e uma taxa mais alta de cimento. Esta nova tecnologia já está sendo pesquisada pela ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, para adequá-la às condições locais e às exigências do mercado brasileiro.

## **6.6 Concreto reforçado com fibras metálicas**

A adição de fibras de aço ao concreto é uma técnica recente que vem sendo aplicada ultimamente em algumas obras. Trata-se de artifício empregado com a finalidade de

tornar o concreto mais dúctil, levando em consideração a capacidade de resistência do material à tração sem uma ruína brusca.

Segundo estudo realizado pelo Professor VASCONCELOS (1998), quando se ensaia uma laje de concreto simples, ela se rompe, dividindo-se em várias partes. A laje reforçada com fibras, entretanto, ao romper-se conserva unidas entre si as partes separadas pelas trincas, em razão das fibras que atravessam a seção rompida. E mesmo depois de fissurada, a laje continua resistindo, porque há redistribuição de cargas, que são transferidas para as partes não trincadas.

O uso de fibras metálicas, pois, por suas características de grande ductilidade e elevada resistência às tensões, oferece um controle mais eficaz das fissuras, e confere vantagens a determinados tipos de estrutura, tais como: lajes sobre o solo (pisos industriais, lajes de estrada, pistas de aeroportos), tubos de concreto simples, lajes submersas, e painéis pré-moldados para a construção de edifícios. As fibras de aço são usadas também em concretos de alto desempenho, tornando-os “mais macios” por ocasião da ruptura.

Já utilizado em obras de porte no Canadá, e em alguns países da Europa, o concreto reforçado com fibras ainda é pouco empregado no Brasil e não existe normalização nacional sobre o assunto, sendo necessário portanto recorrer-se a normas estrangeiras quando preciso.

## **6.7 Técnicas de recuperação do concreto**

As últimas pesquisas envolvendo a tecnologia do concreto confirmam tendências dirigidas à mecanização do manuseio, à valorização estética do material e à recuperação de construções desgastadas, enfim, tendências voltadas para a valorização do material, aproveitando suas propriedades mecânicas. A par da oferta de novas opções estéticas, tem sido dada também atenção especial à recuperação e reforço de estruturas.

Durante muito tempo, o concreto foi usado com maiores preocupações quanto à resistência mecânica e estrutural do que quanto à durabilidade. Atualmente, têm sido feitas pesquisas no sentido de apresentar soluções que visem à recuperação do substrato, ao reforço estrutural e à prevenção de patologias. Fibras e materiais sintéticos

incorporados ao concreto têm ganho espaço por proporcionarem melhor desempenho, facilidade de instalação, pouca interferência espacial e durabilidade.

No Brasil, o clima tropical, quente e úmido, favorece os fenômenos de deterioração das estruturas. O problema está ligado basicamente à existência de gases ácidos, movimentações térmicas e fungos. Tudo isso conduz à ocorrência de um ambiente ácido envolvendo as estruturas, característico das atmosferas marítimas ou urbanas industriais. A corrosão das armaduras é o problema mais comum relacionado com a deterioração das estruturas de concreto, e as causas são freqüentemente associadas à contaminação com cloreto ou à carbonatação.

Ocorre uma situação que exige sejam feitos, periodicamente, serviços de reforço e manutenção para que as estruturas não percam suas propriedades mecânicas. A terapia recomendada consiste em executar uma recuperação parcial ou total, mediante reforço dos elementos comprometidos, devolvendo ao conjunto as condições mínimas de segurança exigidas.

Atualmente, torna-se mais viável, em termos econômicos, promover o reforço de estruturas e edificações, em vez de demolí-las, de sorte que a demanda por reparos e manutenção aumenta dia a dia. A recuperação estrutural constitui, pois, uma resposta ao problema do envelhecimento das obras.

Existem alguns métodos de recuperação de estruturas, dentre os quais se assinalam:

- Aplicação de reforço com chapas de aço

Trata-se de técnica simples, econômica, eficiente e de fácil aplicação, permitindo reforçar o elemento danificado, sem que haja aumento significativo nas seções. O sistema consiste na colocação de chapas de aço coladas com resina epoxi na face tracionada, aumentando sua resistência e rigidez. O inconveniente deste método é a corrosão que se instala na peça após algum tempo de exposição às intempéries, podendo comprometer a resistência.

- Concreto reforçado com fibras:

Novas pesquisas têm sido feitas, entre as quais se inclui um método de reforço desenvolvido no Japão, que combina fibras sintéticas e resina. A resistência

das estruturas pode elevar-se mais do que com as chapas de aço, acrescentando apenas 1 cm na seção das peças. Pouco empregadas no Brasil, as fibras sintéticas apresentam, como grande vantagem, permitir a execução de reforços com pequeno aumento na seção de peças estruturais, mesmo com o revestimento. O concreto reforçado com fibras é muito mais tenaz e mais resistente ao impacto. O advento do reforço com fibras aumentou a versatilidade do concreto como material, superando suas características de fragilidade.

- Re-alkalinização - o objetivo deste método não destrutivo é permitir que o concreto carbonatado readquira uma condição suficientemente alcalina para o restabelecimento e manutenção da camada passivadora de óxido de ferro sobre a superfície das armaduras, sob o efeito de uma corrente eletroquímica temporária, sem que com isso seja necessária a remoção do concreto sã.
- Dessalinização - o processo, desenvolvido na Noruega nos anos 80, remove os íons cloreto do concreto, também sob a influência de uma corrente eletroquímica temporária, aplicada entre a armadura de aço no interior do concreto e uma malha de aço inserida numa solução alcalina, montada externamente à superfície do concreto.

Em relação ao sistema de recuperação e reforço com fibras, existe vasta gama de aplicações em obras de arte, em edificações e até em paredes e outros elementos de fechamento de alvenaria e concreto. O controle da qualidade de aplicação do sistema recebe um acompanhamento rigoroso dos fornecedores. As empresas exigem relatórios técnicos para cada recuperação executada. O maior entrave para a popularização das fibras como reforço estrutural no Brasil é o preço da instalação, ainda bastante elevado, pois chega a R\$1.000,00/m<sup>2</sup>, ou seja, aproximadamente US\$ 400,00.

Quanto aos dois últimos métodos abordados, realcalinização e dessalinização, ambos são de curta duração e geram interferência mínimas com relação à poluição atmosférica, geração de pó e barulho. Estes processos são monitorados e gerenciados por uma unidade retificadora controlada por computador, garantindo a eficiência do tratamento.



## 6.7 Tendências de evolução

Nos dias atuais, quando o progresso tecnológico se faz tão rápido, é sempre difícil prever o futuro de um material ou de uma técnica de construção. A tecnologia do concreto armado está em constante evolução. Os caminhos se mantêm abertos e novas possibilidades, sem dúvida, ainda surgirão.

Sabe-se, entretanto, que a engenharia de estruturas tem evoluído em decorrência de uma junção de vários fatores: arquitetura, ferramentas disponíveis, avanço da tecnologia, imposições do meio ambiente, atendimento a novas necessidades sociais, surgimento de novos materiais e novas opções de tecnologia construtiva.

Assim, acredita-se que o concreto armado continuará sendo ainda por muito tempo o material estrutural predominante no mundo, com a expectativa de que, devido ao constante aperfeiçoamento de suas propriedades e técnicas, um produto ainda melhor seja oferecido no futuro.

Segundo HELENE (apud SANTIN, 1999),

*"Atualmente, há duas principais vertentes de pesquisas em relação ao desenvolvimento tecnológico das estruturas de concreto: a de controle de qualidade, de produção e tecnologia do concreto, que envolve dosagem, controle estatístico e propriedades especiais; e a área de patologias, no que se refere ao diagnóstico e à correção de problemas em estruturas de concreto".*

Em relação ao controle das obras de concreto armado, recomenda-se que não deva ficar restrito aos laboratórios. Assim, antes da execução, faz-se necessário controlar os projetos e, durante a execução, controlar as operações de confecção do material. A ação de muitos órgãos técnicos especializados, em busca de fazer do concreto um material digno de confiança, tem contribuído a evitar inúmeros desencontros entre projeto e execução.

No que se refere às patologias, percebe-se ultimamente uma preocupação crescente com a durabilidade das estruturas de concreto armado. As normas brasileiras que regem o cálculo e a execução dessas estruturas vêm sendo alteradas no sentido de aumentar os



coeficientes de segurança exigidos para o concreto, garantindo maior qualidade e durabilidade das obras.

Os notáveis progressos alcançados pelas grandes estruturas de concreto armado se devem também aos recentes estudos sobre a constituição interna dos componentes, bem como sobre o comportamento do material sob ação de forças externas. Esses estudos, que levam a um conhecimento cada vez maior do concreto armado e de suas possibilidades estáticas, têm permitido, nos últimos anos, a realização de obras grandiosas.

Deve-se também ressaltar a contribuição dos modernos procedimentos tecnológicos usados para a fabricação do concreto com adequada maquinaria, e, como foi visto, o emprego do cimento de alta resistência e dos aços especiais, a aplicação de elementos pré-fabricados e de sistemas de protensão, que têm aberto novos horizontes ao concreto armado.

A estes novos procedimentos técnicos devem também acrescentar-se os progressos dos métodos de cálculo, mais diligentes, em consequência da introdução de novos procedimentos analíticos, mecânicos, eletrônicos, cujo emprego vai criando um campo experimental bastante promissor.

## Capítulo 7

# O concreto armado em Fortaleza

O capítulo trata da análise do emprego do concreto armado em Fortaleza, desde os primórdios do seu emprego, mencionando seu desenvolvimento até as realizações mais recentes, ou seja, focaliza a evolução da técnica no ambiente construído e é ilustrado com diversos exemplos demonstrativos.

### 7.1. Antecedentes

A primeira parte do capítulo faz uma breve descrição da cidade de Fortaleza, desde a sua fundação, assim como do aspecto da cidade antes do surgimento da técnica do concreto armado. A seguir, faz-se referências às primeiras aplicações da técnica, destacando-se o projeto dos pavilhões da Rede de Viação cearense, cujo cálculo é de autoria de Emílio Baumgart.

#### 7.1.1 Algumas informações relativas à cidade de Fortaleza

Pequena aglomeração nascida em torno do forte de N. S. da Assunção em meados do século XVII, e elevada a vila em 1726, Fortaleza ficou em total abandono durante todo o século XVIII. Nessa época, o Ceará começava a dedicar-se à pecuária extensiva, aliás praticada longe da vila, nos vales dos rios Jaguaribe e Acaraú. No fim dos setecentos, secas prolongadas dizimaram o gado, facilitando a difusão da cotonicultura. Criada a Capitania do Ceará, em 1799, Fortaleza se torna capital e passa a funcionar como um porto exportador de algodão produzido em zonas não muito distantes. Em 1810, teria uns 1.200 habitantes.

O progresso material da cidade somente se manifesta na segunda metade do século XIX. Ainda assim, não passava de uma cidade muito pequena, especialmente quando comparada com outras capitais brasileiras. Em 1920 são tentadas as primeiras experiências com concreto armado, ano em que o Censo Nacional encontrou no município de Fortaleza uma população de 78 mil habitantes, dos quais talvez vivessem uns 60 mil na área urbana.

No início da década de 20, a cidade contava com uma Faculdade de Direito (1903), uma Faculdade de Farmácia e Odontologia (1917) e uma Escola de Agronomia (1918). Em 1925, foi criado um Instituto de Engenharia, dirigido por Pompeu Sobrinho, que tinha como principal objetivo criar uma Escola de Engenharia, certamente amparada nos quadros técnicos da IFOCS (Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas). Com visível prejuízo para o Estado, os desejos de Pompeu não se realizaram, pois, na verdade, a Escola de Engenharia somente seria criada trinta anos depois, e integrada à Universidade Federal.

O solo arenoso, a dificuldade de obter materiais de construção (cal, tijolos e telhas), bem como a falta de água corrente, constituíram empecilhos gradativamente superados pela cidade. Ainda assim, prevaleceram as soluções construtivas singelas, de acordo com as necessidades e com as possibilidades do meio.

O crescimento demográfico da cidade toma vulto incontrollável a partir de 1940, conforme dados dos recenseamentos nacionais desde então, realizados a cada dez anos: 1940 - 180 mil habitantes; 1950 - 270 mil; 1960 - 514 mil; 1970 - 870 mil; 1980 - 1.304 mil; 1990 - 1.780 mil; 2000 - 2.100 mil habitantes. Esses dados se referem à população do município, esta, até meados do século, em parte ainda dispersa pela zona rural. Desde então, todo o município da capital (336 km<sup>2</sup>) é considerado zona urbana, à qual hoje se agregam vários municípios constituindo a Zona Metropolitana de Fortaleza, com aproximadamente 2.700 mil habitantes.

Apesar dos vários indicadores de pobreza, a cidade de Fortaleza é atualmente uma das maiores e mais importantes cidades do país, apresentando um desenvolvimento cultural e material que explica os elevados padrões técnicos alcançados no emprego da tecnologia do concreto armado e a qualidade das inúmeras obras arquitetônicas.

### **7.1.2 As construções antes do emprego do concreto armado**

Até as primeiras décadas do século XX, as construções em Fortaleza, com raras exceções, eram executadas com alvenaria de tijolos, como aliás no restante do país, usando-se a madeira para o travejamento das cobertas, forros e pisos.

Essas construções apresentavam grande homogeneidade volumétrica e unidade urbana em seu conjunto, ficando as diferenças formais por conta dos ornamentos das fachadas, próprios da chamada arquitetura eclética, comum na cidade no começo do século.

Apesar de serem simples as técnicas empregadas, muitas dessas edificações despertaram grande admiração popular e algumas delas figuram de modo bastante representativo no patrimônio arquitetônico da cidade, dentre as quais podemos arrolar o Palacete Ceará (atual Caixa Econômica), a sede do antigo Banco Frota & Gentil (atual Banco Bandeirantes), o Palace Hotel, hoje Associação Comercial, o Palacete Carvalho Motta (antiga sede do DNOCS), o Colégio Justiniano de Serpa, a Secretaria da Fazenda, a Faculdade de Ciências Econômicas e a Reitoria da Universidade Federal do Ceará (amplamente aumentada em 1966).



Foto 7.1 - Palacete Ceará (atual Caixa Econômica do Ceará)

*Projeto: João Sabóia Barbosa.*



Foto 7.2 - Banco Frota & Gentil (atual Banco Bandeirantes)

*Projeto: João Sabóia Barbosa.*



Foto 7.3 - Palace Hotel (atual Associação Comercial de Fortaleza)

*Projeto: João Sabóia Barbosa.*



Foto 7.4 - Escola Justiniano de Serpa

*Projeto: José Gonçalves de Justa.*



Foto 7.5 - Secretaria da Fazenda

*Projeto: José Gonçalves de Justa.*



Foto 7.6 - Faculdade de Ciências Econômicas / UFC

*Projeto: José Gonçalves de Justa.*



Foto 7.7 – Reitoria / UFC

*Projeto: João Sabóia Barbosa.*

Na época, eram comuns as alvenarias autoportantes, mas muitas vezes se empregavam trilhos de ferro, para reforçar a estrutura ou vencer vãos maiores, ou para sustentar os pisos das varandas em nível elevado. Existem alguns exemplos executados com esta técnica, inclusive edifícios de maior altura, como é o caso do Excelsior Hotel, a grande realização final do ecletismo arquitetônico no Ceará.



Foto 7.8 - Excelsior Hotel

Construído entre os anos de 1928 e 1931, o Excelsior foi o primeiro arranha-céu da cidade, com 8 pavimentos. Sua estrutura constituída por pilares, vigas e lajes executados com trilhos de trem foi reforçada posteriormente com uma amarração de concreto armado calculada pelo engenheiro Archias Medrado.

### **7.1.3 As primeiras aplicações do concreto e a criação do IFOCS**

A primeira aplicação do concreto armado (então chamado cimento armado) em Fortaleza de que se tem notícia, segundo CASTRO (1989), ocorreu em 1911, na construção da sala de armas do Quartel do Batalhão de Segurança, o qual ocupava um prédio construído em 1878 para abrigar um asilo de mendicidade. Esta edificação sofreu várias ampliações ao longo dos anos e hoje é a sede do Colégio Militar de Fortaleza.

A criação da Inspectoria Federal de Obras Contra as Secas/IFOCS (atual DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), em 1907 e sua instalação em Fortaleza dois anos depois, possibilitou maior rigor técnico nas obras, consequência direta da vinda, para o Estado, de uma equipe de engenheiros atualizados e experientes.

Entre as técnicas então difundidas pela IFOCS, o concreto armado figurava como novidade, logo aplicada nas primeiras grandes obras executadas pela própria repartição, no caso, diversas pontes lançadas nas estradas de saída da capital, sobre os rios Maranguapinho, Ceará e Cocó, substituindo as antigas, feitas de longarinas de ferro, com lastro de madeira e apoios de alvenaria. Essas pontes permaneceram em uso aproximadamente por seis décadas, até serem demolidas quando da construção das atuais rodovias federais de pistas duplas.

#### **A "Ponte dos Ingleses"**

A chamada "Ponte dos Ingleses" integrava o projeto de um porto-ilha a ser implantado na cidade, em mar aberto, distante 800m da costa. Funcionaria como um viaduto de ligação com a "ilha". Os trabalhos foram contratados em 1921 com a firma inglesa Northon Griffiths & Co.

A ponte foi construída com tecnologia atualizada de peças de concreto pré-moldado, calculadas pelo engenheiro Ivan Cope. Como as obras foram suspensas logo depois, a ponte ficou inacabada e abandonada.

### **O Viaduto Moreira da Rocha - A "Ponte Metálica"**

Outra obra de vulto, executada em Fortaleza, em fins da década de 20 foi a recuperação e ampliação da "Ponte Metálica", até então um trapiche resolvido com estrutura de ferro, usado para embarque e desembarque de passageiros e mercadorias no Porto de Fortaleza.

