



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**CENTRO TECNOLÓGICO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**O CONHECIMENTO QUALITATIVO DAS ESTRUTURAS DAS  
EDIFICAÇÕES NA FORMAÇÃO DO ARQUITETO E DO  
ENGENHEIRO**

**TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM ENGENHARIA**

**JOÃO EDUARDO DI PIETRO**

**FLORIANÓPOLIS – SANTA CATARINA  
BRASIL**

**AGOSTO DE 2000**

**O CONHECIMENTO QUALITATIVO DAS ESTRUTURAS DAS  
EDIFICAÇÕES NA FORMAÇÃO DO ARQUITETO E DO ENGENHEIRO**

**JOÃO EDUARDO DI PIETRO**

**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM ENGENHARIA**

**APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**Prof. Ricardo Miranda Barcia, PhD**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Roberto de Oliveira, PhD**  
Presidente

**Profa. Carolina Palermo Szücs, Dra.**  
Membro

**Prof. Ivo José Padaratz, PhD**  
Membro

**Profa. Silvia Regina Morel Corrêa, Dra.**  
Membro

**Prof. Hugo Camilo Lucini, Dr.**  
Membro

**Este trabalho é dedicado à minha mulher Silene Di Pietro, a maior incentivadora que já tive e, principalmente, pelo carinho e paciência demonstrados ao longo desses anos, refletindo todo o seu amor.**

## AGRADECIMENTOS

**“O que a gentileza livremente oferece,  
agradecimentos não podem pagar”.**

**John Masfield**

- ✧ Ao professor Roberto de Oliveira, orientador dedicado e competente, por sua valiosa colaboração e oportunas sugestões para a melhoria deste trabalho;
- ✧ À memória de meu pai, Daniel Cândido Di Pietro, que foi o maior entre os maiores amigos que já tive;
- ✧ Aos meus filhos e netos Daniel, João Eduardo, Giuliano, Alessandra, Patrícia, Marcela, Denise, Bernardo e Rafaela, meus maiores torcedores, pelo amor, carinho e incentivo demonstrados durante esses anos;
- ✧ Ao professor João Carlos Souza por sua contribuição e, principalmente, por contar com sua amizade;
- ✧ À prof<sup>ª</sup>. Carolina Palermo Szücs por suas valiosas e oportunas sugestões, contribuindo para a melhoria desta tese;
- ✧ Ao prof. Ivo José Padaratz por sua capacidade de análise dos problemas estruturais;
- ✧ À prof<sup>ª</sup>. Silvia Regina Morel Corrêa e ao Prof. Hugo Camilo Lucini, membros da banca examinadora, meus sinceros agradecimentos pela análise e sugestões;
- ✧ Ao técnico em informática Élcio Pedro da Silva, funcionário do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC, pela qualidade dos desenhos apresentados;
- ✧ A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito deste trabalho.



## Sumário

<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>XII</b>
<b>Lista de Gráficos.....</b>	<b>XIX</b>
<b>Lista de Tabelas.....</b>	<b>XIX</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>XX</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>XXI</b>
<b>1. Introdução</b>	
1. 1. Considerações Iniciais.....	01
1. 2. Justificativa e Relevância.....	05
1. 3. Objetivos.....	06
1. 3. 1. Gerais.....	06
1. 3. 2. Objetivos Específicos.....	06
1. 4. Metodologia.....	07
1. 4. 1. Ensino e Aprendizado na Arquitetura e Engenharia.....	07
1. 4. 2. Proposta Metodológica.....	08
1. 4. 3. Implementação da Metodologia Proposta.....	09
1. 5. Estrutura do Trabalho.....	09
<b>2. Revisão Bibliográfica</b>	
2. 1. Instrucionismo e Construcionismo.....	11
2. 2. Estrutura Escolar.....	12
2. 3. A Arquitetura Moderna e a Estrutura.....	14
2. 4. Centros de Ensino e Escolas de Arquitetura.....	15
2. 4. 1. Histórico.....	15
2. 4. 2. Situação Atual.....	18
2. 5. O Arquiteto e o Engenheiro Contemporâneos.....	19
2. 5. 1. Atribuições Profissionais.....	19
2. 5. 2. O Arquiteto e as Estruturas.....	20
2. 5. 3. Conhecimento, Formação Profissional e Integração Multifuncional.....	21
2. 5. 4. Conhecimento Estrutural.....	21

2. 5. 4. 1. Evolução das Edificações.....	23
2. 5. 4. 2. Da Régua de Cálculo ao Computador.....	25
<b>3. Estrutura das Edificações</b>	
3. 1. A Educação Arquitetônica.....	26
3. 2. A Estrutura e a Edificação.....	27
3. 3. A Estrutura e seu Contexto.....	29
3. 4. A Estrutura: Uma Necessidade Arquitetônica.....	30
3. 5. Conhecendo as Estruturas.....	31
<b>4. Estruturas Naturais</b>	
4. 1. Estruturas Vegetais.....	34
4.2. Estruturas Animais.....	35
<b>5. Cargas nas Estruturas</b>	
5. 1. Cargas Estáticas.....	42
5. 1. 1. Cargas Permanentes.....	42
5. 1. 2. Cargas Acidentais.....	43
5.2. Cargas Dinâmicas.....	43
5. 2. 1. Impacto.....	43
5. 2. 2. Ressonância.....	45
5. 2. 3. Recalques.....	46
5. 2. 4. Efeito Escala.....	47
5.3. Cargas Térmicas.....	50
<b>6. Materiais Estruturais</b>	
6. 1. Propriedades Essenciais.....	52
6. 1. 1. Elasticidade.....	52
6. 1.2. Plasticidade.....	53
6. 2. Constantes dos Materiais.....	53
6. 3. Energia de Deformação Elástica.....	55
6. 4. Coeficiente de Segurança.....	56
6. 5. Resistência às Cargas.....	57
6. 6. Fenômeno da Fluência.....	58

6.7. Frequência de Aplicação da Carga.....	59
6.8. Concentração de Esforços.....	59
<b>7. Requisitos Estruturais</b>	
7.1. Equilíbrio.....	61
7.2. Estabilidade.....	64
7.3. Resistência.....	66
7.4. Funcionalidade.....	66
7.5. Estética.....	67
7.6. Economia.....	67
7.7. Estruturas Ótimas.....	68
<b>8. Estados Básicos de Tensão</b>	
8.1. Solicitações Simples.....	70
8.1.1. Tração Simples.....	70
8.1.2. Compressão Simples.....	72
8.1.3. Cisalhamento Simples.....	72
8.2. Solicitações Combinadas.....	73
8.2.1. Flexão.....	73
8.2.2. Torção.....	74
8.2.3. Torção e Flexão Combinadas.....	75
<b>9. Cabos e Treliças</b>	
9.1. Cabos.....	77
9.2. Treliças.....	80
9.2.1 Treliças Planas.....	81
9.2.1.1. Tesoura de Duas Águas.....	81
9.2.1.2. Tesoura com Lanternim.....	81
9.2.1.3. Tesoura de Mansarda.....	82
9.2.1.4. Tesoura de Alpendre.....	82
9.2.1.5. Tesoura Tipo Shed.....	83
9.2.1.6. Treliças Horizontais.....	83
9.2.1.7. Treliças em Arco.....	85
9.2.2. Treliças Espaciais.....	85
<b>10. Vigas</b>	

10. 1. Sistema: Viga, Pilares e Lajes.....	88
10. 2. Ligações Estruturais.....	88
10.3. Vinculação.....	89
10. 3. 1. Vínculo de Primeira Ordem ou Apoio Simples.....	90
10. 3. 2. Vínculo de Segunda Ordem ou Articulação.....	90
10. 3. 3. Vínculo de Terceira Ordem ou Engaste.....	91
10. 4. Vinculação das Estruturas.....	91
10. 5. Funcionamento das Vigas.....	91
10. 6. Viga em Balanço.....	94
10. 7. Viga Simplesmente Apoiada.....	97
10. 8. Viga Bi-engastada.....	99
10.9. Viga Contínua.....	100
10. 10. Vigas Especiais.....	101
10. 10. 1. Viga de Seção “T”.....	102
10. 10. 2. Viga Gerber.....	102
10. 10. 3. Viga com Mísulas.....	102
10. 11. Pré-dimensionamento das Vigas.....	103
<b>11. Pilares</b>	
11. 1. Tipos e Modelos.....	105
11.2. Funcionamento.....	105
11. 2. 1. Compressão Simples.....	105
11. 2. 2. Flexo-compressão.....	106
11. 2. 3. Flexão Oblíqua.....	107
11.3. Flambagem.....	107
11. 4. Pré-dimensionamento dos Pilares.....	107
<b>12. Lajes</b>	
12.1. Função.....	111
12. 2. Forma.....	111
12.3. Classificação.....	111
12. 3. 1. Lajes Moldadas no Local da Obra.....	111
12. 3. 1. 1. Laje Maciça.....	111
12. 3. 1. 2. Laje Mista.....	112

12.3.1.3. Laje Nervurada.....	112
12.3.1.4. Grelha.....	113
12.3.1.5. Laje Cogumelo.....	114
12.3.1.6. Laje Plissada.....	115
12.3.1.7. Laje Dupla.....	116
12.3.2. Lajes Pré-fabricadas.....	116
12.3.2.1. Laje em Placas (alveolar).....	118
12.3.2.2. Com vigas “T”.....	119
12.3.2.3. Com Vigotas de Concreto Armado.....	119
12.3.2.4. Com Vigotas de Concreto Protendido.....	120
12.3.2.5. Com Vigotas com Armadura em Treliça.....	120
12.4. Circulação Vertical.....	121
12.4.1. Escadas.....	121
12.4.2. Rampas.....	122
<b>13. Pórticos e Arcos</b>	
13.1. Pórticos Simples.....	123
13.2. Pórticos Múltiplos.....	126
13.3. Pórtico de Duas Águas.....	127
13.4. Arcos.....	129
<b>14. Membranas</b>	
14.1. Recipientes Esféricos.....	132
14.2. Recipientes Cilíndricos.....	133
14.3. Materiais Flexíveis.....	135
14.4. Tensão Superficial.....	135
14.5. Comportamento das Membranas.....	136
14.6. Emprego das Membranas.....	139
14.7. Estruturas Pneumáticas.....	140
<b>15. Cascas</b>	
15.1. Cascas Poliédricas.....	142
15.2. Cascas Cilíndricas.....	144

15.3. Cascas Esféricas ou Cúpulas.....	145
15.4. Cúpulas Radiais.....	146
<b>16. O Projeto Estrutural</b>	
16.1. Etapas do Projeto Arquitetônico.....	148
16.2. Concepção Estrutural Básica.....	149
16.3. Análise Estrutural.....	151
16.4. Elementos Estruturais Básicos.....	153
16.5. Síntese Estrutural.....	155
16.6. Ligações Estruturais.....	156
16.7. Métodos de Projeto de Estruturas.....	157
16.7.1. Evolução dos Métodos de Projeto.....	157
16.7.2. Método Comparativo e Método Racional.....	158
16.7.3. Método das Tensões Admissíveis.....	159
16.7.4. Método dos Estados Limites.....	160
16.7.4.1. Estado Limite Último.....	160
16.7.4.2. Estado Limite de Utilização.....	160
<b>17. Aplicação da Proposta e Resultados Esperados</b>	
17.1. Métodos e Técnicas.....	162
17.2. Resultados Obtidos.....	165
17.3. Discussão dos Resultados.....	167
<b>18. Conclusões e Recomendações</b>	
18.1. O Construtivismo na Formação de Arquitetos e Engenheiros.....	169
18.2. A Implementação do Ensino.....	169
18.3. O Papel do Professor.....	171
18.4. O Papel do Contexto Social.....	173
18.5. O Pensamento Futuro.....	174
18.6. A Integração Profissional.....	176
18.7. O Ensino.....	178
18.8. Dificuldades e Limitações.....	179
18.9. Recomendações.....	179
<b>19. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>181</b>

**20. Bibliografia Complementar**.....184

**21. Trabalhos Publicados**.....187

**Anexos**

**Anexo 1** – Grade Curricular do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFSC.....189

**Anexo 2** – Ementas das Disciplinas Técnicas Oferecidas ao Curso de Arquitetura.....190

## Lista de Figuras

Figura 3. 1. – Templo de Poseidon (Grécia).....	28
Figura 4. 1 – Carvalho.....	34
Figura 4. 2 – Pinheiro Brasileiro.....	34
Figura 4. 3 – Chorão (Vime).....	35
Figura 4. 4 – Ouriço do Mar.....	35
Figura 4. 5 – Conchas.....	35
Figura 4. 6 – Besouros.....	35
Figura 4. 7 – Protozoários.....	36
Figura 4. 8 – Forma dos Esqueletos dos Quadrúpedes.....	37
Figura 4. 9 – Ponte com Balanços.....	37
Figura 4. 10 – Sistema Vertebral.....	38
Figura 4. 11 - Diagrama de tensões de Flexão.....	38
Figura 4. 12 – Sistema Propulsor do Cavalo.....	39
Figura 4. 13 – Tensões de Flexão: Quadrúpede e Bípede.....	39
Figura 5. 1 – Classificação das Cargas.....	42
Figura 5. 2 – Tipos de cargas.....	43
Figura 5. 3 – Carregamento Estático e Dinâmico.....	43
Figura 5. 4 – Oscilação.....	44
Figura 5. 5 – Ressonância.....	45
Figura 5. 6 – Vibrações em Viga.....	45
Figura 5. 7 – Ação do Vento.....	46
Figura 5. 8 – Ponte de Tacoma, Washington.....	46
Figura 5. 9 – Recalques Diferenciais.....	47
Figura 5. 10 – Cubos.....	47
Figura 5. 11 – Esqueleto.....	48
Figura 5. 12 – Estrutura Externa dos Crustáceos.....	49
Figura 5. 13 – Estrutura de um Quadrúpede.....	49
Figura 5. 14 – Torre Eiffel (Paris).....	50
Figura 5. 15 – Alongamento devido à Variação de Temperatura em Viga de Concreto.....	50
Figura 5. 16 – Movimentação Térmica em Cúpula.....	51