O trabalho constou de duas fases. A primeira voltou-se para um capeamento de concreto armado estendido sobre a estrutura de ferro datada de 1906, que estava oxidada, sendo introduzidas, na ocasião, mísulas de reforço nos encontros dos pilares com as vigas.

A segunda fase compreendeu uma ampliação da ponte, executada em concreto armado, cujo cálculo é de autoria do engenheiro Francisco Saboia de Albuquerque. O conjunto foi inaugurado em 1928.

Na década de 20, outras obras significativas foram realizadas em Fortaleza, embora o emprego do concreto armado em edificações praticamente se restringisse às lajes e aos pisos. A primeira edificação de valor arquitetônico a utilizar o novo material (no piso do pavimento superior) foi o edifício da Secretaria da Fazenda, inaugurado em 1927, projeto de José Gonçalves da Justa (foto 7.5),

*"com paredes de sustentação em alvenaria de tijolos e escadas de madeira, e obra ainda concebida de acordo com os preceitos de uma arquitetura eclética inspirada na Renascença Veneziana". (CASTRO, 1989: 127)*

Mais tarde, Justa utilizaria novamente o concreto armado no projeto da "Coluna da Hora", inaugurada no fim do ano de 1933, hoje demolida.



#### 7.1.4 Baumgart e as oficinas da Rede de Viação Cearense

Circunstâncias especiais fizeram com que o Ceará viesse a contar com uma obra de significativo valor no período de expansão do uso do concreto armado no Brasil, os pavilhões das oficinas da Rede de Viação Cearense (hoje RFFSA - Rede de Viação Cearense), inaugurados em 1930. Conquanto obra ainda hoje quase desconhecida na cidade, constitui uma das mais notáveis realizações da época, no campo da construção em concreto armado.

O engenheiro Emílio Baumgart, citado anteriormente, foi o autor do projeto dos pavilhões, elaborado a convite de um amigo, o engenheiro Demosthenes Rockert, que havia assumido a direção da RVC no início de 1925.

O conjunto, com área total de 14.850 m<sup>2</sup>, era composto de oito pavilhões, assim relacionados: oficina de montagem e reparação de locomotivas, oficina de reparação de carros e vagões, oficina de pintura de carros e vagões, oficina de fundição, oficina de ferraria, usina de força, almoxarifado, e edifício da administração.

Dentre os pavilhões, os dois primeiros, destinados a trabalhos de reparação, destacam-se pela forma e esbeltez das peças (vigas e pilares), que suportavam, nas pontes rolantes, as pesadas cargas de locomotivas suspensas.

A obra, por seu arrojo, leveza e originalidade, comparava-se às grandes realizações do sul do país, ou mesmo internacionais e, na época, distinguia-se de modo geral das construções executadas com concreto armado em Fortaleza, as quais, em sua maioria, eram calculadas pelos engenheiros da Inspectoria Federal de Obras contra as Secas (hoje DNOCS).

Oficinas da Rede de Viação Cearense



Foto 7.9 – Detalhe estrutura / galpão  
(Foto: Adriana Bardawil)



Foto 7.10 – Exterior / galpão  
(Foto: Adriana Bardawil)



Foto 7.11 - Galpão  
(Foto: Adriana Bardawil)

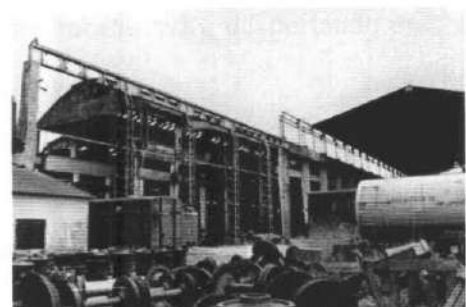


Foto 7.12 – Galpão / máquinas  
(Foto: Adriana Bardawil)



Foto 7.13 – Interior / galpão  
(Foto: Adriana Bardawil)

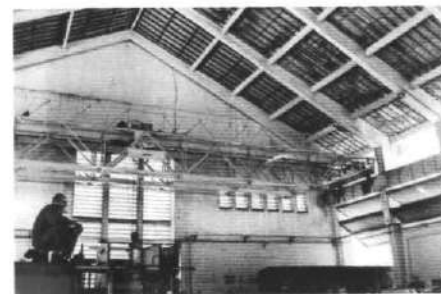


Foto 7.14 – Interior / galpão  
(Foto: Adriana Bardawil)

No entanto, o exemplo dos pavilhões da RVC não teve efeito germinativo, mesmo porque, durante muito tempo, não se executaram obras de porte semelhante na cidade.

Sabe-se que Baumgart manteve outras relações profissionais com o Estado do Ceará, ligadas a projetos de açudes e implantação de reservatórios de grande volume, não executadas.

## Fortaleza

A partir da década de 30, a aplicação do concreto armado tornou-se prática usual nas construções de Fortaleza, não só em obras públicas como também em obras privadas. A técnica, difundida desde então, começou a ser largamente utilizada em todo o Estado. A facilidade de obtenção dos componentes, os processos artesanais empregados (compatíveis com o estágio de desenvolvimento regional), além das inúmeras possibilidades plásticas oferecidas pelo material, tudo fez com que, no Ceará, tal como em outros lugares, o uso do concreto armado fosse incentivado, despertando crescente utilização.

O novo material e as conseqüentes técnicas modernas de edificação logo se difundiram, anunciando nova etapa na história da arquitetura em Fortaleza. O concreto armado começava a substituir, como solução estrutural, os sistemas autoportantes das paredes de alvenaria.

### 7.2.1 A atuação de engenheiros construtores na cidade

As mudanças relativas às novas técnicas construtivas beneficiariam os engenheiros, eliminando gradativamente a ação dos velhos construtores locais.

*"A presença de jovens engenheiros formados no convívio com as técnicas mais recentes conduz às primeiras experiências no campo do cálculo estrutural, de modo que o novo Código de Obras de 1932 (o primeiro que a cidade possuiu, pois antes havia apenas o código de posturas) já consagra um capítulo ao concreto armado. Entre os nomes de calculistas em evidência na ocasião, figura o de Alberto Sá, que se apresentava à cidade com excelente currículo universitário". (CASTRO, 1982: 10)*

Como se vê, as novidades no campo da tecnologia e o emprego sistemático do concreto armado começava a solicitar a presença de profissionais especializados. O engenheiro Alberto Sá, diplomado pela Escola de Engenharia, Minas e Metalurgia de Ouro Preto, Minas Gerais, e detentor de um prêmio para estudos de pós-graduação na Bélgica, foi o responsável pelo cálculo de grande número de obras realizadas no período, geralmente projetos seus ou do arquiteto Emílio Hinko.

## O Código de Obras de 1932

O desenvolvimento material da cidade e o rumo determinado pelas novas técnicas conduziu à elaboração de um código de obras atualizado, proposto para substituir as velhas posturas de 1893, ainda em vigor. Na elaboração do novo código, inspirado pela legislação carioca de 1928, os redatores incluíram artigos que evidenciavam as modificações técnicas e exigiam a qualificação dos responsáveis pelos projetos e pelas obras.

Por tal razão, os artigos 63 e 66 do Código de Obras de 1932 passam a tratar de modo especial o uso do concreto armado e o registro de titulação dos construtores:

*Art. 63 - Somente se concederá registro de título:*

- a) Aos engenheiros civis, militares, arquitetos e equiparados, que apresentarem diploma passado pelas escolas superiores do país, ou do estrangeiro, oficialmente reconhecidas;*
- b) Aos mestres de obras que provarem sua capacidade para exercer a profissão, com títulos de institutos nacionais ou estrangeiros, oficialmente reconhecidos no Brasil;*
- c) Aos mestres de obras sem título, que tenham demonstrado capacidade na execução de obras no Município e evidenciarem um exame especial feito na Prefeitura e a competência necessária ao exercício da profissão.*

*Art. 66 - Para as construções com estrutura metálica ou as em concreto armado para as edificações de vulto, que possam comprometer a segurança pública ou particular, só poderão ser admitidos como construtores os profissionais a que se referem a alínea a do art. 63.*

A redação do artigo 66 procedia diretamente do *affair* que empolgara os setores técnicos da cidade, quando da construção do Excelsior Hotel, começada por leigos e somente liberada pela Prefeitura de Fortaleza depois de entregue à intervenção complementar de engenheiros, com cálculo estrutural em concreto elaborado pelo engenheiro Archias Medrado, do DNOCS.

Problemas como esse, decorrentes da intervenção de leigos despreparados, vinham sendo enfrentados na época pela tecnologia da construção, e ganhavam abrangência nacional. Tanto assim que em 1933 foram criados os Conselhos Federal e Regional de Engenharia e Arquitetura (CONFEA e CREA), com a finalidade de regulamentar de

forma oficial e específica as atividades profissionais de engenheiros e arquitetos (Decreto 23569, de 11 de Dezembro de 1933).

### **O escritório do engenheiro-arquiteto Sylvio Jaguaribe Ekman**

O desenvolvimento do Estado, em fase de modernização iniciada com a Revolução de 1930, aliado a novas mudanças no campo da construção civil, não apenas com relação ao concreto, mas também a outros materiais e técnicas, suscitaram a presença de profissionais especializados, a fim de atender à crescente demanda técnica.

O escritório do engenheiro-arquiteto paulista (de ascendência sueca e cearense) Sylvio Jaguaribe Ekman (1901-1968), que se fixou em Fortaleza nas décadas de 30 e 40, capacitou-se para responder a essas exigências, contribuindo de maneira significativa para o processo de modernização material da cidade de Fortaleza no período, aperfeiçoando os processos construtivos e a mão de obra local. Segundo o arquiteto Liberal de Castro,

*"o esquema organizativo do Escritório Técnico Sylvio Jaguaribe Ekman alcançou alto significado na cidade, sem dúvida traduzido por um relacionamento marcado pela transparência e pela honestidade, em que ressaltavam a refinada programação de obras e a precisão dos custos, novidades numa terra de improvisação e desperdícios. Sylvio investiu na formação de uma verdadeira escola de mão de obra especializada, inquestionavelmente sua contribuição técnica e social de importância germinativa maior para os setores locais de construção civil". (CASTRO, 1989: 50)*

Ainda de acordo com o depoimento do engenheiro José Alberto Cabral, que trabalhou no escritório de Ekman na década de 40,

o Dr. Sylvio Jaguaribe Ekman, além de ser uma pessoa muito austera e correta, era um organizador nato. Seu escritório era o mais bem equipado da cidade, tendo tudo aquilo que era preciso para se trabalhar tecnicamente: vibradores de imersão elétricos e a diesel, betoneiras de diversas dimensões, equipamentos de laboratório, enfim todo o aparelhamento necessário. Eu cheguei a fazer medições da umidade da areia para poder fazer as correções necessárias do traço do concreto. Além disso, fazíamos a "apropriação" integral da obra, ou seja, o acompanhamento e controle total da construção.

Sylvio Jaguaribe Ekman projetava e construía. Foi autor de vários projetos significativos na cidade (Edifício Carneiro, Edifício Parente, Sede do Ideal Clube, loja A Cearense, Jangada Clube, Edifício Prudência, etc), cujos cálculos estruturais ficavam a seu próprio encargo e dos engenheiros que faziam parte de sua equipe, dentre os quais podemos citar os nomes de José Alberto Cabral, Jaime Câmara Vieira, Jaime Anastácio Verçosa e Rômulo Proença, integrantes da primeira geração de professores da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Ceará.



Foto 7.15 - Edifício de apartamentos  
proj. Sylvio Jaguaribe Ekman

*Primeiro edifício de apartamentos construído em Fortaleza, na rua Sena Madureira*



Foto 7.16 - Edifício Parente  
proj. Sylvio Jaguaribe Ekman

### 7.2.2 Primórdios da verticalização da cidade

Abraçando uma idéia de progresso cultivada nas cidades americanas da época e que empolgou o país, sobretudo as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, ocorrem em Fortaleza as primeiras tentativas de verticalização urbana.

Assim, no início na década de 30, aparecem os primeiros edifícios altos no centro da cidade, o que estimulou cada vez mais o uso do concreto armado como sistema estrutural. Aliás, pode-se afirmar que o processo de verticalização das cidades de modo geral foi consequência direta da intervenção de três fatores: tecnologia estrutural, surgimento do elevador e especulação imobiliária.

O termo edifícios altos, empregado para caracterizar algumas edificações surgidas na cidade de Fortaleza nesse período, está sendo usado principalmente para diferenciá-las



dos sobrados e de algumas construções altas existentes até então. Na verdade, esses edifícios altos se distinguiam mais pela aparência estética, minimalista, "moderna", em parte decorrente da técnica empregada - o concreto armado - do que propriamente pela altura.

Todos esses edifícios tinham uso comercial e foram construídos no centro da cidade para abrigar salas para escritórios e consultórios médicos, demanda que começava a surgir na época.

Como exemplo, podemos citar o Edifício J. Lopes (1935), na rua Major Facundo, e o edifício da Secretaria de Polícia e Segurança Pública (1942), ambos do arquiteto Emílio Hinko, o Edifício Abel Ribeiro (1937), na rua Floriano Peixoto, o Edifício Granito (1934) e o Edifício Parente (1936), na rua Guilherme Rocha, o Edifício Prudência (1947), projeto de Sylvio Jaguaribe Ekman, o edifício Correios e Telégrafos (1933), do arquiteto Santos Neves, o Edifício São Luiz (1937/1959), Cine Diogo (1940) e o Palácio do Comércio, do francês J. Mounier, autor do projeto original da nova catedral fortalezense.



Foto 7.17 - Edifício J. Lopes



Foto 7.18 - Secretaria de Polícia e Segurança Pública



Foto 7.19 - Edifício Correios e Telégrafos





Foto 7.20 - Edifício S. Luiz



Foto 7.21 - Edifício Diogo



Foto 7.22 - Palácio do Comércio

### Um período de retrocesso técnico

O rápido domínio da técnica do concreto armado induziu a execução de inúmeras obras sem o amparo de um cálculo estrutural adequado, executados na maioria das vezes por práticos, que se baseavam tão somente na experiência acumulada ou em literatura de divulgação, particularmente nos livros do professor Aderson Moreira da Rocha.

O mesmo ocorria com os projetos arquitetônicos, em grande parte entregues a desenhistas desprovidos de qualquer formação teórica, sem preocupação com o significado das formas, e cuja produção, sob o ponto de vista estético, deixa a desejar, embora facilmente aceita pelos setores emergentes da burguesia local. Há, portanto, um retrocesso técnico no que se refere às construções da cidade, em sua maioria cópias mal transcritas de projetos apresentados em revistas profissionais de divulgação, prática surgida no final da Segunda Guerra Mundial e que subsistiria até meados dos anos 60.

Tornou-se também comum, nas atividades de construção e cálculo estrutural, a presença de práticos, sem formação específica, fato sem dúvida decorrente da falta de profissionais habilitados, já que a Escola de Engenharia local somente seria criada em 1956. Havia portanto, poucos engenheiros atuando na cidade no campo da construção civil, e todos eles diplomados fora do Estado.

Para comprovar que o autodidatismo era em boa parte fruto da falta de uma escola superior técnica, basta citar o nome de Nelson Machado, responsável por inúmeros

cálculos estruturais na época (a Casa do Português, na Av. João Pessoa, e o antigo Abrigo Central, na Praça do Ferreira). Já distante de seus anos de juventude, mas estudioso e interessado no assunto, Machado ingressou na Escola de Engenharia tão logo esta abriu seus cursos, tendo infelizmente falecido antes de se diplomar.

### **A atuação do DNOCS e a contribuição de engenheiros diplomados fora do Estado**

Nas décadas de 30 e 40, foi expressiva a participação de engenheiros do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca - DNOCS, repartição federal que se tornou importante centro de atividade técnica, onde militaram grandes nomes da engenharia brasileira.

Nessa mesma época, houve também significativa parcela de obras projetadas e calculadas fora do Estado, construídas por repartições federais, cujas sedes se localizavam no Rio de Janeiro, tais como os edifícios do DNER na BR 116 e dos Institutos da Previdência (IPASE, IAPI, IAPC, etc), todos localizados no centro da cidade, sedes de entidades posteriormente unificadas sob a denominação de INSS - Instituto Nacional de Seguridade Social.



Foto 7.23 - Antiga sede do IAPC



Foto 7.24 - Antiga sede do IAPI



Foto 7.25 - Antiga sede do IPASE

### 7.2.3 A atuação do engenheiro Luciano Ribeiro Pamplona

Diplomado na Bahia no início da década de 50, logo retorna ao Ceará o engenheiro Luciano Ribeiro Pamplona, profissional de qualificação diversificada, cujo aguçado senso estético e sensibilidade não o levavam a fazer apenas os cálculos estruturais, mas também a desenvolver múltiplas ações, atuando como construtor e muitas vezes elaborando projetos arquitetônicos, atividade em que contribuiu inclusive com algumas inovações, como a introdução do *brise-soleil*<sup>3</sup> em edifícios.

Primeiro professor da cadeira de Concreto Armado da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Ceará, Luciano Pamplona pode ser considerado o pioneiro do ensino do cálculo estrutural na cidade de Fortaleza.

É variado o elenco de obras com projeto, cálculo e construção de sua autoria, como a Igreja de Fátima, o Hospital Cura D'Ars, na rua Costa Barros, o prédio da ACI - Associação Cearense de Imprensa, na rua Floriano Peixoto, o prédio do INSS, na Praça José de Alencar; a sede administrativa da Escola de Engenharia, no Benfica; o Tribunal de Contas e o galpão anexo, na rua Sena Madureira. Também são seus os cálculos estruturais da Igreja N. S. do Líbano, do Hotel Savannah, da Catedral, do Center Um e de muitos outros. Sua atuação confirma a participação de engenheiros construtores no panorama arquitetônico da cidade até o final da década de 60.