Figura 6. 1 – Comportamento Elástico.....	52
Figura 6. 2 – Comportamento Plástico.....	53
Figura 6. 3 – Deformação.....	53
Figura 6. 4 – Relação Tensão x Deformação em Material Elástico.....	54
Figura 6. 5 – Energias das Molas.....	55
Figura 6. 6 – Gráfico Tensão x Deformação.....	55
Figura 6. 7 – Teia de Aranha.....	56
Figura 6. 8 – Balanço.....	57
Figura 6. 9 – Tipos de Deformação.....	58
Figura 6. 10 – Crosta Terrestre.....	58
Figura 6. 11 – Fenômeno da Fadiga.....	59
Figura 6. 12 – Linhas de Esforços.....	59
Figura 7. 1 – Equilíbrio de Forças Horizontais.....	61
Figura 7. 2 – Equilíbrio Rotatório – Pesos e Braços de Alavanca.....	62
Figura 7. 3 – Desequilíbrio Rotatório.....	62
Figura 7. 4 – Equilíbrio pela Igualdade de Momentos.....	63
Figura 7. 5 – Equilíbrio de Forças Horizontais.....	64
Figura 7. 6 – Instabilidade Rotatória Devida à Ação do Vento.....	64
Figura 7. 7 – Torre de Pisa.....	65
Figura 7. 8 – Escorregamento.....	65
Figura 8. 1 – Classificação das Solicitações.....	69
Figura 8. 2 – Tração em Elemento Estrutural.....	70
Figura 8. 3 – Cisalhamento.....	72
Figura 8. 4 – Flexão.....	73
Figura 8. 5 – Eixos Principais de uma Seção.....	73
Figura 8. 6 – Barras de Borracha.....	74
Figura 8. 7 – Efeitos da Torção.....	74
Figura 8. 8 – Fratura de Giz.....	75
Figura 8. 9 – Linhas de Tração e Compressão.....	75
Figura 8. 10 – Flexão – Torção.....	75
Figura 8. 11 – Viga Sujeita à Flexão – Torção.....	76

Figura 9. 1 – Carga Aplicada à um Cabo.....	77
Figura 9. 2 – Variação das Reações em Função da Flecha.....	78
Figura 9. 3 – Flecha Ótima.....	78
Figura 9. 4 – Formas de Carregamento.....	79
Figura 9. 5 – Curvas Funiculares.....	79
Figura 9. 6 – Sistema de Cabos (Ponte Metroviária) – São Paulo.....	80
Figura 9. 7 – Rigidez por Meio de Triangulação do Quadro.....	80
Figura 9. 8 – Tesoura de Duas Águas.....	81
Figura 9. 9 – Tesoura de Duas Águas com Lanternim.....	82
Figura 9. 10 – Tesoura de Mansarda.....	82
Figura 9. 11 – Tesoura de Alpendre.....	82
Figura 9. 12 – Tesoura Tipo Shed.....	83
Figura 9. 13 – Treliça Horizontal com Diagonais Submetidas à Tração.....	84
Figura 9. 14 – Treliça Horizontal com Diagonais Submetidas à Compressão.....	84
Figura 9. 15 – Tipos de Treliças Metálicas.....	85
Figura 9. 16 – Treliça em Arco.....	85
Figura 9. 17 – Montagem de Treliça Espacial.....	86
Figura 9. 18 – Ponte Hercílio Luz.....	86
Figura 10. 1 – Partes da Estrutura.....	87
Figura 10. 2 – Deslocamentos.....	88
Figura 10. 3 – Viga Bi-apoiada.....	89
Figura 10. 4 – Tipos de Vínculos.....	89
Figura 10. 5 – Rótula.....	90
Figura 10. 6 – Apoio Simples.....	90
Figura 10. 7 – Articulação ou Rótula.....	90
Figura 10. 8 – Engaste.....	91
Figura 10. 9 – Sistema de Reorientação de Forças nas Vigas.....	92
Figura 10. 10 – Mecanismo da Flexão.....	93
Figura 10. 11 – Cisalhamento na Flexão.....	93
Figura 10. 12 – Esforços Cortantes Combinados.....	93
Figura 10. 13 – Distribuição da Armadura em Viga.....	94
Figura 10. 14 – Influência do Comprimento sobre a Deformação.....	94
Figura 10. 15 – Influência da Altura sobre a Deformação.....	94

Figura 10. 16 – Influência do material sobre a Deformação.....	95
Figura 10. 17 – Influência da Posição da Carga sobre a Deformação.....	95
Figura 10. 18 – Flexão de viga em Balanço.....	96
Figura 10. 19 – Variação da Resistência Segundo a Forma da Seção.....	96
Figura 10. 20 – Comparação entre Viga Maciça e Seccionada.....	96
Figura 10. 21 – Diagrama das Solicitações Internas (Carga Concentrada).....	97
Figura 10. 22 – Diagrama das Solicitações Internas (Carga Uniformemente Distribuída).....	97
Figura 10. 23 – Deformação em Viga Bi-apoiada.....	98
Figura 10. 24 – Diagrama das Tensões de Flexão.....	98
Figura 10. 25 – Comparação entre Deformações.....	99
Figura 10. 26 – Deformação em Viga Apoiada e Engastada.....	100
Figura 10. 27 – Mecanismo Portante das Vigas.....	101
Figura 10. 28 – Flexão em Viga Contínua.....	101
Figura 10. 29 – Viga de Seção “T”.....	102
Figura 10. 30 – Viga Gerber.....	102
Figura 10. 31 – Viga Misulada.....	103
Figura 11. 1 – Seções de Pilares.....	105
Figura 11. 2 – Dimensões Mínimas dos Pilares.....	105
Figura 11. 3 – Centro de Massa.....	106
Figura 11. 4 – Pilar Sujeito à Flexo-compressão.....	106
Figura 11. 5 – Dupla Excentricidade do Pilar.....	106
Figura 11. 6 – Excentricidade da Carga.....	107
Figura 11. 7 – Flambagem por Compressão.....	107
Figura 11. 8 – Área de Influência do Pilar.....	108
Figura 12. 1 – Sistema Unidirecional.....	109
Figura 12. 2 – Sistema Bidirecional com Vigas Iguais.....	110
Figura 12. 3 – Sistema Bidirecional com Vigas Desiguais.....	110
Figura 12. 4 – Laje Mista e/ou Nervurada.....	112
Figura 12. 5 – Grelha.....	113
Figura 12. 6 – Grelha com Vigas Entrelaçadas.....	113
Figura 12. 7 – Grelha Oblíqua.....	114