Foto 7.26 - Igreja de Fátima



Foto 7.27 - Hospital Cura d'Ars

<sup>3</sup> *Brise Soleil* - "elemento arquitetônico de proteção com a finalidade principal de interceptar os raios solares quando estes forem inconvenientes". (Dicionário de Arquitetura Lemos & Corona)



Foto 7.28 - Prédio ACI



Foto 7.29 - Prédio INSS  
Praça José de Alencar



Foto 7.30 - Antiga Escola de Engenharia



Foto 7.31 - Tribunal de Contas



Foto 7.32 - Galpão anexo ao Tribunal



Foto 7.33 - Hotel Savannah

#### 7.2.4 Outras contribuições

Outros profissionais não residentes na cidade podem ser citados como responsáveis por significativos cálculos estruturais, como o engenheiro Areias Neto, do Rio de Janeiro, autor do cálculo do anexo da Faculdade de Direito e a sede do DNER (BR 116).

Vale ainda ressaltar a atuação do professor Aderson Moreira da Rocha (1911-1982), cearense, profissional de grande importância na difusão nacional do cálculo estrutural. Embora radicado na cidade do Rio de Janeiro, também realizou trabalhos em Fortaleza, dentre quais os cálculos da Concha Acústica da Universidade Federal do Ceará (Foto

7.34), da Casa Johnson, projeto de Oscar Niemeyer, hoje adaptada em hotel (Hotel Olimpo, na Av. Beira Mar) e da cúpula da Igreja do Coração de Jesus.



Foto 7.34 - Concha Acústica / UFC

O engenheiro Aderson Moreira da Rocha era professor catedrático das cadeiras de Concreto Armado na Escola Nacional de Engenharia e da Faculdade Nacional de Arquitetura da Universidade do Brasil (atual UFRJ).

Segundo opinião de seus antigos alunos de engenharia - o engenheiro José Alberto Cabral e o Professor Hugo Mota - Aderson Moreira da Rocha era um profissional excepcional, de inteligência privilegiada e tinha o dom de tornar o ensinamento das estruturas de concreto de fácil apreensão. Desenvolveu um processo de cálculo que mais tarde publicou através de seus livros "Curso Prático de Concreto Armado", referência bibliográfica na formação de quase todos engenheiros e arquitetos do país. Esta também é a opinião dos arquitetos Neudson Braga e José Liberal de Castro, que foram seus alunos na Faculdade Nacional de Arquitetura.

Fundou ainda as revistas técnicas "Concreto" (1937 a 1955) e "Estrutura" (1957 a 1986), na qual, em alguns números contou com a colaboração do professor Hugo Mota. Essas publicações, que tiveram grande aceitação nacional, traziam artigos sobre a tecnologia dos materiais concreto e aço, sobre cálculo estático ou de concreto armado, dando indicações preciosas para os consulentes. Incluíam ainda exemplos de obras importantes em execução no Brasil e no exterior, além de cursos seriados, de isostática, de hiperestática, de concreto armado, etc., publicados regularmente.

### **7.3 A nova fase do cálculo estrutural em Fortaleza**

A partir da década de 50, o cálculo estrutural e a técnica do concreto armado alcançaram grande desenvolvimento graças a alguns fatores relevantes, tais como a fundação da Escola de Engenharia, em 1956, e a presença de profissionais especializados de engenharia e arquitetura, que proporcionaram notável impulso às construções na cidade.

#### **7.3.1 A Escola de Engenharia da Universidade Federal do Ceará**

A Escola de Engenharia foi instalada em 1956, em decorrência de um projeto apresentado à Câmara Federal pelo Deputado Walter Bezerra de Sá. Até então, os jovens cearenses desejosos de se diplomar em engenharia viam-se obrigados a procurar centros distantes, reduzindo ou eliminando as oportunidades daqueles que, sem maiores posses, não podiam deslocar-se de sua cidade de origem.

A criação de uma escola de engenharia incentivou o exercício de atividades acadêmicas de elevado padrão, vindo a contribuir de forma significativa para o estudo sistematizado do cálculo estrutural na cidade, resultando na formação de construtores e projetistas especializados.

#### **7.3.2 O Professor Engenheiro Hugo Mota e a nova geração de engenheiros estruturais**

No final da década de 50, alguns jovens arquitetos, diplomados em outros pontos do país, começam a retornar à cidade. O cálculo estrutural conhece uma nova fase, porque agora os engenheiros locais passam a desenvolver cálculos de projetos elaborados por profissionais diplomados em arquitetura. Isso representava uma mudança significativa no processo, já que até então ocorria a presença apenas ocasional de arquitetos na cidade, de sorte que a maioria dos projetos arquitetônicos, como já foi visto, era elaborada por engenheiros ou leigos.



Data deste período o início da atividade profissional do engenheiro Hugo Alcântara Mota, um dos pioneiros do cálculo estrutural cearense. Diplomado no Rio de Janeiro em 1957, volta a Fortaleza no final dos anos 50 e inicia sua carreira profissional no DNOCS, executando principalmente o cálculo de pontes.

Pouco depois, no começo da década de 60, ingressa como professor na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Ceará, lecionando a Cadeira de Pontes e Grandes Estruturas. Na ocasião, passa a trabalhar no Departamento de Obras e Planejamento da mesma universidade, onde, conjuntamente com o também engenheiro Valdir Campelo, realiza cálculos estruturais de inúmeros edifícios, em sua maioria projetados pelos arquitetos José Liberal de Castro e Neudson Braga.



Foto 7.35 - Residência Universitária / UFC



Foto 7.36 - Bloco Anexo Reitoria / UFC

A atuação do professor Hugo Mota como engenheiro estrutural na cidade de Fortaleza pode ser considerada o início de uma nova fase no processo, pois provocou mudanças em todo o sistema de cálculo das edificações, pelo elaborado nível de profissionalismo conferido à sua atividade.

Naquela época, os engenheiros dedicavam-se ao cálculo estrutural simultaneamente com outras atividades técnicas, particularmente com a construção civil, sendo comum, como se viu, recorrer à contribuição de profissionais de fora. O trabalho desenvolvido pelo professor Hugo Mota, como professor e como calculista, levou à integral valorização do profissional engenheiro estrutural cearense.

Em 1965, após uma temporada de estudos na Universidade de Stuttgart, Alemanha, retorna trazendo novos e atualizados conhecimentos na área, ocasião esta em que



começa a atuar em seu escritório, executando projetos estruturais de obras particulares, projetos concebidos por arquitetos recém chegados à cidade.

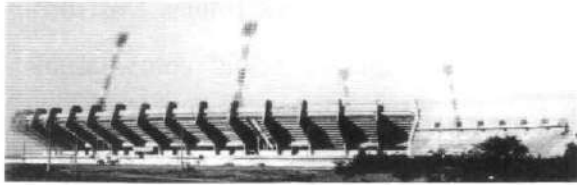


Fig. 7.1 - Vista - (fonte: Revista AU)

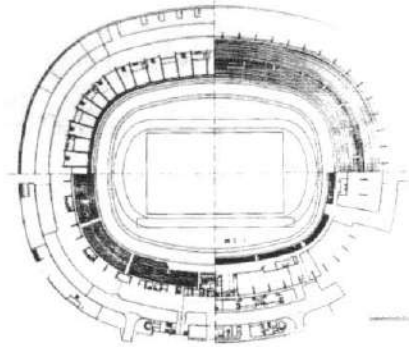


Fig. 7.2 - Planta - (Fonte: Revista AU)

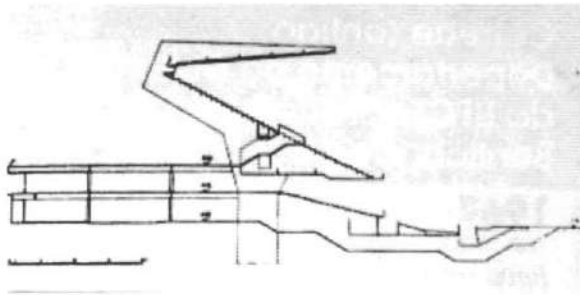


Fig. 7.3 - Corte - (Fonte: Revista AU)

**Estádio Castelão / Fortaleza, 1969-73**

*Proj. arq.: José Liberal de Castro, Gherard Bormann, Reginaldo Rangel e Ivan Brito  
Proj. estrutural: eng. Hugo Mota*

*Obra composta por 60 pórticos em concreto armado, de desenho idêntico, que sustentam as arquibancadas*

O Professor Hugo Mota foi o introdutor da técnica do concreto protendido no Ceará, matéria desenvolvida em um curso realizado em 1967 na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Ceará, em convênio com o IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias) e o DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem), que contou com a presença do professor Aderson Moreira da Rocha, da UFRJ.

Iniciou-se nessa época a aplicação do concreto protendido no Ceará, embora de forma ainda incipiente, empregando tecnologia oferecida pela STUP (Sociedade Técnica para Utilização da Protensão), firma que tinha o professor Hugo Mota como representante local. A primeira aplicação da protensão no Estado, ocorreu na ponte executada pelo DERT (Departamento Estadual de Rodovias e Transportes) sobre o rio Putiú, com vão livre de 30 m, na entrada da cidade de Baturité. Logo depois, em 1970, foi construída outra ponte, em Sobral, com 200 m de comprimento.

Durante muito tempo, a técnica do concreto protendido só foi utilizada em pontes e viadutos. A primeira aplicação<sup>4</sup> em edificações ocorreu na cobertura do plenário da Assembléia Legislativa, em 1975 (projeto dos arquitetos José da Rocha Furtado Filho e Roberto Castelo), embora a protensão só tenha sido aplicada nas vigas. O edifício de apartamentos "Solar Volta da Jurema" (projeto do arq. Luiz Fiuza), na Av. Beira Mar foi o primeiro a utilizar a protensão, em 1982.



Foto 7.37 - Assembléia Legislativa / plenário, 1975



Foto 7.38 - Edifício Solar Volta da Jurema, 1982



Foto 7.39 - Mausoléu Castelo Branco, 1970

*Proj. arq.: Sérgio Bernardes*

<sup>4</sup> Na realidade, houve uma aplicação anterior do concreto protendido em Fortaleza, no Mausoléu Castelo Branco, executado em 1970, cujo cálculo foi da firma carioca TYNA Engenharia Ltda. (Foto 7.39)

O professor Hugo Mota, tendo realizado os primeiros cálculos de concreto protendido em edificações em Fortaleza, passou a dedicar-se principalmente a cálculos de pontes e viadutos. Atuando na cidade de Fortaleza há mais de 40 anos, trouxe grande contribuição para o avanço do cálculo estrutural em nossa região, exercendo enorme influência em toda uma geração de engenheiros, sendo citado de forma altamente reconhecida por todos os profissionais entrevistados, ex-alunos ou antigos colaboradores seus.

### **7.3.3 A contribuição do professor engenheiro José Valdir de Medeiros Campelo**

Contemporâneo do professor Hugo Mota, deve ser também mencionada a atuação do engenheiro José Valdir de Medeiros Campelo (1928-1993), tanto como um dos pioneiros do cálculo estrutural moderno no Ceará, como também por sua contribuição na formação de toda uma geração de arquitetos cearenses, pois lecionou disciplinas de estrutura na Escola de Arquitetura da Universidade Federal do Ceará durante mais de duas décadas.

Como professor, sempre preocupado com a visão que o arquiteto deveria ter do problema estrutural, procurou desenvolver metodologias que levassem o estudante à compreensão global do projeto de estruturas. Era comum discutir os objetivos e métodos dos seus cursos com os professores arquitetos.

Figurando como um dos engenheiros com maior número de obras executadas na cidade, Valdir Campelo era um estudioso do assunto e se empolgava com os desafios propostos pelos arquitetos, sempre procurando encontrar a solução correta para cada problema. Foi o introdutor do sistema de lajes pré-moldadas no Ceará, da patente "Volterrana", processo ainda bastante utilizado em nossas edificações.

O arquiteto Neudson Braga, de quem durante muito tempo Valdir Campelo foi parceiro constante, afirma que ele tinha como característica dominante, uma extraordinária visão do sistema estrutural:

O Valdir sabia exatamente como as peças iam trabalhar, e isso ajudava bastante o nosso trabalho. Além disso, tinha um respeito enorme pelo projeto de arquitetura e uma compreensão exata dos limites entre as atividades do arquiteto e do engenheiro estrutural.

Autor de inúmeros projetos arquitetônicos, cujos cálculos foram elaborados por Valdir Campelo, o arquiteto José Liberal de Castro também atesta a empolgação "juvenil" do calculista, ao executar os cálculos estruturais da Escola Pe. José Nilson (fotos abaixo), onde havia um pavilhão de recreio com estrutura em arco parabólico contraventado por uma viga tensora enterrada, proposição que constituía uma novidade para a época.

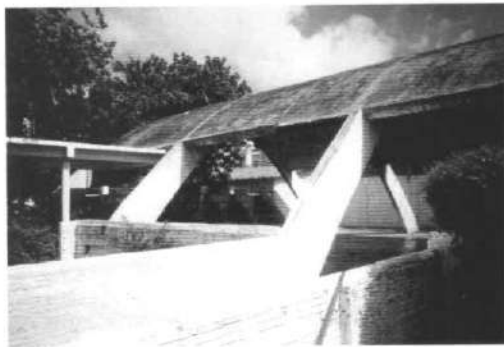


Foto 7.40 - Escola Pe. José Nilson, 1961 pavilhão de recreio



Foto 7.41 - Bloco / salas de aula

### **A criação da Escola de Arquitetura - uma nova fase da arquitetura cearense**

Entre meados dos anos 60 e início da década seguinte, chegou à cidade um grupo de jovens arquitetos diplomados no Rio de Janeiro, Brasília e São Paulo. Juntando-se aos poucos profissionais que haviam retornado ao Ceará na década anterior, participaram do processo de consolidação da Escola de Arquitetura da Universidade Federal do Ceará, instalada a 26 de dezembro de 1964.

Esses arquitetos, assim como os primeiros profissionais já diplomados na nova Escola de Arquitetura, inspiravam-se nas propostas da arquitetura moderna brasileira, principalmente a obra de Afonso Eduardo Reidy, do Rio de Janeiro, e na chamada arquitetura paulista, de Vilanova Artigas. Havia também como fecunda fonte de consulta a biblioteca da Escola de Arquitetura, repleta de periódicos estrangeiros, que forneciam aos arquitetos atualização profissional, pois passavam a ter ciência das últimas realizações internacionais.

Nessa ocasião, a cidade de Fortaleza conheceu grande incremento na produção de obras realizadas de acordo com projetos elaborados por arquitetos, iniciando-se uma nova fase na arquitetura cearense. Em muitas das obras tirava-se partido estético do concreto aparente, a estrutura apresentando-se como elemento fundamental.



Foto 7.42 - Fachada



Foto 7.43. - Fachada

**Fábrica de Refrigerantes Mais Sabor** - antiga fábrica de sorvetes Bembom, 1974

*proj arq.: Roberto Castelo e José da Rocha Furtado Filho*  
*proj estrut.: Valdir Campelo*

*Uma das primeiras obras concebidas com cobertura tipo "casca" de concreto. A casca tem 6 cm de espessura e vence um vão de 7,00m*



Foto 7.44 - Fachada



Foto 7.45 - Vista interna

*Laje com nervuras a cada 2,00 m, nos dois sentidos*

**Galpão Instituto de Educação**, 1973

*proj arq.: Roberto Castelo e Ronaldo Salcedo*  
*proj estrut.: Valdir Campelo*



Foto 7.46 - Residência rua Mons. Catão



Foto 7.47 - Residência rua Prof. Dias da Rocha

*Casas típicas da década de 70, construídas na cidade de Fortaleza*

O engenheiro Valdir Campelo tornou-se o calculista preferido dessa geração, pois, segundo alguns dos arquitetos entrevistados, aceitava os novos desafios e tinha extraordinária visão e aguçada sensibilidade para auxiliar os arquitetos na definição e funcionamento da estrutura.

#### **7.3.4 O processo de verticalização da cidade e as mudanças provocadas pela arquitetura**

Na década de 70, excetuados alguns prédios do centro da cidade e raras obras de vulto construídas nos bairros, a grande maioria dos edifícios residenciais da cidade era composta de prédios de 3 pavimentos sobre pilotis, resultado das determinações da lei nº 4486, de 1974. Esta tipologia predominou até o início da década de 80, quando efetivamente se iniciou a verticalização da cidade, sobretudo no bairro da Aldeota.

O processo foi desencadeado pela liberação dos gabaritos, de acordo com o novo Plano Diretor Físico da Cidade, aprovado pela lei nº 5122 A, de 1979, que permitiu a construção de prédios de maior altura, regulada pelos índices de ocupação do solo, além de ter ocorrido mudança de uso das edificações, admitindo-se o uso multifamiliar e comercial, em áreas fora do centro.

No entanto, apesar do surgimento de edifícios mais altos a partir de então, durante muito tempo dificilmente se construíam edifícios de mais de 12 pavimentos na cidade. Somente depois da primeira metade da década de 90, com a aprovação do PDDU/FOR - Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Fortaleza - de 1992, alteração legal



justificada pelo elevado custo do terreno e por pressão da crescente especulação imobiliária, apareceram os prédios residenciais e comerciais com mais de 20 pavimentos, tipologia aliás que predomina nas novas construções.

### A verticalização e o avanço do cálculo estrutural

A construção de edifícios altos ocasionou mudança significativa na engenharia estrutural local e estimulou o aperfeiçoamento da técnica do concreto armado, sobretudo no que se refere a cálculos mais sofisticados, solicitando concretos mais resistentes (com maior  $f_{ck}$ ) e mais bem confeccionados (exigência do "prumo zero"<sup>5</sup>). Verificou-se, em consequência, a procura de novas opções com o intuito de se conseguirem maiores vãos, recorrendo às lajes nervuradas e à técnica do concreto protendido, bem como conduzindo à preocupação com elementos antes pouco valorizados pelos calculistas, como o índice de esbeltez, em função da ação dos ventos.