Figura 12. 8 – Lajes Cogumelo.....	114
Figura 12. 9 – Tipos de capitel em Lajes Cogumelo.....	114
Figura 12. 10 – Dimensões dos Pilares.....	115
Figura 12. 11 – Dobra em Folha de Papel.....	115
Figura 12. 12 – Formas de Lajes Plissadas.....	116
Figura 12. 13 – Estrutura em Papel Dobrado.....	116
Figura 12. 14 – Laje Dupla.....	116
Figura 12. 15 – Tipos de Lajes Resistentes.....	118
Figura 12. 16 – Laje em Placa (alveolar).....	118
Figura 12. 17 – Lajes em Vigas “T”.....	119
Figura 12. 18 – Lajes Pré-fabricadas com Vigotas de Concreto Armado.....	119
Figura 12. 19 – Lajes com Armadura em Treliça.....	120
Figura 12. 20 – Escada.....	121
Figura 13. 1 – Mecanismo de Pórtico e sua Relação com a Viga Bi-apoiada.....	123
Figura 13. 2 – Empuxo no Pórtico Simples (Articulado).....	124
Figura 13. 3 – Pórtico Simples Engastado.....	124
Figura 13. 4 – Ação do Vento em Sistema de Viga e Pilares e Pórtico Simples.....	125
Figura 13. 5 – Deformação em Pórtico Engastado e Articulado.....	125
Figura 13. 6 – Barra de rigidez.....	125
Figura 13. 7 – Pórtico Múltiplo e Espacial.....	126
Figura 13. 8 – Viga Vierendeel.....	127
Figura 13. 9 – Pórtico de Duas Águas.....	128
Figura 13. 10 – Deformação em Pórtico de Duas Águas: Articulado e Engastado.....	128
Figura 13. 11 – Pórtico Poligonal ou Funicular.....	128
Figura 13. 12 – Arcos Romanos.....	129
Figura 13. 13 – Mecanismo de Arco.....	129
Figura 13. 14 – Tipos de Arcos.....	130
Figura 13. 15 – Tensões de Empuxo.....	131
Figura 13. 16 – Aplicações de Arcos.....	131
Figura 14. 1 – Recipiente Esférico.....	132
Figura 14. 2 – Tensões em Cilindro.....	133
Figura 14. 3 – Morcego.....	134

Figura 14. 4 – Junco Chinês.....	134
Figura 14. 5 – Fenômeno da Coesão nos Líquidos.....	135
Figura 14. 6 – Forma Segmentada das Larvas.....	136
Figura 14. 7 – Deformação em Estrutura Tubular.....	137
Figura 14. 8 – Curvaturas de um Cilindro.....	137
Figura 14. 9 – Tensões de Cisalhamento.....	138
Figura 14. 10 – Membrana Tencionada de um Guarda-Chuva.....	139
Figura 14. 11 – Pára-quedas e Ultraleve.....	139
Figura 14. 12 – Formas Esculturais de Membranas.....	140
Figura 14. 13 – Papo Inflado de um Sapo.....	140
Figura 14. 14 – Formas de Utilização de membranas Pneumáticas.....	140
Figura 14. 15 – Expo 70 – Osaka, Japão.....	141
Figura 14. 16 – Estruturas Pneumáticas de Frei Otto.....	141
Figura 14. 17 – Pentadome, Estados Unidos.....	141
Figura 15. 1 – Funcionamento das Cascas Poliédricas.....	142
Figura 15. 2 – Rigidez do Conjunto.....	143
Figura 15. 3 – Ângulo de Inclinação.....	143
Figura 15. 4 – Vigas de Rigidez.....	143
Figura 15. 5 – Pré-dimensionamento.....	144
Figura 15. 6 – Funcionamento.....	144
Figura 15. 7 – Relação entre as Dimensões.....	144
Figura 15. 8 – Relação entre Cascas Cilíndricas.....	145
Figura 15. 9 – Direção das Tensões.....	145
Figura 15. 10 – Tensões de Tração e Compressão.....	145
Figura 15. 11 – Elemento sujeito à Compressão.....	146
Figura 15. 12 – Sistema Radial.....	146
Figura 15. 13 – Curvatura de Cúpulas.....	147
Figura 16. 1 – Elementos Estruturais Planos.....	150
Figura 16. 2 – Fases do Dimensionamento das Estruturas.....	151
Figura 16. 3 – Análise Estrutural.....	152
Figura 16. 4 – Simplificação das Formas Estruturais.....	153
Figura 16. 5 – Vigas Isostáticas.....	153

Figura 16. 6 – VigasHiperestáticas.....	153
Figura 16. 7 – Arco e Pórtico Isostático.....	154
Figura 16. 8 – ArcosHiperestáticos.....	154
Figura 16. 9 – PórticosHiperestáticos.....	154
Figura 16. 10 – TreliçasIsostáticas.....	155
Figura 16. 11 – TreliçasHiperestáticas.....	155
Figura 16. 12 – Grelhas.....	155
Figura 16. 13 – VigaBalcão.....	155
Figura 16. 14 – Solicitações em Viga.....	156
Figura 16. 15 – Critérios de Projeto.....	158
Figura 17. 1 – TreliçasPlanas.....	163
Figura 17. 2 – Pórticos.....	164
Figura 17. 3 – Cúpulas.....	165

## Lista de Gráficos

Gráfico 17. 1 – Média Semestral das Notas de Experimentação II.....	165
Gráfico 17. 2 – Média Geral das Notas de Experimentação II no Período 97/2 a 99/2.....	166

## Lista de Tabelas

Tabela 1. 1 – Tipos de Produção.....	02
Tabela 17.1 – Número de alunos por Semestre.....	162
Tabela 17.2 – Grau de satisfação dos Alunos.....	167

## RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é apresentar uma metodologia de ensino de estruturas das edificações que seja efetiva e, ao mesmo tempo, atrativa aos estudantes de arquitetura e engenharia civil, estabelecida a partir da análise do processo ensino/aprendizagem. É fruto da experiência verificada ao longo de muitos anos de magistério, especificamente nas disciplinas de Experimentação e Introdução a Análise das Estruturas oferecida ao curso de Arquitetura e Urbanismo e Análise Qualitativa das Estruturas, ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, bem como de discussões em encontros, seminários, congressos nacionais e internacionais e ainda, de publicações existentes sobre o assunto.

A disciplina de Experimentação, ministrada nas primeiras fases do curso de arquitetura, é a primeira a fazer parte do rol de disciplinas técnicas da área estrutural e tem a finalidade de introduzir os futuros arquitetos no campo de conhecimento das estruturas.

Em uma primeira etapa, as formas estruturais, suas relações com a natureza e seu funcionamento são mostradas através de modelos e maquetes, de maneira essencialmente qualitativa, permitindo expeditamente, o pré-dimensionamento dos elementos estruturais. Procura-se reduzir o hiato existente entre o conhecimento teórico e o prático no campo das estruturas, fazendo uma ligação entre a intuição, comum aos seres humanos, e o conhecimento tecnológico que as cerca, adequando-as a uma realidade física baseada em postulados matemáticos.

A criação de uma estrutura eficiente e bela, dando-lhe ainda as devidas proporções, deve-se à aliança entre os conhecimentos intuitivo e matemático.

Na segunda etapa, procurar-se-á diminuir o hiato pela aplicação de métodos quantitativos em estrutura. Isto se consegue pelo exercício do processo de projeto em diversos sistemas estruturais tais como concretos (armado e protendido), argamassa armada, metálicas (aço e alumínio), madeiras (simples ou associadas) e alvenarias estruturais.



## ABSTRACT

The main goal of this work is to present a teaching methodology for building structures that could be effective, and , at same time, motivating to architecture and civil engineering undergraduate students by approaching the problematic of structural knowledge transfer to them from teaching/learning process analysis. It comes from long years of mastery experience, specifically of “Structural Analysis Introductions” and “Experimentation” Architectural course, and "Qualitative Analysis of Structures" Civil Engineering course, as well as the experience of Meeting Discussions, Seminars, National and International Events, and existing publications about this field.

The first course, being taught at the stages of the Architecture disciplines, is the first on the technical courses of the structural area and has the aim of introducing the future architects to the knowledge field of structures.

At a first stages of this discipline, structural shapes, their relationships with nature, and their functioning are shown in a qualitative way through models and mock up which quickly allows structural members pre-sizing. It is sought to reduce the gap between theoretical and practical structural knowledge making up a connection between human intuition and technological knowledge that encompasses both, making them suitable to a physical reality that is based on mathematical postulates.

Thanks to the alliance between intuitive and mathematical knowledge it is possible the creation of an efficient and aesthetic structure by turning it out in suitable dimensions.

At second stage, it is sought to reduce the above mentioned gap by using quantitative methods in structure. It is reached by exercising the design process on several structural systems such as concrete (reinforced and pre-stressed), fine grained concrete, metallic (steel and aluminum), wooden (single and mixed), and masonry.

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

### 1. 1. Considerações Iniciais

Os meios de produção e de serviço estão passando por profundas alterações, caracterizadas como uma mudança de paradigma - do paradigma da produção massiva para o paradigma da produção racional, isto é, sem desperdícios de energia, tempo, material e esforço humanos. Essa mudança implica uma modificação da postura dos profissionais em geral e, portanto, do processo de formação desses profissionais.

Essa mudança de paradigma na produção e serviço tem levado as universidades a repensarem sua prática pedagógica, refazendo currículos, introduzindo tecnologia educacional e provendo estágios dos alunos com a finalidade de introduzi-los na prática profissional.

Especificamente em relação à arquitetura e à engenharia, há uma grande pressão para a introdução dessas mudanças. A produção racional está sendo utilizada por um grande número de empresas e o dia-a-dia do arquiteto, do engenheiro e do empresário exige cada vez mais o pensamento racional. No entanto, a formação desses profissionais ainda não sofreu alterações significativas, continuando a formá-los com habilidades para funcionar segundo o paradigma da produção massiva.

A formação para a produção racional requer um processo de aprendizado centrado na ação de fazer arquitetura e engenharia ao invés de ensinar o aluno sobre arquitetura e engenharia. Descreve-se como criar ambientes de aprendizado e as implicações em relação ao currículo e em relação às atitudes do professor e do aluno.

A teoria de Kuhn, (1982), ajuda a compreender as mudanças de paradigmas na evolução do pensamento científico e pode ser útil para analisar o que ocorre no contexto da produção de bens e serviços. Inicialmente, tem-se a *produção artesanal*, em seguida, a *produção massiva* e, finalmente, a *produção racional*.

A produção artesanal emprega trabalhadores com grande habilidade e ferramentas flexíveis para produzir exatamente o que o consumidor demanda e um item de cada vez. O custo dessa produção é alto, porém, geralmente, a qualidade do produto é excelente.

Na produção em massa, o objetivo é densificar a produção e diminuir o custo do produto, muitas vezes em detrimento da qualidade. Profissionais com formação específica planejam a produção que deverá ser executada por um trabalhador com pouca ou nenhuma habilidade, através de máquinas especiais que produzem grande quantidade de um produto.

A produção racional combina as vantagens da produção artesanal - grande variedade e alta qualidade - e as vantagens da produção massiva - grande quantidade e baixo custo. Essas distinções podem ser esquematizadas conforme a Tabela 1. 1.

**Tabela 1. 1 – Tipos de Produção** (GARBARIAN, 1992)

<b>Produção Artesanal</b>	<b>Produção Massiva</b>	<b>Produção Racional</b>
Trabalhadores habilitados	Trabalhadores não habilitados	Trabalhadores habilitados
Ferramentas flexíveis	Ferramentas inflexíveis	Ferramentas flexíveis
Produtos exclusivos	Produtos padronizados	Produtos quase exclusivos
Alta qualidade	Qualidade razoável	Alta qualidade
Baixa quantidade	Alta quantidade	Alta quantidade
Alto custo	Baixo custo	Baixo custo

Como esses diferentes tipos de produção caracterizam diferentes paradigmas, acabam tendo um profundo impacto em todos os setores da sociedade, como por exemplo, sobre a educação e serviços em geral, influenciando a maneira de viver e pensar. No caso específico da educação, esta sofre influência direta dos sistemas de produção e serviço. Isso, porque a educação deve preparar as pessoas para atuarem segundo esses paradigmas.

Assim, a escola passa a ser a reprodutora das relações de produção e serviço. Ela não só deve passar as idéias dos sistemas de produção e serviço (educação através da transmissão de idéias), como também ela própria assume uma estrutura semelhante a dos meios de produção e serviço (educação através da vivência).

O processo educacional também pode ser caracterizado de acordo com os diferentes sistemas de produção. Na época da produção artesanal, as pessoas eram educadas por “mentores”.

Esses profissionais eram contratados para educar os membros da corte ou das famílias ricas. Uma versão menos elitista era o professor particular, que educava um pequeno grupo de alunos que podiam arcar com os custos dessa educação. Esse sistema educacional perdurou até o advento da produção em massa, quando então, houve a massificação do ensino.

O sistema educacional atual pode ser caracterizado como fruto do paradigma de produção em massa. A nossa escola pode ser vista como uma linha de montagem: o aluno é o produto que está sendo educado ou “montado” e os professores são os “montadores” do conhecimento do aluno.

Além disso, existe a estrutura de controle do processo de “produção”, formada por diretores e supervisores que verificam se o “planejamento da produção” traduzida em termos da metodologia, do currículo e da disciplina, está sendo cumprido. Se tudo for realizado de acordo com o plano, essa linha de montagem deve produzir alunos capacitados. Caso contrário, existem as ações corretoras: a recuperação ou a repetência.

Mesmo a organização do currículo, que é baseada no paradigma da produção em massa ou, mais especificamente, no modelo da racionalidade técnica, estabelece uma dicotomia entre o conhecimento científico e aplicado e a aplicação desse conhecimento na prática profissional (VALENTE, 1995).