Fotos 7.48, 7.49, 7.50 - Edifícios Av. Beira Mar

*O cálculo de edifícios altos e estreitos deve levar em consideração o índice de esbeltez, em função da ação dos ventos*

### Novos programas arquitetônicos

Aliados a essas novas exigências, outros fatores também forçaram mudanças nas técnicas do concreto, como o surgimento de novos programas arquitetônicos (os "flats", os atuais "lofts", por exemplo, que demandam a confecção de uma laje por apartamento,

<sup>5</sup> Prumo zero - ausência de diferença no prumo das partes do edifício, obtido por meio de instrumentos eletrônicos ou a laser



ou pés direitos mais altos). Por outro lado, ocorreram mudanças no padrão de vida de certos setores da sociedade, resultando na atual solicitação de mais vagas de carros nas garagens dos edifícios, impondo maiores vãos. A propósito, vale ressaltar que há 15 anos os projetos de apartamentos de luxo comportavam apenas duas vagas na garagem por habitação, sendo hoje comum a oferta de quatro vagas.

A arquitetura, sem dúvida, contribuiu significativamente para o avanço da tecnologia do concreto, não só pelo surgimento de novos programas arquitetônicos, mais especializados, como também pela elaboração de projetos mais ousados, que forçaram a procura de soluções antes não imaginadas.

As novas solicitações, o talento dos profissionais da área, sempre em busca de inovar, e o surgimento dos recursos de informática, somados, fizeram com que o cálculo estrutural alcançasse um padrão de desenvolvimento bastante elevado na cidade. Pode-se mesmo afirmar que Fortaleza, em relação a outras cidades brasileiras, se encontra em posição de vanguarda, particularmente sob alguns aspectos, como a técnica da protensão com cordoalha engraxada.

#### **7.4 Situação atual do emprego do concreto armado na cidade de Fortaleza**

A matéria a seguir exposta, relativa à situação atual do emprego do concreto armado na cidade de Fortaleza, reúne observações pessoais, e ao mesmo tempo condensa os depoimentos dos profissionais entrevistados durante a pesquisa.

Nas entrevistas, procurou-se saber as opiniões de engenheiros e arquitetos sobre as relações entre forma e estrutura, sobre o emprego e desenvolvimento da técnica do concreto armado, o relacionamento entre os projetistas de arquitetura e estrutura, sobre a interferência da informática no cálculo estrutural e sobre as tendências de evolução da técnica. Trechos das entrevistas são descritos integralmente nos itens a seguir, conforme o assunto abordado.

### 7.4.1 A evolução do uso do concreto armado na cidade de Fortaleza

Alguns aspectos sobressaem relativamente à evolução da técnica do concreto armado nos últimos anos, conforme se depreende da observação das obras e dos depoimentos dos técnicos entrevistados. Assim, ganham evidência:

- a melhoria na resistência do concreto - em 1975, por exemplo, se trabalhava com  $f_{ck}$  de 135 kgf/cm<sup>2</sup> (13,5 MPa), quando atualmente é comum recorrer-se a resistências de 20 a 25 MPa, em concreto armado;
- a obtenção de um concreto de melhor qualidade, proporcionada por técnicas de controle mais eficientes, o que significa dizer, estruturas mais resistentes e com melhor acabamento;
- as estruturas mais esbeltas, resultantes de concretos mais resistentes, alterando-se o espaço arquitetônico; e estruturas mais arrojadas, em decorrência das próprias mutações arquitetônicas;
- os cálculos mais sofisticados, em função da própria experiência dos profissionais, bem como da evolução da informática, pela introdução de novos *softwares* com programas diversos;
- a melhoria nos tipos de fôrmas;
- a tendência da utilização de novas técnicas, sobretudo a técnica da protensão, que permite se alcançarem maiores vãos.

#### Evolução das fôrmas e do escoramento

No que se refere à evolução das fôrmas, em vez das habituais tábuas de pinho, atualmente se usam compensados de alta resistência e de alta impermeabilidade, com sistemas de escoramento mais eficientes, agilizando o processo e permitindo diversas reutilizações. Constata-se também nos últimos anos, o emprego intensivo das fôrmas de plástico, reaproveitáveis, próprias para estruturas em grelha, bastante utilizadas nas construções em Fortaleza. Também se observa um aumento no emprego do alumínio e do aço em fôrmas e em escoramentos, substituindo a madeira, comumente limitada ao uso de troncos de arbustos, com aparência tosca.

## Estudo comparativo entre estruturas de épocas diversas

Todos esses avanços técnicos ficam patentes quando se estabelecem comparações entre os sistemas atuais e aqueles empregados há três décadas, por exemplo.

Como comprovação, procedeu-se a um estudo comparativo entre dois edifícios de igual programa arquitetônico (supermercados), construídos em épocas diferentes (1972 e 2000), a fim de se apreciar o quadro evolutivo ocorrido nos tipos de estruturas empregadas, sobretudo no subsolo. A análise comparativa das duas edificações é descrita a seguir:

### 1. Supermercado Pão de Açúcar Náutico - construído em 1972.

O projeto arquitetônico foi elaborado por um leigo, por solicitação de uma firma local, posteriormente absorvida pelo grupo Pão de Açúcar, de São Paulo. O edifício apresenta estrutura convencional, composta de vigas, pilares e lajes. Os vãos são irregulares, assim como as posições e as seções dos pilares, quase todos de grandes dimensões. As vigas possuem alturas que variam de 60 a 70 cm e larguras de 20 a 40 cm. A disposição dos pilares no subsolo, de forma irregular, dificulta o uso da garagem, criando espaços ociosos.



Fotos 7.50 e 7.51 - Subsolo Supermercado Pão de Açúcar Náutico

### 2. Supermercado Pão de Açúcar Mucuripe - construído em 2000.

O projeto foi elaborado pelo arquiteto Misael Bezerra, e o cálculo estrutural é de autoria do engenheiro Sérgio Otoch. A estrutura do prédio é bastante regular, composta por pilares de 25 x 25 cm, dispostos a cada 7,10m nos dois sentidos. A laje é nervurada, com faixas protendidas, e não há interferência de vigas, que obedecem a altura das nervuras. A solução adotada é bastante clara, racionaliza o uso dos espaços, facilitando sobremaneira a destinação que se propõe: estacionamento de carros.

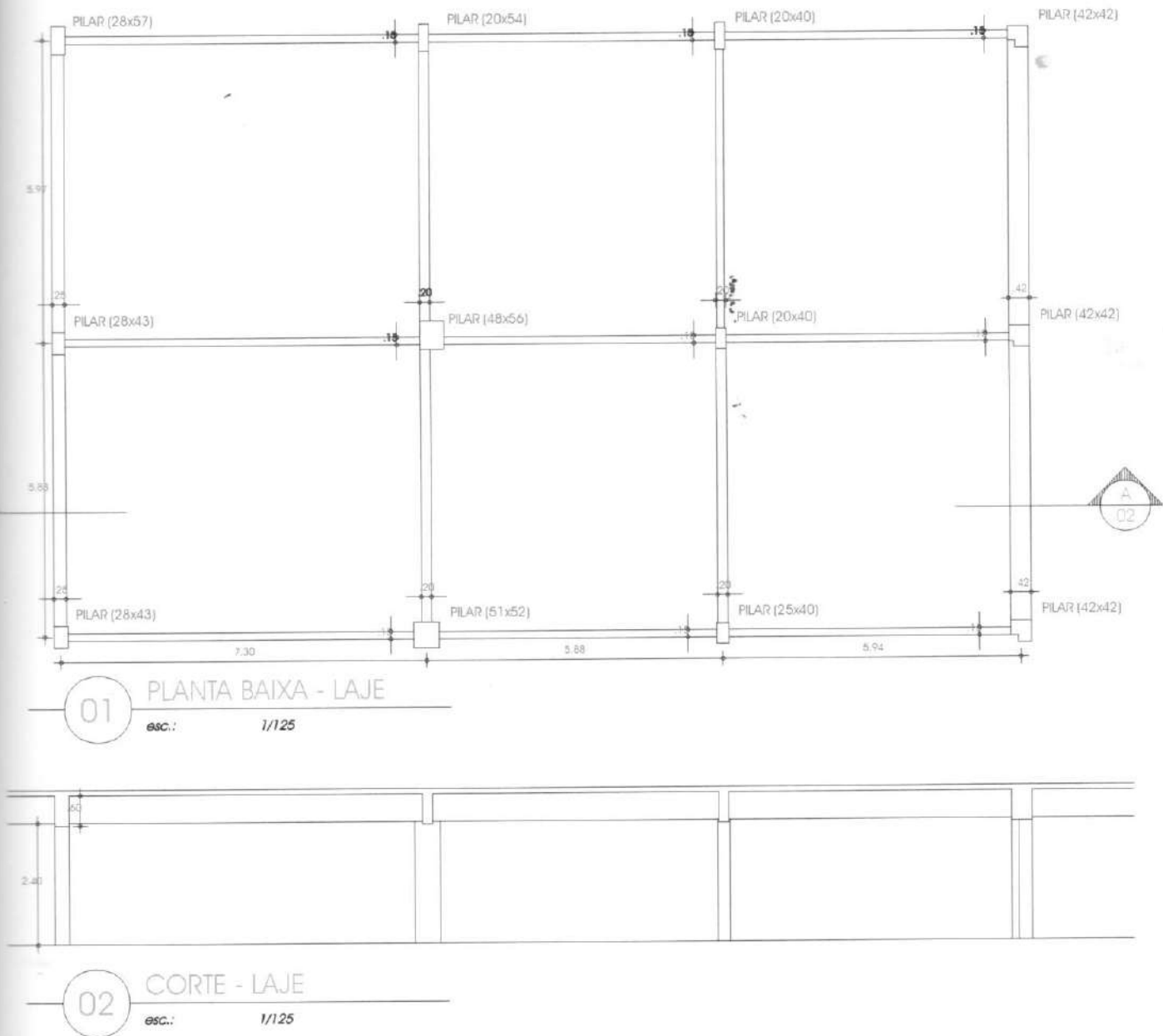
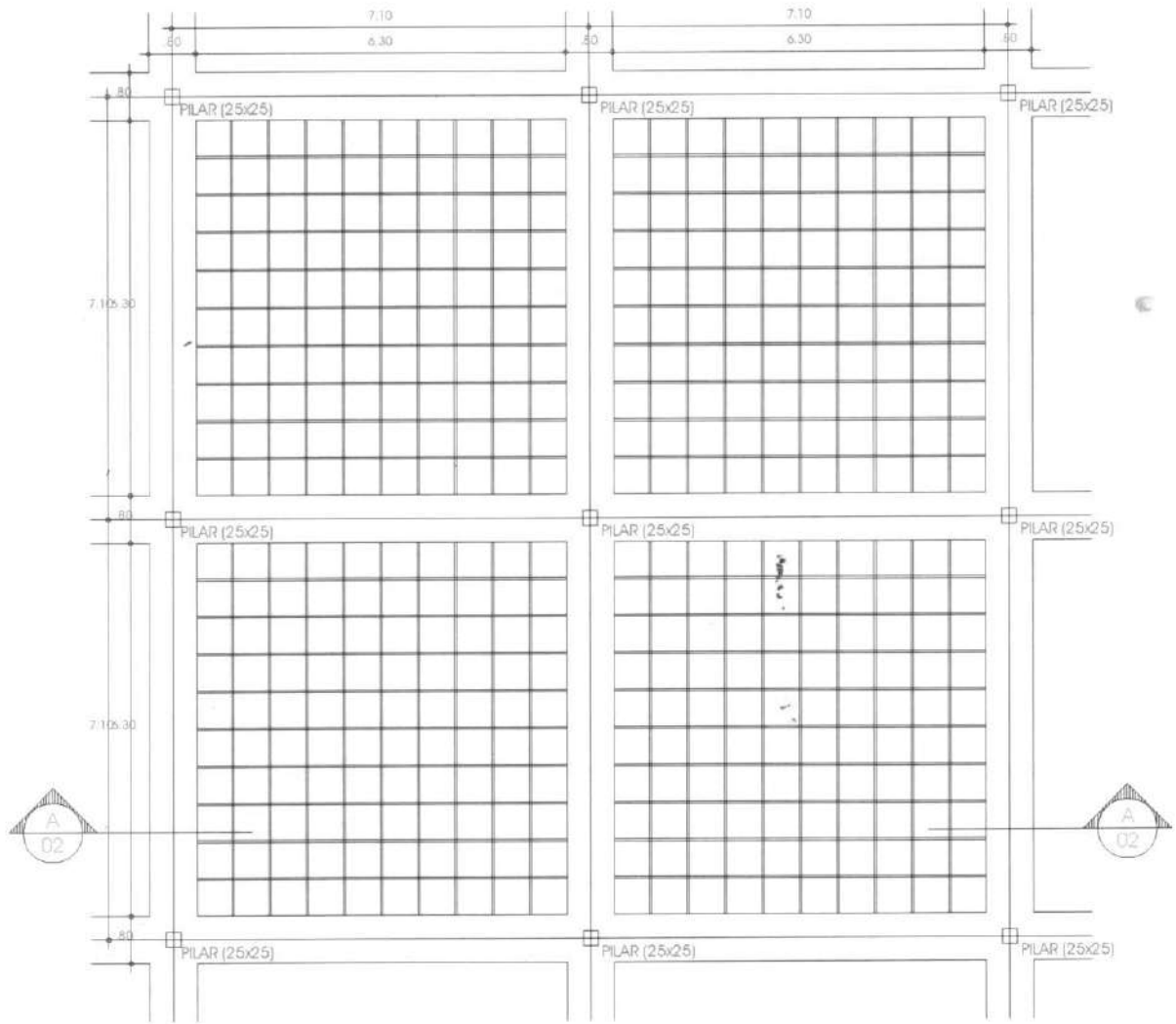
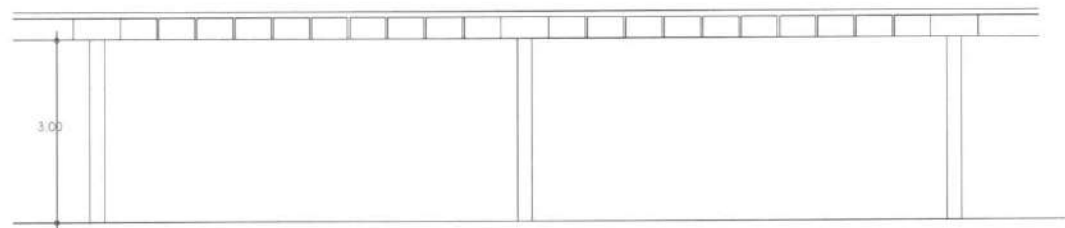


Fig. 7.4 - Esquema estrutural / Supermercado Pão de Açúcar Náutico

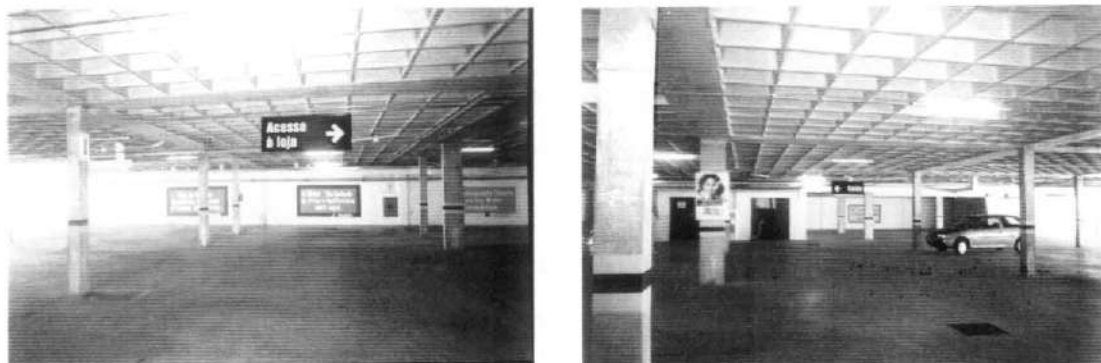


01 PLANTA BAIXA - LAJE NERVURADA  
 esc.: 1/125



02 CORTE - LAJE NERVURADA  
 esc.: 1/125

Fig. 7.5 Esquema estrutural / Supermercado Pão de Açúcar Mucuripe



Fotos 7.53 e 7.54 - Subsolo Supermercado Pão de Açúcar Mucuripe

Como se pode concluir, a mesma demanda acarretou dois tipos de soluções bastante diferenciadas, a segunda proporcionando uma oferta bem mais generosa e mais rentável de espaço que a primeira.

Na análise, não foi considerado o funcionamento do sistema de vendas, próprio desse tipo de estabelecimento, sem dúvida beneficiado pela melhor disposição dos espaços. A avaliação ora apresentada refere-se tão somente aos aspectos tecnológicos de cada edifício, não envolvendo considerações arquitetônicas.

#### **7.4.2 O emprego de novas técnicas**

Resultado de estudos e pesquisas, como também no intuito de atender a novas solicitações da arquitetura, ultimamente têm sido usadas técnicas modernas, sempre com a finalidade de se alcançarem soluções mais criativas e eficientes. Entre aquelas mais usadas, podemos citar:

- protensão não aderente;
- concreto de alto desempenho;
- estruturas pré-moldadas.

Para melhor compreensão do emprego de novas técnicas em Fortaleza, apresentam-se a seguir, concisos comentários pertinentes.

### Protensão com armadura não aderente

A técnica de protensão não aderente, isto é, com o uso da cordoalha engraxada vem sendo usada com sucesso em edificações na cidade de Fortaleza, com tendência de crescente aplicação. Esse sistema tem sido utilizado em edifícios residenciais e comerciais, quer buscando suprir as limitações do concreto armado convencional, quer surgindo como alternativa ao concreto protendido aderente, solução mais cara e usada em edifícios de grande porte.

Empregada apenas há pouco mais de três anos na cidade, a técnica da protensão com cordoalha engraxada foi trazida dos Estados Unidos (onde já é usada há bastante tempo) por um grupo de engenheiros cearenses - Joaquim Caracás, Ricardo Brígido e Helder Martins, que realizaram estudos a fim de viabilizá-la economicamente em nossa região.

Os engenheiros contaram com a consultoria e parceria da ADAPT - Structural Engineering Consultants, de São Francisco, Califórnia, por meio de seu representante, o engenheiro Dr. Bijan Aalami, professor de engenharia estrutural da S. Francisco State University, considerado a maior autoridade do mundo no conhecimento da tecnologia da protensão com cordoalha engraxada.

O sistema foi utilizado aqui em Fortaleza de forma pioneira e depois difundido para o resto do país, em parceria com a Companhia Belgo-Mineira, responsável pelos equipamentos para extrusão das cordoalhas.



Fig. 7.6 – Fachada (Fonte- Revista AU)



Fig. 7.7 – Estrutura (Fonte- Revista AU)

Sebrae / Fortaleza





Fig. 7.8 - Estrutura (Fonte- Revista AU)

**Sebrae/Fortaleza**

Proj. arq.: Novaes Arquitetura

Proj. estrut.: Marcelo Silveira e Denise Silveira

Além de viabilizar os grandes vãos necessários para atender ao programa, a opção pelo concreto protendido na obra mostrou-se economicamente viável graças à redução do volume de concreto e do consumo de formas e escoramento



Fig. 7.9 - Fachada (Fonte- Revista AU)

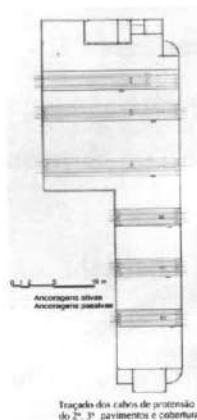


Fig. 7.10 - Montagem das cordoalhas de protensão (Fonte - Revista AU)



Fig. 7.11 - Protensão / laje (Fonte - Revista AU)

**Sesc/Fortaleza**

Proj. arq.: Júlio Barreira

Proj. estrut.: Marcelo Silveira e Denise Silveira

Utilização de cabos de protensão engraxados

O concreto protendido não aderente tem sido também utilizado recentemente em fundações tipo *radier*, sobretudo em conjuntos habitacionais, com prédios de até 3 pavimentos, apresentando como vantagens a não necessidade de escavações, a agilidade de execução, além de funcionar como o próprio piso da edificação.

### Fundações em radier protendido



Fig. 7.12 - Vista  
(Fonte - Revista Techne)



Fig. 7.13 - Detalhe  
(Fonte - Revista Techne)



Fig. 7.14 - Execução da  
protensão  
(Fonte - Revista Techne)

*A cidade de Fortaleza é pioneira na utilização da protensão não aderente em fundações*

Segundo construtores que executam este processo, a substituição das tradicionais fundações diretas por *radiers* protendidos com cordoalhas engraxadas, permitiu reduzir em 50% o número de operários necessários nessa etapa da obra.

### Concreto de alto desempenho

O concreto de alto desempenho - CAD - vem sendo atualmente empregado no Porto do Pecém e em suas edificações complementares (Fotos 7.60 a 7.62), constituindo aliás aplicação pioneira no país e única ocorrida no Ceará, até o momento.

O CAD se apresenta como solução adequada às condições de certas áreas da nossa cidade, como a Praia do Futuro, pois confere, por sua alta impermeabilidade, grande resistência à corrosão, e portanto, maior vida útil às estruturas de concreto. No entanto, seu emprego é ainda bastante limitado em face do alto custo e porque requer rigoroso controle de qualidade e mão de obra mais especializada.

Como se trata de prática bastante restrita, e portanto, de tecnologia ainda pouco conhecida pela maioria dos construtores, acredita-se que seja também esta a outra razão da cautela em empregá-la. Considera-se, entretanto, que, por suas inúmeras qualidades, venha num futuro próximo a ser difundida em nossa região.

Algumas pesquisas e estudos têm sido elaborados no sentido de divulgar as vantagens da utilização do CAD, como por exemplo, o trabalho desenvolvido pela engenheira Hilda Pamplona, que afirma:

*"Este tipo de concreto é de extremo valor para obras localizadas em ambientes agressivos, oferecendo uma possibilidade maior para um aumento da vida útil das estruturas de concreto. Portanto, recomenda-se a utilização deste concreto para regiões com essas características. Sabe-se que nestas condições, a utilização do CAD em termos de custo x benefício é bastante compensadora... Por ser o CAD um material aplicado somente em 1997 na obra do Porto do Pecém, embora tenha sido realizado o estudo piloto, o pouco tempo de uso requer dos profissionais da área observar, averiguar e comprovar com indicadores concretos que o produto é eficaz, e sua relação custo benefício é compensadora. Eis porque se pressupõe que a adoção deste novo material só se torne definido posteriormente". (PAMPLONA, 1999: 81)*

### **Estruturas pré-moldadas**

O emprego de pré-moldados na estrutura de concreto vem sendo ultimamente objeto de estudo pelas vantagens que oferece, conferindo agilidade à execução da obra, além da uniformidade e da melhor qualidade proporcionada às peças produzidas.

Esse sistema permite que as peças sejam preparadas na fábrica e depois montadas definitivamente em local distante, favorecendo execução de obras de qualidade no interior do Estado. É um tipo de solução considerada ideal, principalmente para galpões industriais e estruturas moduladas.

A aplicação da protensão em pré-moldados veio aperfeiçoar a técnica, já que produz peças mais resistentes (utiliza-se 40MPa), tornando-as mais leves e mais esbeltas, facilitando, assim, o processo de transporte e montagem.

O cálculo das estruturas pré-moldadas, vale ressaltar, difere das estruturas executadas *in loco*, porque vários fatores devem ser levados em consideração, especialmente o problema de movimentação das peças, na fábrica, no transporte e na montagem.

Ultimamente, têm-se utilizado também tijolos de concreto nas paredes divisórias e de vedação dos edifícios, em substituição à alvenaria de tijolos cerâmicos, além de blocos confeccionados especialmente para execução de alvenaria estrutural e peças pré-moldadas para pavimentação e vedação.

Em Fortaleza, a indústria de pré-moldados de concreto tem conhecido atualmente acentuado desenvolvimento, existindo empresas especializadas na confecção de peças pré-moldadas, com alto padrão tecnológico, diferentemente do que ocorria há alguns anos atrás, quando a maioria delas funcionava de forma inteiramente artesanal.

Somente nos anos 90 é que surgiram aqui as primeiras indústrias de pré-moldados com protensão e produção em escala, com fôrmas mecânicas, algumas até controladas por computador, além de centrais dosadoras de concreto com misturadores elétricos, equipamentos especializados para movimentação e transporte e um rigoroso controle de qualidade na execução das peças (Eng. Joaquim Mota).



Fig. 7.15 – Galpão Concretópolis / Fortaleza  
(Fonte - Concretópolis)



Fig. 7.16 – Montagem / Galpão Concretópolis  
(Fonte - Concretópolis)

#### Fábrica T&A



Foto 7.55 - Fábrica T&A - aspecto geral



Foto 7.56 – Galpão / Fábrica T&A

Fábrica T&A



Foto 7.57 - Montagem telha / galpão T&A



Foto 7.58 - Pista de protensão



Foto 7.59 - Laje pré-moldada alveolar

Edificações complementares do Porto do Pecém (Ce), 1999

*Obras executadas com estruturas pré-moldadas e concreto de alto desempenho*



Foto 7.60 – Estrutura / Galpão Porto do Pecém  
(Foto: Dácio Carvalho)



Foto 7.61 - Galpão Porto do Pecém (Foto: Dácio Carvalho)



Foto 7.62 – Montagem / Galpão Porto do Pecém  
(Foto: Dácio Carvalho)

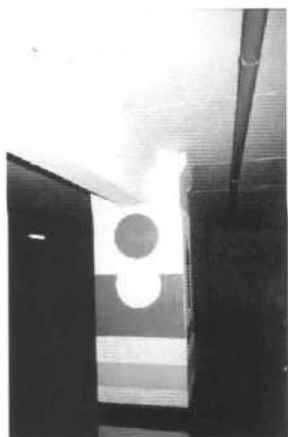


Foto 7.63 – Pilar / Shopping Aldeota  
*Parte da estrutura - vigas e lajes - do Shopping Aldeota foi executada com pré-moldados*



Foto 7.64 - Prédio FIC, rua Oswaldo Cruz  
*Estrutura e vedações executadas com pré-moldados*

### 7.4.3 A questão do controle de concreto

A evolução das estruturas de concreto, fruto do surgimento de novas técnicas (concreto de alta resistência, concreto de alto desempenho, etc.), está diretamente ligada à tecnologia do controle de concreto, a qual constitui uma ferramenta eficaz para garantir a qualidade das estruturas.

Atualmente, a introdução dos conceitos de qualidade vem fixando um novo comportamento técnico no setor da construção civil, que passa a adotar o controle de concreto como procedimento essencial para assegurar a segurança e eficácia das construções.

A prática do controle tecnológico do concreto começa com a análise dos materiais componentes (brita, areia, cimento e água), passa pela determinação da dosagem, além da verificação do processo de fabricação, da mistura, do transporte, do lançamento na peça, do adensamento, até atingir os ensaios finais dos corpos de prova. Todas essas operações são executadas com base nas normas técnicas.

Até o início da década de 70 não se fazia controle de concreto nas construções em Fortaleza, ocorrendo exceção apenas em alguns reservatórios da CAGECE construídos no final dos anos 60 e cujo controle foi realizado por uma firma pernambucana. O Edifício Arpoador, construído na Av. Beira Mar, no ano de 1972 foi a primeira obra de arquitetura cearense onde foi executado controle de concreto.



Foto 7.65 - Edifício Arpoador, Av. Beira Mar



Desde então, esse tipo de serviço de acompanhamento vem sendo desenvolvido na cidade principalmente por meio do trabalho do engenheiro Afrodízio Pamplona (professor aposentado da disciplina Materiais de Construção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará), considerado pioneiro local no controle tecnológico do concreto e responsável pela maioria das obras da cidade que utilizam essa prática.

Atualmente, sabe-se que mais da metade das <sup>obras</sup> construção de porte executadas em Fortaleza já solicitam o controle do concreto, procedimento recomendado sobretudo pelos projetistas de estruturas, como forma de garantir a eficácia de seus cálculos. Estruturas mais sofisticadas exigem um controle cada vez mais eficiente do concreto.

Como os materiais estão começando a trabalhar no limite, com  $f_{cks}$  cada vez mais altos, então isso requer um controle mais efetivo. Daí a importância do serviço de controle tecnológico do concreto, que nada mais é do que um controle de qualidade, aliás uma meta a ser atingida pelos construtores e exigida pelo consumidor. (Eng. Afrodízio Pamplona)

Apesar de ser um procedimento considerado imprescindível nos países desenvolvidos, a prática do controle de concreto ainda não está disseminada no Brasil. No entanto, como afirma o engenheiro Afrodízio Pamplona, a demanda vem aumentando cada vez mais, e já existe uma conscientização, por parte dos construtores (embora ainda não generalizada), das vantagens de se realizar o controle nas obras que utilizam o concreto como estrutura. O engenheiro ressalta que o Ceará é, aliás, um dos poucos estados brasileiros onde a prática é difundida, talvez devido à agressividade do nosso meio ambiente, que força a busca de estruturas mais bem elaboradas e a confecção de concretos de melhor qualidade. Esse fato explica e confirma a tendência de vanguarda manifestada pelo Estado no emprego das técnicas do concreto armado.

#### 7.4.4 Formas arquitetônicas e projeto estrutural

É consenso, entre os engenheiros estruturais, basicamente não existir limites para a execução de estruturas em atendimento às formas delineadas pelo arquiteto. As limitações, na maioria dos casos, procedem do fator econômico, cujas restrições podem inviabilizar o projeto.



Eu normalmente não estabeleço limites, o que posso fazer é alertar, e mostrar as soluções mais caras e mais baratas. A estrutura mais barata é a convencional, mas nem sempre resolve os problemas da arquitetura. Espaços monumentais, por exemplo, não podem ter muitos pilares. Vãos maiores requerem material melhor, concreto melhor, aço melhor, maior resistência. Portanto, o que vai limitar, na maioria das vezes, é o custo. (Eng. Gerardo Santos Filho)

Segundo os engenheiros, a técnica da protensão e o concreto de alto desempenho são recursos que possibilitam formas mais ousadas para os arquitetos. No entanto, como se trata de soluções mais caras, nem sempre são usadas.

### O arquiteto e o conhecimento da estrutura

*"Ao arquiteto cabe o traço inicial, definindo sua arquitetura e o sistema estrutural que deseja. E isso exige uma certa familiaridade com os problemas do concreto armado e as grandes estruturas". (Niemeyer, 1978: 36)*

Todos os engenheiros estruturais entrevistados manifestaram a opinião de que é recomendável tenha o arquiteto um conhecimento básico do comportamento do concreto armado, e de suas reais possibilidades, a fim de poder lançar a estrutura e propor situações possíveis de serem executadas.

É difícil para o arquiteto ter domínio completo e profundo de todos os aspectos de uma estrutura. É essencial, porém, que tenha os conhecimentos necessários para conduzir adequadamente seu projeto junto aos engenheiros estruturais e não ficar à mercê destes. Assim, o arquiteto precisa ter o sentimento e os conhecimentos técnicos básicos para compreender o funcionamento da estrutura que irá possibilitar a existência material das formas que originarão os espaços concebidos em seu projeto. (Eng. Dácio Carvalho)

Na verdade, apesar de recomendável, a participação do arquiteto na definição da estrutura nem sempre ocorre de forma adequada. Através da pesquisa, verificou-se que essa participação atualmente tende a ser cada vez mais presente e significativa. No entanto, nem sempre foi assim. Até a década de 70, somente alguns poucos arquitetos ofereciam ao calculista informações acerca da estrutura a ser adotada. O arquiteto Roberto Castelo comenta a respeito do assunto:

Lembro-me que quando cheguei em Fortaleza (no início dos anos 70) não havia o costume generalizado do lançamento da estrutura por parte dos arquitetos.

Também de acordo com o depoimento do arquiteto Francisco Hissa, na época em que começou a atuar, nos anos 70, não havia, de modo geral, muita interferência do projetista de arquitetura na definição do partido estrutural, aceitando-se, geralmente o que era determinado pelo calculista. Além do mais, as opções estruturais eram muito limitadas. Com o passar do tempo, a participação do arquiteto começou a se ampliar.

O que acontece hoje, é que em 90% dos projetos que fazemos, nós não só definimos a estrutura, como chegamos a dimensionar ou sugerir o sistema estrutural a ser adotado (laje nervurada, protensão, etc.) Isso significa uma mudança, e é fruto da prática, que nos deu maior conhecimento de como funcionam as estruturas, possibilitou um maior domínio do processo, e conseqüentemente uma maior interferência nossa. Isso não quer dizer que o que propomos seja imutável, mas quase sempre acertamos, pois partimos de conceitos conhecidos. O que eu quero dizer é que a estrutura sugerida pelos arquitetos são bem mais viáveis que na década de 70, por exemplo, quando comecei a projetar. (Arq. Francisco Hissa)

O arquiteto Neudson Braga também afirma que sempre faz o lançamento da estrutura em seus projetos e, quando há dúvidas, consulta um engenheiro estrutural, salientando a importância da coerência entre arquitetura e estrutura, opinião compartilhada por outros arquitetos entrevistados:

É fundamental a importância da estrutura na arquitetura, e isso deve ser evidenciado desde o início, no projeto. A estrutura deve ser "lida" claramente na obra, e cabe ao arquiteto a decisão pela opção estrutural. (Arq. Paulo Cardoso)

A formação que tivemos na Faculdade Nacional de Arquitetura, em meados do século, levou-nos a considerar a estrutura como parte integrante do projeto arquitetônico. Lembro-me que os cursos de estrutura ministrados pelo professor Aderson Moreira da Rocha eram rigorosamente os mesmos para os estudantes de arquitetura e os alunos da então Escola Nacional de Engenharia, onde ele era também catedrático. (Arq. Liberal de Castro)

#### 7.4.5 As relações entre engenheiro estrutural e arquiteto

Em geral, parece não existir qualquer conflito entre as relações profissionais mantidas entre os projetistas de arquitetura e de estrutura. Ambos buscam sempre o diálogo, de modo a viabilizar o projeto estrutural.

O relacionamento entre o arquiteto e o engenheiro estrutural deve ser maduro e cordial, sem deixar de ser profissional - isto é, que cada um lute e argumente para fazer valer seus pontos de vista, sabendo, entretanto, reconhecer e admitir propostas e soluções diferentes, desde que estas levem a um projeto mais perfeito e viável. Antes, costumava-se dizer que o desenvolvimento dos projetos arquitetônicos e estrutural era uma briga entre "estética e estática". Nada mais falso! Na verdade, engenheiros e arquitetos devem dialogar para que seus projetos formem um conjunto afinado, o que, naturalmente irá gerar uma boa obra em todos os seus aspectos: forma, espaço, segurança, economia, funcionalidade e durabilidade. (Eng. Dácio Carvalho)

O método de trabalho geralmente utilizado por estes profissionais consiste nos seguintes passos: o engenheiro estrutural recebe do arquiteto o projeto (estudo preliminar) com o posicionamento de pilares e vigas; estuda a viabilidade e faz alguns ajustes. O projeto volta para o arquiteto, que adapta novamente a solução estrutural ao seu projeto. O calculista faz um pré-dimensionamento, que é examinado pelo arquiteto, e então é preparado o dimensionamento final, o qual serve de base para a elaboração do projeto executivo.