Assim, o conhecimento é fragmentado, categorizado, hierarquizado e ministrado em uma ordem crescente de complexidade. Espera-se que o aluno seja capaz de assimilar esse conhecimento molecular, cada vez mais fracionado e integrar e aplicar esses conhecimentos na resolução de problemas do mundo real.

Inicialmente são oferecidos cursos teóricos sobre os diferentes conteúdos programáticos e, mais no final do curso (especialmente nos cursos de formação universitária), é solicitado ao aluno o desenvolvimento de um projeto prático, apresentado como o contexto para a aplicação do conhecimento adquirido e o desenvolvimento de competências, capacidades e atitudes profissionais.

Em síntese, o modelo educacional em uso, é baseado na transmissão de conhecimento, assumindo que o aluno é um recipiente vazio a ser preenchido ou o produto que deve ser “montado”. Essa abordagem é generalizada como metodologia de ensino e ainda é utilizada nos cursos de arquitetura e engenharia. O resultado desse modelo educacional é o aluno

passivo, sem capacidade crítica e com uma visão de mundo segundo a que lhe foi transmitida. O profissional com essa habilidade terá pouca chance de sobreviver na sociedade do conhecimento. Na verdade, estamos produzindo alunos e profissionais obsoletos.

Essa formação não pode mais ser baseada no “instrucionismo”, onde o professor instrui ao aluno, mas no “construcionismo”, onde o aluno constrói o seu conhecimento, aprende porque faz, reflete sobre o produto que obtém e depura as suas idéias e ações.

O sistema educacional segundo a visão da produção racional ainda está por vir. No entanto, é possível ter algumas idéias de como essa educação deverá ocorrer e que tipo de formação ela deverá proporcionar. O Homem da sociedade “racional” deverá ser o homem da sociedade do conhecimento (DRUCKER, 1993).

Um homem crítico, criativo, com capacidade de pensar, de aprender a aprender, de trabalhar em grupo e de conhecer o seu potencial cognitivo e afetivo deverá ter uma visão geral sobre os diferentes problemas que afligem a humanidade como as questões sociais e a ecologia, além do profundo conhecimento sobre domínios específicos. Ou seja, um homem atento e sensível às mudanças da sociedade com uma visão transdisciplinar e com capacidade de constante aprimoramento e depuração de idéias e ações.

Certamente, essa nova atitude é fruto de um processo educacional cujo objetivo será a criação de ambientes de aprendizagem onde o aluno possa vivenciar e desenvolver essas habilidades. Elas não são passíveis de serem transmitidas, mas devem ser construídas e desenvolvidas em cada indivíduo. No caso da arquitetura e da engenharia, principalmente a engenharia civil, o egresso da escola hoje, com certeza, deverá estar em contato direto com o sistema de produção racional. Esse paradigma de produção está sendo disseminado em todas as empresas e constitui um processo irreversível.

Portanto, esse profissional deve estar preparado para atuar nesse novo ambiente de produção e a sua formação deve propiciar o desenvolvimento de habilidades para que isso definitivamente aconteça. Entretanto, essa formação tem que ser feita através de um sistema compatível com o novo paradigma, tanto no sentido da construção de conceitos quanto do desenvolvimento de uma estrutura que permita ao aluno vivenciar a experiência da produção racional ou do “pensamento racional”.

A questão é: como proporcionar essa formação? Que alterações são necessárias para constituir um ambiente onde o aluno possa adquirir as habilidades necessárias para atuar na sociedade racional? As respostas para essas questões podem ser fornecidas através da experiência acumulada ao longo do processo de ensino e aprendizagem. Essa

experiência pode servir de base para propiciar algumas idéias de como alterar o ensino de arquitetura e de engenharia e capacitar profissionais para atuarem no paradigma racional.

Uma metodologia de ensino adequada é uma ferramenta que auxilia a entender os paradigmas educacionais como o instrucionismo - baseado na produção em massa - e o construcionismo - baseado na produção racional.

### **1. 2. Justificativa e Relevância**

Todo arquiteto, como também todo estudante de arquitetura, já se convenceu da importância do conhecimento estrutural para a sua formação, sabendo entretanto, que a aquisição de tais conhecimentos é mais complexa do que se poderia esperar.

A rapidez da evolução tecnológica, os novos materiais, a criação de novas formas arquitetônicas, que apresentam dificuldades para a formulação matemática de sua estrutura, tomam quase impossível ao homem de formação essencialmente artística, absorver todo este conhecimento.

O arquiteto contemporâneo deve estar familiarizado com estética, engenharia, sociologia, economia, urbanismo e planejamento, entre outros. O conhecimento das ferramentas necessárias para compreender a tecnologia moderna é, na maioria das vezes, limitado, pois a matemática, a física e a química não são matérias essenciais à sua formação (SALVADORI, 1990).

Por outro lado, o conhecimento do engenheiro nas áreas sociológica, estética e do planejamento é tão limitado quanto o do arquiteto com respeito às matérias técnicas. Um diálogo entre arquiteto e engenheiro é praticamente impossível: carecem de um vocabulário comum.

Como este diálogo é necessário, pergunta-se: deve o engenheiro ter mais conhecimentos de arquitetura ou o arquiteto mais conhecimento de engenharia? O arquiteto é, naturalmente, o líder de uma equipe de projeto e o engenheiro apenas um de seus integrantes.

No campo das estruturas o conhecimento qualitativo deve ser, naturalmente, requisito básico ao estudo quantitativo, pois raramente se desperta o interesse por determinado assunto sem que haja, pelo menos, um conhecimento prévio sobre o mesmo, ainda que intuitivo.

A intuição é um processo essencialmente sintético: gera a compreensão repentina e direta. Resulta num caminho satisfatório até o conhecimento global, desde que associada a duas condições: experiência prévia e cuidadosa verificação (STUCCHI, 1997).

A prática pode significar um refinamento extraordinário da intuição que, através de um laboratório, pode ser refinada pelos experimentos, onde as diversas ações estruturais possam ser compreendidas e avaliadas visualmente.

O emprego de modelos para o ensino das estruturas, tanto nas escolas de arquitetura como de engenharia, constituem elementos ideais para uma apresentação intuitiva e qualitativa dos conceitos estruturais, não eximindo, entretanto, de um conhecimento quantitativo a todos aqueles que desejam formas estruturais arrojadas e ao mesmo tempo corretas.

### **1. 3. Objetivos**

#### **1. 3. 1. Gerais**

A proposta deste trabalho é a elaboração de método que possa promover melhoria do ensino de estruturas nas escolas de arquitetura e de engenharia, através da utilização de modelos estruturais reduzidos. A confecção de modelos apropriados, afim de que sejam apresentadas as implicações da aplicação das cargas sobre estruturas são necessários para que haja uma compreensão imediata desses efeitos.

Pretende-se, com esta proposta, além de motivar o aluno a interessar-se pelas leis físicas que envolvem os diversos tipos estruturais, proporcionar-lhe as ferramentas necessárias e introdutórias à análise quantitativa, através do conhecimento qualitativo do comportamento das estruturas.