Este seria o esquema ideal, mas nem sempre assim ocorre. Há ocasiões em que o calculista já recebe o projeto pronto, o que torna mais difícil definir o projeto estrutural, redundando muitas vezes em solução cara. Os engenheiros afirmam, entretanto, que sempre objetivam atender às solicitações do projeto arquitetônico, criando ao mesmo tempo estruturas econômicas. Esta tendência foi confirmada pelos arquitetos entrevistados.

Sempre procuro atender o projeto arquitetônico, mas cabe a mim, como projetista de estrutura, orientar sobre possíveis mudanças, a fim de obter uma estrutura mais econômica. Se houver resistência, se o arquiteto não concordar, então eu obedeço o projeto arquitetônico. É a minha prioridade. (Eng. Gerardo Santos Filho)

É comum, portanto, acontecerem casos em que os arquitetos tenham de fazer concessões em alguns pontos, visando à exequibilidade e à maior economia da obra, mas também não é raro os engenheiros aceitarem os desafios propostos pelos projetistas de arquitetura. Assim, na opinião de alguns engenheiros, é essencial que haja confiança mútua entre os profissionais e fácil comunicação entre eles, a fim de se chegar a um consenso que garantirá a qualidade final da obra construída.

Na opinião de arquitetos, o relacionamento com o engenheiro estrutural tem sido sempre muito bom, pautado num mútuo espírito de respeito e colaboração. Esse relacionamento tem se tornado cada vez melhor, à medida em que o arquiteto domina mais os processos estruturais (sistema, custo do concreto, diferentes opções, etc), de modo a poder propor e argumentar com mais propriedade.

Estou convencido de que o arquiteto precisa conhecer a estrutura. Dessa forma, se podem propor soluções que se sabe serem viáveis, e, na minha opinião, é o arquiteto quem deve lançar a estrutura. O peso da nossa opinião hoje é bastante significativo e o próprio construtor passa a respeitar e confiar mais no que se diz. Hoje se sabe, por exemplo, que há um sistema construtivo de concreto que permite que determinada solução seja adotada sem que o custo aumente. (Arq. Francisco Hissa)

Torna-se aliás recomendável buscar uma compatibilização final entre todos os projetos - arquitetura, estrutura e instalações - como o vêm fazendo, com sucesso, algumas empresas na cidade no sentido de se evitarem problemas na obra. Seria interessante, aliás, que o projeto de instalações fosse feito de forma simultânea com o de estruturas, tendo em vista a interferência que existe entre ambos. O processo atualmente é agilizado e otimizado com o uso do computador.

#### **7.4.6 O cálculo estrutural e o uso do computador**

Em substituição às antigas régua de cálculo e às calculadoras manuais, elétricas e eletrônicas, o computador passou a ser usado de maneira intensiva a partir do início da década de 90, tendo desempenhado papel revolucionário na elaboração do cálculo estrutural, pela infinidade de possibilidades e vantagens que proporciona.

O uso da computação na engenharia de estruturas trouxe grande avanço e aperfeiçoamento ao cálculo estrutural, conforme opinião de todos os engenheiros

entrevistados, não só pela introdução de programas de análise estrutural mais complexos, que permitem cálculos mais elaborados, mas também no que se refere à rapidez no processo e à facilidade de comunicação entre os profissionais envolvidos, além de permitir simulações e reformulações rápidas, antes impensáveis.

Antes do computador, os engenheiros estruturais eram obrigados a trabalhar com hipóteses simplificadoras, por falta de meios. Muitas vezes, a solução adotada nem sempre era a melhor, mas aquela que prevalecia, por não haver tempo de se buscarem outras opções.

Antes não se tinha muito tempo para se fazerem cálculos, e as soluções eram mais simplificadas. Hoje se pode perder um pouco mais de tempo na pré-forma e no pré-lançamento da estrutura, porque depois o cálculo sai bem mais rápido. Graças ao computador, hoje se pode propor mais de uma solução estrutural sem maiores problemas. (Eng. Hugo Mota)

Atualmente, devido a essa possibilidade de se realizarem simulações, tornou-se prática comum a oferta de mais de uma solução estrutural ao cliente, que pode optar por uma delas, de acordo com sua conveniência.

As análises se tornaram muito mais simples e mais rápidas, e se podem determinar e calcular estruturas muito mais eficientes e com grau de confiabilidade bem maior. (Eng. Luiz Carlos Fontenele)

Dentre outras vantagens, o uso do computador possibilita o estudo de efeitos que antes eram apenas estimados, como por exemplo, o efeito do vento, o efeito de retração, e isso dá uma maior segurança, sem que o engenheiro perca muito tempo com a parte de contas. (Eng. Ricardo Brígido)

O uso do computador alterou o método de trabalho, facilitou a comunicação entre os profissionais envolvidos no projeto, acentuando a interação entre eles, o que vem, sem dúvida, melhorar o resultado final da obra.

Atualmente, graças ao computador, é possível mudar a solução em muito pouco tempo. Verificam-se dimensões de vigas e pilares, ação dos ventos, volume de concreto e podem-se fazer tentativas até se chegar a uma solução ideal. Tudo isso, sem dúvida, otimizou o cálculo estrutural. (Eng. Gerardo Santos Filho)

No entanto, apesar de agilizar o processo do cálculo, a informática não alterou muito o tempo de realização de um projeto estrutural, que varia de 45 a 60 dias, segundo os

engenheiros entrevistados. Isto porque, se por um lado, o tempo da confecção dos cálculos foi reduzido, por outro, o mesmo prédio é calculado várias vezes, dada a possibilidade de se realizarem simulações, aumentando o período necessário para análise e escolha de cada opção.

A nova conjuntura veio favorecer a elaboração de projetos arquitetônicos mais arrojados. Os arquitetos ousam mais, também

porque sabem que agora os engenheiros dispõem de um instrumento (ferramenta) capaz de conseguir esse objetivo, de realizar cálculos mais complexos: maiores vãos, maiores balanços, varandas curvas, pavimentos diferenciados, etc. (Eng. Dácio Carvalho)

O programa mais usado pelos engenheiros estruturais em Fortaleza é aquele fornecido pela TQS Informática Ltda - Tecnologia e Qualidade em Sistemas Ltda, que vem se atualizando e se aperfeiçoando, muitas vezes para atender às próprias solicitações dos calculistas locais, os quais, questionando os programas oferecidos, têm oferecido propostas inovadoras. Fortaleza constitui, aliás, o maior mercado de *softwares* TQS do país, e é a cidade que recebe em primeira mão os lançamentos da empresa.

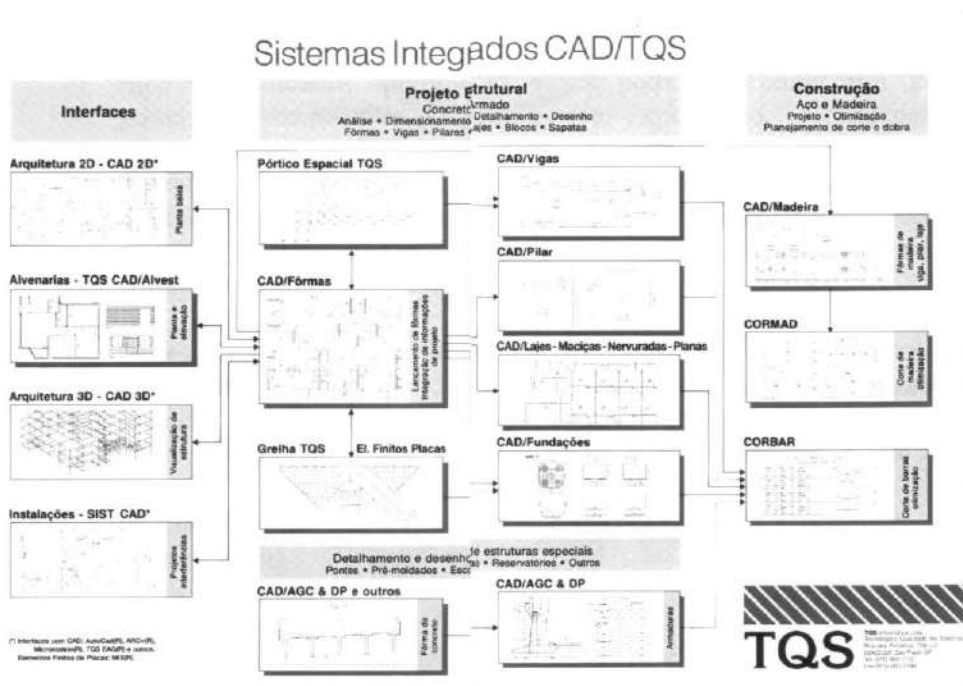


Fig. 7.17 - Esquema software / TQS - (Fonte - TQS)



## O perigo do mau uso do computador

Apesar de ser inegável a importância da informática, que hoje constitui uma ferramenta importante, até essencial, no entanto, há aspectos relevantes a considerar no atual estágio do cálculo estrutural. O computador é apenas uma máquina, um instrumento de trabalho e, quando mal utilizado, pode trazer grande prejuízo para o resultado final do cálculo. Isto porque, se, por um lado todos esses recursos são bem-vindos, por outro, o emprego inadequado e a falta de experiência dos usuários têm levado à proposição de estruturas pouco confiáveis, acarretando sérios problemas para a estabilidade da obra. O resultado de cálculos computadorizados não criteriosos tem se tornado um dos aspectos mais criticados e preocupantes.

Segundo o eng. Luiz Carlos Fontenele,

o computador liberou o calculista do mero trabalho braçal, de fazer contas, mas ele não faz milagres. Quem calcula é o engenheiro, que pensa, que analisa os dados, que concebe a estrutura, e não o computador. A concepção do trabalho, a criatividade estrutural, esta é inerente ao profissional.

Outros engenheiros também opinaram sobre o assunto:

O uso do computador no cálculo estrutural tem que ser cercado de rigorosos cuidados, porque às vezes pode representar um perigo, principalmente na mão de pessoas sem experiência. A concepção da estrutura deve ser feita com muito critério e responsabilidade. O que diferencia um engenheiro estrutural do outro é a capacidade de conceber a estrutura, o resto é simplesmente cálculo, é mecânico. E o resultado dos cálculos no computador tem que ser avaliado e validado por um engenheiro experiente. (Eng. Dácio Carvalho)

Hoje não há como trabalhar sem o computador, que constitui uma ferramenta fantástica e trouxe grande avanço no desenvolvimento dos projetos. Entretanto, há um lado negativo: a pessoa inexperiente pode achar que o computador vai resolver todos os problemas, o que não é verdade. O calculista é que deve ter o senso crítico para analisar os resultados e ser o responsável pela resposta, e não a máquina. (Eng. Sérgio Otoch)



#### 7.4.7 Sensibilidade criativa do calculista e respeito a normas estabelecidas

As normas referentes ao concreto armado são prescrições que regulam os procedimentos de cálculo, execução e emprego de estruturas de concreto armado.

Em relação à obediência às normas estabelecidas, José Carlos Sussekind, colaborador estrutural do arquiteto Oscar Niemeyer, comenta a respeito do calculista Joaquim Cardozo:

*"A arquitetura brasileira não seria o que é se ele [Cardoso] não houvesse compreendido a importância da esbeltez das colunas de Brasília e acreditado mais em sua competência e sensibilidade do que na obediência cega aos limites restritivos das normas". (SUSSEKIND, 1977:54)*

Ainda a propósito da obediência às normas, assim pensa o professor Augusto VASCONCELOS (1992: 56):

*"A norma é uma faca de dois gumes. Se, por um lado, evita que aconteçam acidentes, impondo exigências a serem cumpridas ou impedindo que se cometam exageros, por outro lado cerceia a liberdade criativa e limita o progresso. As limitações impostas são às vezes consequência da falta de conhecimento mais profundo de algum problema. Certas limitações impostas visam justamente impedir a aplicação das prescrições estabelecidas em campos ainda não explorados".*

Com base no pensamento de SUSSEKIND e VASCONCELOS, procurou-se saber como ocorre, entre os engenheiros estruturais locais, a questão da obediência às normas técnicas.

Com efeito, os projetistas de estruturas, quando entrevistados a respeito do assunto, apesar de admitirem que às vezes podem contrariar um pouco as normas estabelecidas, em geral não o fazem, sobretudo por questões jurídicas. Afirmam que querem estar protegidos pela lei, no caso de eventuais problemas. Se decidirem se posicionar em contrário às normas, devem agir com muito critério e cautela, assumindo os riscos da própria decisão.

Muitas vezes se sabe, e a experiência até garante que se poderia fazer de forma diferente do que é preconizado pela norma, mas eu não faço e não aconselho ninguém a fazer, porque não devemos correr riscos. (Eng. Dácio Carvalho)

Conquanto acatem as normas vigentes, os calculistas estão sempre atentos às possibilidades de modificá-las. Neste caso, porém, propõem as alterações às entidades de controle, que podem aceitá-las ou não. Trata-se de conduta bastante comum nos Estados Unidos, segundo o engenheiro Marcelo Silveira.

Alguns procedimentos ainda não são previstos pelas normas brasileiras, como por exemplo, aquelas relativas ao concreto de alto desempenho e às estruturas pré-moldadas. Em casos como este, a fim de contornar algum eventual impasse, os engenheiros estruturais procuram seguir normas internacionais ou aceitam orientação de trabalhos acadêmicos.

Existe uma tendência para que se venham a adotar no Brasil as normas americanas e européias, as quais, principalmente em consequência da globalização da economia, procuraram uniformizar os padrões. Entretanto, os engenheiros alertam para o fato de que essas normas, oriundas de países mais desenvolvidos, nem sempre se adequam à nossa realidade, bastante diferente. Além do mais, devem ser levadas em conta as condições climáticas, geológicas e meteorológicas, que sempre interferem no comportamento, e, portanto, no cálculo das estruturas.

#### **7.4.8 As estruturas de concreto e a durabilidade da obra**

Vitrúvio, arquiteto romano do primeiro século da nossa era, entendia a arquitetura equacionada segundo o trinômio *firmitas*, *utilitas* e *venustas* (solidez, utilidade e beleza). A *firmitas* vitruviana, constitui, pois, aspecto de fundamental importância no processo construtivo e é responsável pela durabilidade da obra construída.

A durabilidade do concreto é definida como sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração.

A questão da durabilidade é, portanto, um aspecto que não deve ser desprezado, sobretudo em nossa região, pois, como se sabe, o nosso ambiente, bastante agressivo, provoca desgaste no concreto, quer na aparência quer prejudicando a própria eficiência da estrutura. Grande parte de obras construídas há poucos anos, já se apresentam bastante deterioradas, evidenciando necessidade de reparos.



Foto 7.66 - Prédio do Unibanco, Av. Santos Dumont



Foto 7.67 - Federação Cearense de Futebol, rua Paulino Nogueira



Foto 7.68 - Antigo prédio do BEC, Av. Pontes Vieira

*As fachadas executadas em concreto aparente logo sofrem desgaste*

Assim, existe hoje em Fortaleza, grande preocupação quanto à durabilidade das construções, o que vem implicando ultimamente um maior cuidado na execução das obras, exigindo maiores cobrimentos das peças, bem como o emprego de concretos mais resistentes nas estruturas.

Como tem sido comum, pela falta desses cuidados, as estruturas precisam receber revestimentos vários (cerâmica, granito, texturas, etc.), sejam aqueles já previstos nas novas obras, sejam aplicações corretivas que muitas vezes alteram a aparência do projeto arquitetônico original.



Foto 7.69 - Fachada principal

Hotel Esplanada, 1973

Proj. arq.: Paulo Casé



Foto 7.70 - Fachada posterior

*A fachada do hotel, concebida em concreto aparente, teve que ser revestida posteriormente com cerâmica, devido ao desgaste.*

A nova redação da norma NBI, que está sendo aprovada agora, traz como principal enfoque a questão da durabilidade das peças de concreto. As normas, aliás, têm se tornado cada vez mais exigentes quanto a verificações e controle, ou seja, há uma maior preocupação com a segurança das estruturas.

A nova norma exige que a estrutura só venha a apresentar sinais de deterioração a partir de 50 anos de uso. Isso vai exigir que os arquitetos repensem melhor os seus projetos, que os calculistas sejam mais cuidadosos em questões de rompimentos e deformações e uma maior conscientização por parte do construtor. As peças de concreto deverão ter um maior cobrimento, conseqüentemente um consumo maior de concreto, e certamente haverá um incremento do uso da protensão nas obras, afim de controlar o problema de deformações em grandes vãos. (Eng. Sérgio Otoch)

Isso tudo vai gerar um maior índice de consumo de concreto, ou seja, estruturas mais caras, e talvez peças mais robustas, mas o importante é que a estrutura seja eficiente ao longo de toda a vida dela. (Eng. Dácio Carvalho)

O fato tem causado alguma polêmica, já que, segundo as solicitações da nova norma, são conferidos acréscimos aos coeficientes de segurança, e, conseqüentemente, ocorre um maior consumo de concreto, o que pode ser considerado por alguns um certo retrocesso em matéria de obtenção de estruturas mais esbeltas. No entanto, todos os engenheiros entrevistados julgam ser de primordial importância a segurança da obra.

## O caso dos estádios de futebol

Embora tenham observado todas as normas então preconizadas, muitas obras, com idade entre 25 e 50 anos vêm sofrendo desgaste não previsto. A referência é feita em particular a grandes estádios brasileiros de futebol, alguns parcial outros temporariamente interditados

Todos vêm enfrentando certas mudanças de comportamento social dos freqüentadores, exigindo inovações nas normas, como já é o caso das cargas dinâmicas, que devem ser consideradas no cálculo estrutural:

Os grandes estádios brasileiros foram calculados nas décadas de 60 e 70, e então não se pensava nesse tipo de problema, as considerações de carga eram simplesmente de natureza estática. Atualmente, com as torcidas organizadas, já existem recomendações das normas sobre as vibrações produzidas, o que altera sensivelmente o cálculo. Dessa forma, a maioria dos nossos estádios apresentaram problemas e tiveram que sofrer reparos.  
(Eng. Ricardo Brígido)

Entre os hábitos de infração às normas de conduta social atualmente postos em prática nos estádios, deve ser citada a transformação dos pilares em mictórios públicos, o que também danifica a estrutura, particularmente nos apoios.