Este trabalho objetiva ainda, familiarizar os estudantes de arquitetura e engenharia no campo das estruturas, apresentando, nos Capítulos 3 a 16, o conteúdo mínimo a ser ministrado num curso de ensino qualitativo das estruturas.

#### **1. 3. 2. Objetivos Específicos**

Fornecer meios para:

- Elevar o nível de compreensão e fixação dos conceitos teóricos sobre o comportamento das estruturas;
- Estabelecer uma relação mais clara e direta entre a teoria e a prática;
- Ampliar o contato do aluno com a prática de laboratório;
- Proporcionar uma formação científica e integração multidisciplinar dos currículos de graduação dos cursos de arquitetura e de engenharia;

- Criar um espaço onde os alunos, nos períodos iniciais de graduação possam participar, de forma ativa, quebrando a tradicional postura apática no processo de concepção, na construção e ensaio de modelos físicos capazes de reproduzir o comportamento de diferentes estruturas.

#### **1. 4. Metodologia do Ensino de Estruturas**

##### **1. 4. 1. Ensino e Aprendizagem na Arquitetura e Engenharia**

Indubitavelmente cada disciplina tem seu programa particular. Cada professor segue alguns critérios gerais, mas tem também, suas preferências pessoais, primando pela objetividade mas admitindo doses variáveis de subjetividade.

As temáticas de ensino apoiam-se em razões, exemplos, programas de necessidades, esquemas funcionais e, a evolução do projeto, em processos explícitos e implícitos. As disciplinas teóricas são apresentadas em forma de esquemas, exemplos e comparações. A forma de aprendizagem está fundamentada na compreensão de textos e especialmente na memória.

Nas disciplinas técnicas referentes às edificações, distinguem-se os campos das estruturas, instalações, materiais e construções, que compartilham raízes teóricas comuns, mas requerem tópicos especiais de ensino/aprendizagem. Todas baseiam-se em conhecimentos físicos e matemáticos englobando componentes de ciências aplicadas e, por isso, denominam-se de tecnologia da construção ou da edificação.

O ensino das estruturas baseia-se em considerações teóricas e aplicadas através de esquemas de funcionamento onde deduzem-se expressões matemáticas. Estas aplicações matemáticas permitem projetar e dimensionar os conjuntos de elementos que constituem o projeto estrutural formal e construtivo. O ensino/aprendizagem abrange então essas etapas mencionadas: as teorias, os esquemas estruturais, o projeto, o dimensionamento e suas verificações.

Portanto, essa forma de ensino constitui-se em aprendizagem laboriosa e cansativa, através de exercícios variados e sujeitos aos mais diversos erros. A participação dos alunos, neste caso, não existe. Têm, simplesmente, que assimilar tudo que é passado pelo professor.

O ensino de estruturas vem sendo ministrado, atualmente, de maneira descontínua, fragmentada, desinteressante e tunelizada, isto é, tem um começo e fim, impedindo entretanto, que o aluno vislumbre o que ocorre ao seu redor.

##### **1. 4. 2. Proposta Metodológica**

Na proposta para o ensino de estruturas, ora apresentada, o processo de transmissão do conhecimento deve ocorrer em duas etapas distintas:



### **1ª Etapa: A Percepção Qualitativa das Estruturas**

Esta etapa desenvolve-se em três níveis de profundidade no processo ensino/aprendizado, segundo objetivos e necessidades variadas:

- ⊗ Nível 1 (inicial) – Contato com o modelo didático;
- ⊗ Nível 2 (intermediário) – Criação, projeto, construção e análise dos modelos;
- ⊗ Nível 3 (avançado) – Contato com a análise experimental através de modelos.

No Nível 1 (inicial), o estudante tem contato com os diversos sistemas estruturais naturais (vegetais, animais e minerais), a fim de despertar seu interesse pelas mais diferentes formas que a natureza apresenta, na qual a estrutura é o resultado das possibilidades construtivas do material aliadas a uma forma com funções pré-determinadas e, existindo entre o material e a estrutura, uma congruência e uma continuidade que não existem no campo da técnica, onde o homem procura substituir o processo construtivo natural por um processo analítico.

Ainda, nesta primeira etapa, o aluno tem os primeiros contatos com os modelos didáticos apresentados pelo professor de forma puramente qualitativa, onde são ilustradas as definições e conceitos teóricos, aliado à observação de seu comportamento real, comparando-o com o previsto pela teoria.

No Nível 2 (intermediário), a interface entre a teoria e a prática se aprofunda pelas atividades que envolvem a criação, o projeto, a construção e a análise qualitativa dos modelos didáticos utilizados nas aulas práticas do Nível 1. Nesta etapa leva-se o aluno à liberdade de criação e de reflexão sobre o comportamento físico do modelo, bem como das questões relativas ao desenvolvimento da teoria, como a adoção de hipóteses simplificadoras. Esta tarefa é proposta como um trabalho prático e sua execução será durante o semestre letivo.

No Nível 3 (avançado), o aluno entra em contato com a análise experimental através dos modelos físicos, aprofundando a análise teórica com o auxílio de métodos quantitativos. Esta etapa pode, ainda, ser direcionada aos projetos de iniciação científica e de pesquisa na pós-graduação. Os projetos, para este nível de aprofundamento, devem ter uma duração em torno de dois a três períodos letivos.

As atividades de criação, projeto e execução de modelos físicos reduzidos, ou mesmo em escala real, são extremamente úteis no processo de sintetização dos conhecimentos a partir da teoria, possibilitando a aplicação do processo *construtivista*, onde o aluno constrói, aprende, reflete e depura suas idéias e ações.

A implementação deste projeto de desenvolvimento e utilização de modelos didáticos, no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, foi possível graças a existência dos laboratórios de Modelos e Maquetes e de Sistemas Construtivos – Setor de Estruturas. O primeiro é utilizado na execução dos modelos e o segundo, nos seus ensaios.

### **2ª Etapa: Métodos Quantitativos**

A aplicação de métodos quantitativos consegue-se pelo exercício do processo de projeto aplicado aos mais diversos sistemas estruturais, culminando com um ante-projeto integrado (arquitetônico e complementares). Esta etapa não é objeto deste trabalho.

#### **1. 4. 3. Implementação da Metodologia Proposta**

Nos cursos de arquitetura, esta metodologia deverá ser implantada nas primeiras fases, porque os estudantes têm, logo de início, contato com as disciplinas de projeto, necessitando de um conhecimento prévio das estruturas de maneira a associá-las à arquitetura. Nos cursos de engenharia, o estudo qualitativo das estruturas poderia ser ministrado antes da disciplina que inicia o chamado tronco das disciplinas da área estrutural, Estabilidade das Construções.

No curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, a disciplina de Experimentação II, que corresponde a análise qualitativa das estruturas foi divididas em duas turmas A e B, com a finalidade de avaliar-se a metodologia, aplicando-se em uma das turmas, o método tradicional de ensino de estruturas e na outra, a metodologia proposta nesta tese.