Para se firmar idéia desses problemas, basta citar as intervenções a que vêm sendo submetidos estádios como o Maracanã, o Morumbi, o Castelão, o do Grêmio, de Porto Alegre. Estádios menores, como o de Natal, já vêm se deparando com situação idêntica.

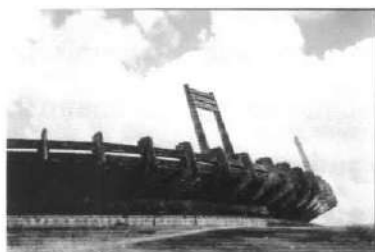


Foto 7.71 - Vista externa

Estádio Castelão



Foto 7.72 - Arquibancadas



Foto 7.73 - Arquibancadas

*O estádio vem sendo objeto de reforma, para recuperar a estrutura danificada.*

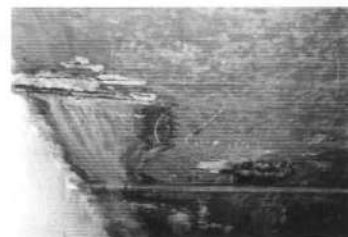


Foto 7.74 - Detalhe / laje de teto

### 7.4.9 Partido estrutural predominante na cidade de Fortaleza

Baseando-nos na observação de obras recentes, executadas em Fortaleza, e de outras, atualmente em andamento, foi possível verificar algumas técnicas que predominam como solução estrutural, sobretudo no que se refere a edifícios residenciais e comerciais.

Constata-se, segundo a opinião dos engenheiros entrevistados, que o concreto convencional (vigas, pilares e lajes) ainda é o mais adequado e o mais utilizado para vãos modestos. Entretanto, nas construções mais recentes, sobretudo desde a última década, outras técnicas têm sido bastante utilizadas, como se enumeram a seguir.



Foto 7.75 - Edifício de apartamentos com esquema estrutural convencional

### Laje nervurada

Atualmente, figura como prática disseminada nas construções de Fortaleza o partido estrutural de laje nervurada em duas direções, denominado *em grelha*, procedimento usado na maioria dos edifícios da cidade, sobretudo a partir da metade da década de 80, alcançando praticamente 95% das construções de maior porte, em andamento na cidade.



Foto 7.76 – Aspecto / laje nervurada

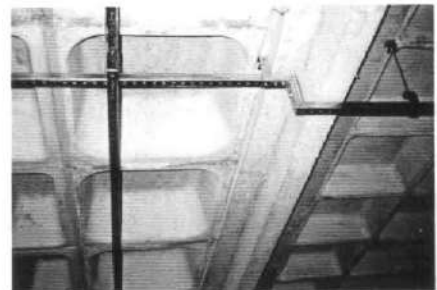


Foto 7.77 – Aspecto / laje nervurada

O primeiro a utilizar esta técnica em Fortaleza foi o edifício Juan Miró, na Av. Beira Mar, em 1982, cálculo do engenheiro Dácio Carvalho, que desde então passou a utilizá-la em larga escala em seus projetos estruturais.



Foto 7.78 - Edifício Juan Miró,  
av. Beira Mar

*Proj. arq.: Acácio Gil Borsoi*

*Proj. estrut.: Dácio Carvalho*

Os engenheiros justificam o emprego da laje nervurada, particularmente pela grande vantagem que ela apresenta: vencer vãos maiores com baixo consumo de concreto. A estrutura, realmente, é a mais adequada para vencer vãos até 7,5 m, sobretudo pela facilidade de execução e por ser mais econômica. Afora isso, possui maior rigidez e distribui melhor as cargas, além de facilitar a distribuição das tubulações das instalações. As únicas desvantagens apontadas recaem nos pés-direitos que resultam mais baixos e na necessidade, na maioria dos casos, de forros falsos para cobrir a grelha de concreto.

Vale salientar que a utilização da laje nervurada depende muito do cliente, que geralmente opta pela solução mais econômica, principalmente quando se trata de edifícios residenciais.

É aliás interessante observar que o início do emprego das lajes em grelha coincide com a disseminação do uso da informática nos cálculos estruturais. Provavelmente, pelo fato de o computador, ao proporcionar um número maior de possibilidades de partidos estruturais, facilita rapidamente avaliar qual a melhor solução a se adotar, contemplando muitas vezes o emprego das lajes nervuradas.



Técnica também bastante usual, para vencer vãos maiores, é a solução mista, ou seja, a laje nervurada com faixas formadas por vigas chatas protendidas.

Fato curioso observado, é que as lajes nervuradas aparecem como solução típica das construções cearenses, sendo pouco empregadas em outras cidades do Brasil.

No que se refere às fôrmas utilizadas para confecção dessa técnica, ocorreu um processo evolutivo. Inicialmente, usava-se o tijolo cerâmico, que ficava incorporado à laje. Embora fosse uma opção barata e dispensasse o uso do forro falso, aumentava o peso próprio da laje. O EPS (polietileno expandido), um tipo de isopor, foi também bastante utilizado, sobretudo por proporcionar maior isolamento acústico, embora seja mais caro. Também se empregaram caixotes de madeira, fôrmas de alumínio e de fibra de vidro, nenhuma delas obtendo total aprovação. Finalmente, foi adotado o emprego das fôrmas plásticas usadas atualmente em larga escala no Ceará e que mostra como grande vantagem a possibilidade de reutilizá-las até cem vezes.



Fig. 7.18 - Esquema formas plásticas / laje nervurada (Fonte - Impacto Protensão)

Um tipo de laje nervurada que antecedeu às lajes "em grelha" tão comuns atualmente, pode ser vista na solução adotada no estacionamento do Hipermercantil da Av. Barão de Studart (antigo supermercado Romcy Aldeota) (Foto 7.79). Trata-se de uma solução inovadora para a época (início dos anos 80), cujo cálculo foi elaborado pelo engenheiro carioca Benedito Veiros Ferreira. As nervuras são dispostas longitudinalmente, a cada 50 cm, e permitem vãos de 7,50 x 15,00, o que favorece o aproveitamento de vagas na garagem. Partido semelhante foi adotado pouco tempo depois, na agência do BEC da rua Barão do Rio Branco, solução sugerida pelo engenheiro Valdir Campelo, quando da

apresentação do projeto (de autoria do arquiteto Neudson Braga) no concurso, e adotada posteriormente pelo calculista Luciano Pamplona.



Foto 7.79 – Estacionamento Hipermercantil Aldeota

*Proj. arq.: Neudson Braga*

*Proj. estrut.: Benedito Veiros Ferreira*

Outro exemplo de nervuras também pode ser observado na laje do Instituto de Educação (foto 7.45), composta por uma grelha de 2,00m x 2,00m. Essas ambas soluções, segundo opiniões dos arquitetos, não tiveram uso disseminado principalmente por causa do alto preço das formas necessárias para sua execução. Utilizava-se geralmente a madeira, com grandes desperdícios. No caso do antigo Romcy Aldeota, a solução tornou-se mais viável economicamente porque foi usado o isopor, com possibilidade de reutilização, tanto na própria estrutura, formada por grandes vãos que se repetiam ao longo do pavimento, como no revestimento das câmaras frigoríficas do próprio supermercado, conforme depoimento do autor do projeto, arquiteto Neudson Braga. Somente com o advento das formas plásticas reutilizáveis, anos depois, é que a laje nervurada foi adotada como partido estrutural predominante nas edificações da cidade.

### **Concreto protendido com armadura não aderente**

Alguns escritórios de cálculo já vêm adotando, há cerca de quatro anos (desde julho de 1997), em edifícios de apartamentos e de escritórios, a técnica do concreto protendido através do sistema de cordoalha engraxada, isto é, a protensão não aderente, a qual, dependendo do caso, pode vir a ser mais econômica.

Segundo o engenheiro Marcelo Silveira, observa-se uma tendência no sentido de que, a médio e longo prazo, a laje maciça protendida venha a substituir a laje nervurada nos edifícios de Fortaleza, sobretudo pela facilidade e rapidez de execução.

Foi uma grande evolução, e considero uma técnica bastante adequada para edifícios. Posso dizer que atualmente usamos esse sistema em 50% dos projetos que fazemos. Dentre as inúmeras vantagens, diminuí o número de pilares, a espessura das lajes, a altura dos pavimentos, além de ser bem mais barato que o concreto protendido com aderência (Eng. Marcelo Silveira)

Diferentemente da protensão com aderência, que requer equipamentos pesados, uma das maiores vantagens da protensão com cordoalha engraxada recai na solicitação de equipamentos leves e portáteis, o que facilita bastante a execução. Além do mais, o sistema não aderente dispensa a bainha metálica e a injeção de cimento.



Foto 7.80 - Edifício com laje protendida maciça

*Edifício rua Silva Paulet  
proj. arq.: Metoniza Vieira  
proj. estrut.: Paulo Cunha*

Trata-se de tecnologia nova, mas que já vem sendo bastante usada, tanto aqui como no resto do país. De acordo com o engenheiro Ricardo Brígido, repetindo informação fornecida por engenheiro de produção da Belgo Mineira, a produção de cordoalhas engraxadas tem crescido em proporção geométrica nos últimos anos.

**Ed. Ancoradouro, Fortaleza, 1998**

*Proj. arq.: Nasser Hissa Arquitetos Associados*

*Proj. estrut.: Marcelo Silveira e Denise Silveira*

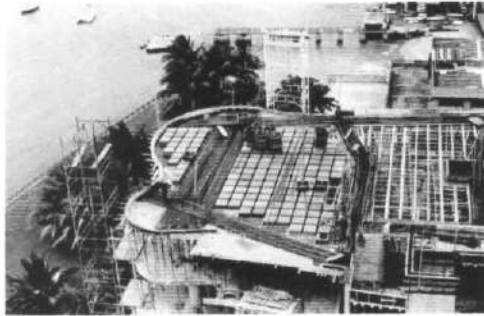


Fig. 7.19 – Protensão / laje  
(Fonte - Revista Techne)



Fig. 7.20 - Vista  
(Fonte - Revista Techne)

**Torre Santos Dumont, av. Santos Dumont, 1997**

*Proj. arq: Jaime Leitão*

*Proj. estrutural: Helder Martins*



Fig. 7.21 - Estrutura (Fonte - Revista Techne)

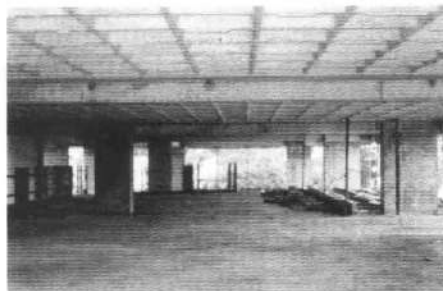


Fig. 7.22 - Vista interna (Fonte - Revista Techne)



Foto 7.81 - Fachada

*O edifício foi um dos primeiros, em Fortaleza, a utilizar o sistema de protensão com cordoalha engraxada, em julho de 1997*



Fig. 7.23 - Ed. Palladium / Fortaleza - (Fonte - Revista Techne)

*Proj. arq.: Nasser Hissa Arquitetos*

*Proj. estrut.: Marcelo Silveira e Denise Silveira*

*A opção da laje protendida permitiu a liberação de vãos de 8,5 m e balanços com 4,00 m nas varandas, propiciando também plantas diferenciadas*



Foto 7.82 - Centro Empresarial Etevaldo Nogueira, 2001 - av. D. Luís

*Proj. arq.: Luiz Fiuza Arquitetos*

*Proj. estrut.: J. R. Medeiros*

*Edifício de escritórios em construção, utilizando o sistema de cordoalhas engraxadas*

O engenheiro Joaquim Caracas, um dos responsáveis pela introdução do sistema no Ceará, afirma:

Houve uma evolução muito grande dessa técnica, se considerarmos que começamos a utilizá-la aqui há apenas pouco mais de 3 anos, e hoje já ultrapassamos a marca de 3000 t de cordoalhas, usadas em diversas obras espalhadas pelo país. E atualmente, quando se fala em concreto protendido com cordoalha engraxada no Brasil, a referência é o Ceará, tanto pelo nível tecnológico como pelo volume de obras que já executamos.

Ed. Manhattan, av. Santos Dumont, 2001

Proj. arq.: Luiz Fiuza Arquitetos  
Proj. estrut.: Sérgio Otoch

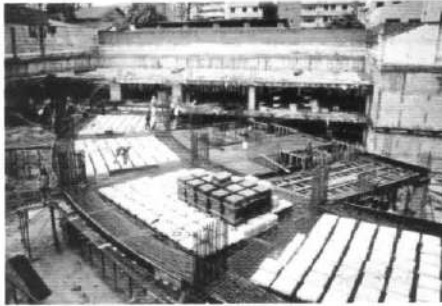


Foto 7.83 - Execução da protensão



Foto 7.84 - Estrutura

*O edifício em curva utilizou cabos de protensão engraxados*

Alguns engenheiros ainda vêm com certa cautela o uso indiscriminado dessa técnica, tida como novidade, nos edifícios da cidade, sobretudo porque toda a segurança da peça depende das ancoragens, já que os cabos não aderem ao concreto. Portanto, é preciso haver um rigoroso controle de qualidade na confecção e manutenção das peças.

Um dos motivos dessa resistência em se usar a protensão não aderente é que a norma brasileira é de certa forma conservadora em relação a essa nova tecnologia e cria uma série de restrições para o seu uso. Além do que, é uma técnica que exige uma qualidade de execução muito rigorosa, já que, não existindo aderência entre a massa de concreto e as cordoalhas, toda a segurança da estrutura está nas extremidades, ou seja, nas ancoragens, e se houver falhas, a peça cai, o que não ocorre com o concreto aderente.

Para se executar o concreto protendido com cordoalha engraxada, de acordo com o que preconiza a norma brasileira, praticamente fica inviável. Os engenheiros geralmente se baseiam na norma americana (ACI - American Concrete Institute) que é muito bem fundamentada em relação à protensão não aderente. (Eng. Sérgio Otoch)

O emprego das lajes planas, protendidas, às vezes também não constitui a solução mais adequada, especialmente quando se trata de edifícios mais esbeltos, e sujeitos a esforços horizontais, como a ação dos ventos.

Assim sendo, é preciso analisar com cuidado ao se optar por esta ou aquela técnica, assegurando-se qual a solução mais indicada para as diversas situações apresentadas. Alguns edifícios têm empregado as duas soluções conjuntamente, ou seja, laje nervurada de concreto armado nos pavimentos-tipo, e laje protendida com cordoalha engraxada em subsolos, principalmente quando existe mais de um subsolo.

Devido à diversidade de opções existentes, todas apresentando vantagens e desvantagens, o arquiteto e o engenheiro precisam ter o necessário conhecimento para poder optar pela solução mais adequada, pois a escolha altera radicalmente o processo de cálculo e o processo construtivo, afetando também a concepção arquitetônica. Cada lançamento de estrutura deve ter a sua justificativa, conforme as condições e a finalidade da obra.



Foto 7.85 - Hotel Caesar Park, av. Beira Mar, 1992

*proj. arq.: Nasser Hissa Arquitetos Associados*

*proj. estrut.: Gerardo Santos Filho*

*Estrutura executada com concreto convencional, com grandes vigas de transição*

**Mercado Central, Fortaleza, 1998**



Foto 7.86 - Vista externa  
(fonte: construtora Marquise)



Foto 7.87 - Vista interna

*Proj. arq: Luiz Fiuza Arquitetos*

*Proj. estrut.: Gerardo Santos Filho*

*Estrutura mista com grande esforço de torção. A estrutura de concreto deve funcionar com precisão para se adaptar à estrutura metálica, já que possuem deformações diferentes.*



Igreja N.Sra. da Glória, av. Oliveira Paiva, 2001

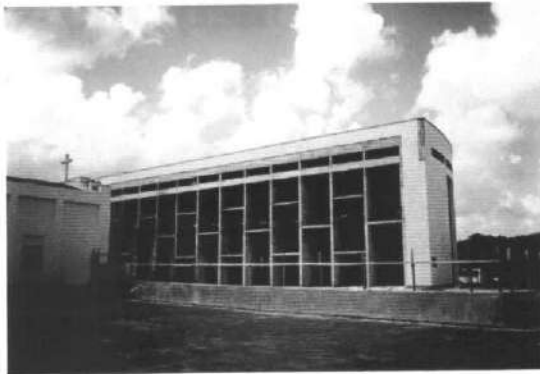


Foto 7.88 - Fachada



Foto 7.89 - Interior

*Proj. arq: Roberto Castelo*

*Proj. estrut.: Francisco de Assis Farias*

*Proj. estrut. metálica.: Raimundo Calixto Melo Neto*

*A estrutura funciona também como elemento de composição plástica da edificação*



Foto 7.90 - Ed. Ocean Palace, av. Beira Mar, 1999



Foto 7.91 - Ed. Veleiro, av. Beira Mar, 2000



Foto 7.92 - Harmony Center, av. D. Luís, 2001

*Proj. arq: Luiz Fiuza Arquitetos*

*Proj. estrut.: Dácio Carvalho*

*Proj. arq: Neudson Braga e Nasser Hissa Arquitetos Associados*

*Proj. estrut.: Marcelo Silveira e Denise Silveira*

## Conclusão

*Muitos livros foram escritos e têm servido para demonstrar:*

- *aos arquitetos, que a estrutura está mais próxima da arquitetura do que eles imaginam;*
- *aos engenheiros, que as estruturas não se resumem a cálculos numéricos. (REBELLO, 2000:264)*

**E**sta dissertação foi preparada na perspectiva única de verificar as possibilidades que o concreto armado oferece, como material de construção, para atendimento à criatividade do arquiteto. De forma alguma houve preocupação com dados concernentes à estática, ao dimensionamento das peças e à execução estrutural.

Assim sendo, a pesquisa constituiu uma apreciação sobre as estruturas, todavia pouco voltada para aspectos matemáticos ou quantitativos dos sistemas estruturais. Na verdade, privilegia comportamentos e relações do concreto armado com a concepção arquitetônica.

O objetivo deste estudo, foi portanto, oferecer uma visão geral e atualizada das técnicas utilizadas nas obras de arquitetura construídas com concreto armado, analisando-lhes as realizações nacionais e internacionais mais significativas. Em seguida, na busca de atingir seu objetivo específico, o trabalho considera as aplicações do concreto armado em Fortaleza.

O resultado final das pesquisas ressaltou os seguintes pontos seguidamente revistos e ora expostos sucintamente:

- a relação entre concepção estrutural e arquitetura;
- o concreto armado como estrutura e suas correlações com a arquitetura;
- o emprego do concreto armado em Fortaleza.

Desde o início, almejou-se ressaltar a estreita relação entre arquitetura e concepção estrutural, pondo em evidência a importância da estrutura na obra arquitetônica, bem como, vice-versa, pode a arquitetura proporcionar avanços nas técnicas estruturais e construtivas. Trata-se de preocupação integrante da obra de Niemeyer, para quem *"arquitetura e estrutura se completam, nascem juntas no traço arquitetural. Daí o estreito relacionamento entre engenharia e arquitetura, no desenvolvimento da arquitetura moderna"*. (PEREIRA, 1997:71)

O desenvolvimento técnico alcançado pela engenharia estrutural proporcionou, por outro lado, certos refinamentos técnicos e formais na arquitetura, possibilitando a abertura de mais um canal de comunicação entre engenheiros e arquitetos.

Em termos de inter-relação entre arquitetura e estrutura, ocorreram mudanças que redundaram em grande avanço nos projetos. A concepção de projetos mais sofisticados, os edifícios especializados, a utilização de novos materiais, as instalações prediais mais complexas e o cálculo mais sofisticado tornaram necessárias maior integração e maior compatibilização entre os diversos projetos exigidos pela execução de uma obra, muitas vezes feitos de forma simultânea, com o auxílio do computador.

Fica, portanto, bastante claro, que o bom resultado de uma obra procede do trabalho de harmonização do trio estrutura-arquitetura-instalações, condição essencial para o sucesso da construção. Enfim, considera-se essencial para a qualidade da obra construída, que se estabeleça, quando da concepção dos edifícios, e de maneira indissociável, o diálogo entre forma arquitetônica e estrutura.

A pesquisa confirmou o predomínio do concreto armado como recurso estrutural nas construções brasileiras. Estruturas metálicas têm uso restrito, sendo comuns apenas em *shoppings*, supermercados, concessionárias de veículos ou em uma ou outra edificação térrea que pede cobertas leves. Formam minoria. O advento do concreto protendido e do concreto de alto desempenho veio afirmar a supremacia do material no campo das grandes estruturas.

Por outro lado, de modo oposto, nota-se que as técnicas do concreto armado se tornaram de tal forma populares, que seu uso, dada a facilidade artesanal de execução, se disseminou mesmo nas construções mais simples da periferia das cidades, embora empregadas em estruturas singelas (vigas e pilares, com lajes pré-moldadas).

As técnicas modernas, relacionadas ao emprego do concreto armado, cada vez mais proporcionam material de melhor qualidade. As conquistas tecnológicas se vêm refletindo no espaço arquitetônico, conforme o comprovam novos projetos que utilizam esses recursos: vãos mais generosos, grandes balanços, novas formas, pilares com seções mais reduzidas, menor interferência de vigas, etc.

O rápido aperfeiçoamento das técnicas construtivas, baseadas no uso de novos materiais, assim como o surgimento de novas formas arquitetônicas, derivadas das mudanças sócio-econômicas, dos conceitos estéticos recentes e do progresso da ciência, tornam-se desafios para o arquiteto, que deve estar familiarizado com o desenvolvimento de estruturas em condições de se adaptarem às novas necessidades de homem.

As novas possibilidades tecnológicas relativas ao uso do concreto armado não devem ser empregadas como meras "novidades", sem acrescentar quaisquer benefício para a obra construída. O arquiteto e o engenheiro devem ter conhecimento dos recursos advindos das novas técnicas, mas impõe-se usá-los racionalmente, como modo de proporcionar ambientes dignos para a utilização do homem.

Em relação ao emprego do concreto armado em Fortaleza, a pesquisa confirmou que, tal como no resto do Brasil, a técnica do concreto armado ainda responde pela maioria das estruturas empregadas nas edificações.

Integrantes que são, de um sistema de abrangência nacional, as construções no Ceará adotaram o concreto como material estrutural por excelência. Adquiriram, no entanto, características peculiares, tais como:

- o uso intensivo da laje nervurada (em grelha) como partido estrutural, predominante em grande maioria nas construções;

- a utilização de formas plásticas, próprias dessa técnica, recurso praticamente restrito ao Ceará;
- o emprego cada vez maior da técnica da protensão com cordoalha engraxada, sistema usado em Fortaleza de forma pioneira em relação às demais cidades brasileiras;
- o desenvolvimento de estruturas pré-moldadas industrialmente, utilizadas sobretudo em supermercados, garagens, galpões industriais, etc., para tanto contando o Estado com indústrias de alto nível tecnológico;
- controle tecnológico do concreto exercido na maioria das obras de porte, procedimento solicitado principalmente pelos engenheiros estruturais, devido ao crescente emprego de concretos com maior resistência, e do qual resulta um material de melhor qualidade;
- projetos mais ousados de arquitetura, que solicitam soluções estruturais mais elaboradas;
- grande entrosamento entre projetistas de arquitetura e estrutura, o que tem resultado em projetos com maior apuro e, conseqüentemente, em obras com maior qualidade.

O Ceará, apesar de contar com mão de obra pouco evoluída em muitos setores, surge como um dos centros mais avançados no que se refere a estruturas de concreto, em relação a outros estados do Brasil. Encontra-se mesmo na vanguarda sob alguns aspectos, como na técnica da protensão com cordoalha engraxada.

Torna-se relevante, por fim, lembrar que o trabalho antes de tudo procurou analisar os modos de emprego do concreto armado no momento atual. Por se tratar de tema bastante amplo, não esgotou o assunto, que continuará objeto de estudo, considerando-se o ritmo de desenvolvimento de novas técnicas aplicadas ao material.

## Bibliografia

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NRB 6023 - Informação e documentação - Referências - Elaboração. 2000
- ABPT - Associação Brasileira da Pós-Tensão. *Informações simplificadas sobre aplicações em concreto protendido*. São Paulo. (s.d.)
- ACHE, J. 'Les débuts du ciment armé'. *Techniques & Architecture*, 4: p. 49, 1956.
- AITCIN, P. C. 'Concreto de elevado desempenho' *Techne*, 19: p. 29-33, 1995.
- ALMEIDA, Rubens. 'Arquitetura do concreto protendido: estética e resistência' *AU*, 47: p. 99-102, 1993.
- ARRAMBIDE, J.; DURIER, M. 'Propriétés et comportement du béton armé'. *Techniques & Architecture*, 2: p. 48-57, 1956.
- ALBUQUERQUE, Augusto. *Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado*. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Carlos, São Paulo, 1998.
- ANDRADE, Margarida J. F.S. *A verticalização e a origem do movimento moderno em Fortaleza*. Comunicação apresentada no III Seminário DO.CO.MO. do Brasil, 1999
- BENÉVOLO, Leonardo. *História da Arquitetura Moderna*. São Paulo: Perspectiva, 1989.
- BINA, Paulo. 'Concretos de pós-reativos: uma revolução no conceito do concreto'. *Techne* 38, p.50 - 51, 1989.
- BRUAND, Yves. *Arquitetura Contemporânea no Brasil*. São Paulo: Perspectiva, 1981.
- CARDOZO, Joaquim. 'Dois episódios da história da arquitetura moderna brasileira'. *Módulo* p. 32-35, 1956.

- CARVALHO, Dácio. *Notas de aula da disciplina Sistemas Estruturais, do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFC.* (s.d.)
- CASTRO, José Liberal de. 'O centenário de Emílio Baumgart', *Revista do Instituto do Ceará*, v. 104, Fortaleza, 1989.
- \_\_\_\_\_. 'Arquitetura eclética no Ceará', in FABRIS, Annateresa (org.). *Eclétismo na Arquitetura Brasileira.* São Paulo: Nobel/EDUSP, 1987.
- \_\_\_\_\_. 'Sylvio Jaguaribe Ekman e a arquitetura da sede do Ideal clube', *Revista do Instituto do Ceará*, Fortaleza, 1998.
- \_\_\_\_\_. 'Ceará, suas arquiteturas e seus arquitetos', in *Cadernos Brasileiros de Arquitetura - Panorama da Arquitetura Cearense.* São Paulo: Projeto, 1982.
- CHING, Francis D. K. *Dicionário Visual de Arquitetura.* São Paulo: Martins Fontes, 1999.
- COLLEPARDI, M. 'Concreto - A durabilidade em questão' *Techne* 38, p.52 - 57, 1999.
- Concretópolis. *Galpões pré-moldados.* Fortaleza: Concretópolis, (s.d.).
- CONRAD, Roland. *Frei Otto: Estructuras.* Barcelona: Gustavo Gili., 1973.
- CORONA, Eduardo; LEMOS, Carlos. *Dicionário de Arquitetura Lemos & Corona.* São Paulo: Edart, 1972.
- CURTIS, William J. R. *Modern Architecture since 1900.* 3 ed. New Jersey, Prentice Hall, 1999.
- DUMET, Tatiana; PINHEIRO, Libânio. *A Evolução do concreto: uma viagem no tempo.* Anais 42º Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza, 2000.
- EGGERS, Marcos; OLIVEIRA, P. S. 'Novas técnicas eletroquímicas de recuperação do concreto' *Techne*, 30, p. 41-45, 1997.
- FormPlast. *Formas plásticas reutilizáveis para lajes nervuradas.* Fortaleza: FormPlast, Indústria e Comércio de Plásticos, (s.d.).
- FRANÇA, Júnia Lessa. *Manual para Normalização de Publicações Técnico-Científicas.* Belo Horizonte, UFMG, 1998.
- GIAMMUSO, Salvador E. *Manual do Concreto.* São Paulo: Pini, 1992.



- GIEDION, Sigfried. *Space, Time and Architecture* - Harvard University Press, 3<sup>rd</sup> ed., 1954.
- GOMES, Paulo Cesar; LIMA, Flávio. *O Papel do concreto de alto desempenho na durabilidade das estruturas*. Anais 42<sup>o</sup> Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza, 2000.
- HELENE, Paulo R.L. *Manual de Dosagem e Controle de Concreto*. São Paulo: Pini, 1993.-
- KISS, Paulo. 'Os leves puxam o mercado' *Techne* 41, p. 52-56, 1999.
- LANA, Maria da Penha; ANDERY, Paulo Roberto; VASCONCELOS, Wander. *Projeto Estrutural: Um novo paradigma visando a durabilidade das estruturas de concreto*. Anais 42<sup>o</sup> Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza, 2000.
- LATORRACA, Giancarlo (org.). *João Filgueiras Lima - Lelé*, São Paulo: Instituto Lina Bo e P.M. Bardi, 2000.
- LOSSIER, Henry. 'L'Architecture et le béton armé'. *Techniques et Architecture*, 4, p. 91-93, 1956.
- MAYER, Marcel. 'Auguste Perret - L'homme et sa vie', *Techniques et Architecture* 1-2, p. 57 - 107, 1949.
- MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO P.J.M. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. São Paulo: Pini, 1994.
- MINDLIN, Henrique E. *Arquitetura Moderna no Brasil*. São Paulo: IPHAN, 2000.
- MOTA, Joaquim E. Notas de aula da disciplina Concreto Protendido do curso de Arquitetura da UFC, 1998.
- NEVILLE, Adam. *Propriedades do Concreto*. São Paulo: Pini, 1999.
- NERVI, Pier Luigi. *Buildings, Projects, Structures 1953-1963*. New York: Frederick A. Praeger, 1963.
- NIEMEYER, Oscar. *As Curvas do Tempo - Memórias*. Rio de Janeiro: Revan, 1998.
- \_\_\_\_\_. 'O velho amigo Cardozo' - *Módulo 52*, p.24, 1978.
- \_\_\_\_\_. 'Arquitetura e técnica estrutural' - *Módulo 52*, p.34, 1978.

- NÓBREGA, Petrus; NÓBREGA, Selma. *Ações decisórias na engenharia estrutural com enfoque na visão e nas necessidades do arquiteto*. Anais, 42º Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza, 2000.
- PAMPLONA, Hilda de Castro. *A importância do uso do concreto de alto desempenho nas obras civis da via costeira do Estado do Ceará*, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- PEREIRA; Miguel Alves. *Arquitetura, Texto e Contexto*. Brasília: UNB, 1997.
- PERRET, Auguste. 'Contribution a une théorie de l'architecture'. *Techniques et Architecture* 1-2, p. 109, 1949.
- PETRIGNANI, Achille. *Tecnologia de la Arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili, 1970.
- PEVSNER, Nikolaus. *História de las Tipologias Arquitectonicas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1984.
- PFEIL, Walter. *Concreto Protendido*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980.
- PICA, Alnoldomenico. *Pier Luigi Nervi*. Barcelona: Gustavo Gili, 1970.
- REBELLO, Yopanan C. P. *A Concepção Estrutural e a Arquitetura*. São Paulo: Zigurate, 2000.
- RIPPER, Thomaz. *Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto*. São Paulo: Pini, 1999.
- REIS FILHO, Nestor Goulart. *São Paulo e Outras Cidades*. São Paulo: Hucitec, 1994.
- ROCHA, Aderson Moreira da. *Curso Prático de Concreto Armado*. Rio de Janeiro: Científica, 1979.
- ROCHA, Silvério. 'Desempenho medido na prática', *Techne* 29, p.14 - 16, 1997.
- ROSENTHAL, H. Werner. *La Structura*. Barcelona: Blume, 1975.
- SALVADORI, Mario. *Structures in Architecture*. Prentice Hall, New Jersey, 1968.
- SANTANA, Geraldo. 'Joaquim Cardozo, o engenheiro da poesia'. *AU* 79, p.79, 1998.
- SANTIN, Eder. 'Tranferência de tecnologia'. *Techne* 39, p. 14-17, 1999.
- SANTOS, Paulo Ferreira. *Quatro Séculos de Arquitetura*. Rio de Janeiro: Instituto dos Arquitetos do Brasil, 1981.

- SEGAWA, Hugo. 'Tecnologia com sentido social', *Projeto* 187, p. 60, 1995.
- SIEGEL, Curt. *Structure and Form in Modern Architecture*. New York: Robert E. Krieger Publish Company, 1975.
- SILVA, Daíçon Maciel da. *Estruturas - Uma Abordagem Arquitetônica*. Porto Alegre: Ritter dos Reis, 1997.
- SUSSEKIND, José Carlos . 'A evolução conjunta da arquitetura e da engenharia', *Módulo* 44, p. 48 - 53, 1977.
- TACLA, Zake. *O Livro da Arte de Construir*. São Paulo: Unipress, 1984.
- TELLES, Pedro Carlos da Silva. *História da Engenharia no Brasil*, Livros Técnicos e Científicos Editora, São Paulo, 1984.
- TORROJA, E. *Razón y Ser de los Tipos Structurales*. Madrid: Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, 1960.
- TREZZINI, H. 'Conception et formes des ouvrages en béton armé', *Techniques & Architecture*, 2, p. 73 - 75, 1956.
- VASCONCELOS, Augusto Carlos de. *O Concreto no Brasil - Recordes, Realizações, História* - Vol 1, 2.ed., São Paulo: Pini, 1992.
- \_\_\_\_\_. *O Concreto no Brasil - Professores - Cientistas - Técnicos* - Vol 2, São Paulo: Pini, 1992.
- \_\_\_\_\_. *Estruturas da Natureza*, São Paulo: Studio Nobel, 1996.
- \_\_\_\_\_. *Concreto Armado com Fibras* – Palestra proferida no Instituto de Engenharia. São Paulo, 1998
- VITRUVIO, Marco Póllio. *Los Diez Libros de Arquitectura*, Barcelona: Imprensa Juvenil S.A, 1985.
- ZEVI, Bruno. *Architettura in Nuce*. Madrid: Aguilar, 1949.

## Anexo

### Roteiro de perguntas aplicadas nas entrevistas com os engenheiros estruturais

1. Qual a sua opinião sobre a técnica do concreto armado em seu atual estado de desenvolvimento? Como vê os processos de evolução do uso do concreto e quais as eventuais previsões de "progresso"? Neste caso, o que lhe pareceria mais desejável?
2. Dentre as técnicas mais recentes (concreto protendido, pré-fabricação, concreto de alta resistência, de alto desempenho, etc) qual é aquela que lhe parece deverá influenciar o futuro do uso do concreto armado, tanto do ponto de vista da economia, da facilidade de execução, como sob o ponto de vista da expressão arquitetônica?
3. Conquanto se afirme não haver restrições para a criatividade, quais são, no seu entender, os fatores que podem e/ou devem limitar os arquitetos na escolha das formas?
4. Como concebe a relação (mútua colaboração) entre engenheiros estruturais e arquitetos? Quais os métodos de trabalho que emprega na interação entre cálculo estrutural e projeto arquitetônico?
5. Como o uso do computador alterou o método de trabalho e os resultados das soluções estruturais?
6. Já houve ocasião em que a intuição de calculista prevaleceu sobre as normas pré-estabelecidas na concepção (ou definição) de uma solução estrutural para um determinado problema?
7. Como considera sua evolução profissional, e que obras suas poderia citar como mais significativas, em diferentes períodos? Atualmente, que tipos de partido estrutural predomina na cidade de Fortaleza?