Já no curso de Engenharia Civil a implementação deu-se através da criação da disciplina optativa: Análise Qualitativa das Estruturas utilizando-se a mesma estrutura laboratorial utilizada na arquitetura. Como não foi possível dividi-la em duas turmas foi idealizado a apresentação, por parte dos alunos, de um relatório final, onde o estudante se manifesta de maneira aberta sobre a disciplina.

#### **1. 5. Estrutura do Trabalho**

Esta tese foi desenvolvida de tal forma, a proporcionar ao leitor, um passeio agradável por suas páginas, pois apresenta-se um programa de ensino qualitativo das estruturas, para os cursos de arquitetura e engenharia, procurando uma associação com a natureza.

No Capítulo 1, a introdução, além das considerações iniciais, apresentam-se a justificativa e relevância do trabalho, os objetivos gerais e específicos e a metodologia empregada.

No Capítulo 2, a revisão bibliográfica, com o construcionismo e o instrucionismo nas escolas, a estrutura escolar atual das universidades brasileiras, os centros de ensino e as escolas de arquitetura e um histórico sobre as escolas de arquitetura e engenharia e a situação do arquiteto e do engenheiro na atualidade. O conteúdo dos Capítulos 3 a 16 referem-se aos assuntos que poderão ser ministrados num curso qualitativo de estruturas.

No Capítulo 3, trata-se das estruturas naturais e suas relações com as obras executadas pelo homem. No Capítulo 4, estrutura das edificações abrange a educação arquitetônica e sua necessidade.

Nos Capítulos 5 e 6, as cargas atuantes e os materiais estruturais, salientando suas propriedades, constantes dos materiais e coeficientes de segurança. O capítulo 7 trata dos requisitos estruturais, necessários à obtenção de uma estrutura correta.

O Capítulo 8 corresponde aos estados de tensão que ocorrem nos elementos estruturais, apresentado suas conseqüências. No Capítulo 9 aborda-se os cabos e treliças, metálicas e de madeira e suas aplicações.

Os Capítulos 10, 11, 12 tratam dos elementos estruturais mais comuns: as vigas, os pilares e as lajes. No Capítulo 13, os pórticos planos e espaciais e os arcos. Nos Capítulos 14 e 15, os elementos estruturais delgados, as membranas e as cascas, respectivamente. O Capítulo 16 trata do projeto estrutural propriamente dito, enfocando suas etapas e métodos de elaboração.

No Capítulo 17 são apresentados os resultados obtidos pela aplicação da metodologia proposta numa experiência real de ensino/aprendizagem. Na seqüência é apresentada uma discussão sobre esses resultados. Já o Capítulo 18 trata das conclusões finais do trabalho.

## Capítulo 2

### Revisão Bibliográfica

#### 2. 1. O Instrucionismo e o Construcionismo

Atualmente, as escolas de arquitetura e de engenharia no Brasil necessitam de uma verdadeira reformulação no processo de ensino-aprendizagem, principalmente na área das estruturas. A maneira como vêm sendo ministradas as disciplinas que fazem parte da área estrutural, de maneira puramente quantitativa, analisando-as de maneira física e matemática, sob a forma de equações é, do ponto de vista pedagógico, um paradigma instrucionista.

Um tratamento inicial, de forma intuitiva e qualitativa, através da observação e da análise da natureza, da beleza das formas estruturais que apresenta e ainda, com o auxílio de modelos que possibilitem a visualização dos fenômenos que ocorrem nos elementos estruturais e, conseqüentemente, em toda a estrutura, seria a motivação inicial para o estudo quantitativo.

As razões dessa maneira de apresentação inicial das estruturas, de forma qualitativa, é o fato de ser capaz de auxiliar o aluno nas suas mais difíceis tarefas e ser capaz ainda, de transmitir informações fundamentais, exigindo assim, uma nova postura dos professores frente as distintas possibilidades de utilização desses meios. Essa questão tem provocado um questionamento dos métodos e da prática educacional.

Nesse caso, o aluno, interagindo na resolução de problemas, tem a chance de construir o seu conhecimento, que não é, simplesmente, transmitido pelo professor. O aluno não é mais instruído, ensinado, mas é o construtor do seu próprio conhecimento. Esse é o paradigma construcionista, onde a ênfase está na aprendizagem ao invés de estar no ensino - na construção do conhecimento e não na instrução.

Também o computador, através de softwares especiais que apresentem os problemas que ocorrem nas estruturas, tais como a ação das cargas e as deformações oriundas de suas aplicações é um outro meio que pode auxiliar o processo de construção do conhecimento. A apresentação um determinado resultado, na forma de imagem, de gráfico, texto ou números leva o aluno a fazer uma reflexão sobre essas informações obtidas.

Esse processo de reflexão pode produzir diversos níveis de abstração que provocarão alterações na estrutura mental do aluno (PIAGET, 1977):

- \* a abstração empírica, que permite ao estudante extrair informações do objeto ou das ações sobre o objeto, tais como a cor e a forma;
- \* a abstração pseudo-empírica, que permite ao aprendiz deduzir algum conhecimento da sua ação ou do objeto;
- \* a abstração reflexiva, que consiste na abstração sobre as próprias idéias do aluno.

De acordo com Valente, (1995), o processo de reflexão sobre o resultado de um programa de computador pode acarretar uma das seguintes ações alternativas:

- \* O aluno não modifica o seu procedimento, porque as suas idéias iniciais sobre a resolução daquele problema correspondem aos resultados apresentados pelo computador e então, o problema está resolvido;
- \* O aluno depura o procedimento quando o resultado é diferente da sua intenção original.

Tal depuração pode ser em termos de alguma convenção da linguagem de programação, sobre um conceito envolvido no problema em questão, ou ainda sobre estratégias (o aluno não sabe como usar técnicas de resolução de problemas).

Entretanto, o processo de descrever, refletir e depurar não acontece simplesmente colocando o aluno em frente ao computador. A interação aluno/computador precisa ser mediada por um profissional que tenha conhecimento do significado do processo de aprendizado através da construção do conhecimento. Esse professor tem que entender as idéias do aluno e tem que intervir apropriadamente na situação, de modo a ser efetivo, podendo contribuir para que o aluno construa o seu conhecimento.

Além disso, o aluno como um ser social, está inserido em um ambiente constituído, localmente, pelos seus colegas e, globalmente, pelos pais, amigos e a sua comunidade. O aluno pode usar todos esses elementos sociais como fonte de idéias, de conhecimento ou mesmo de problemas contextuais para serem resolvidos.

## **2. 2. Estrutura Escolar**

A maioria das escolas de arquitetura no Brasil dividem o ensino em quatro grandes áreas: projeto, urbanismo, história e tecnologia, normalmente chamadas de núcleos e fazendo com que as matérias, consideradas afins, se compartimentem de maneira hermética. Desta forma, as disciplinas consideradas técnicas reúnem-se em torno do departamento ou núcleo de tecnologia. O estudo da estrutura, com suas feições eminentemente técnicas foi praticamente condenado a enclausurar-se, distanciando-se cada vez mais das outras disciplinas e impedindo sua integração.

A departamentalização criou um isolamento entre as disciplinas fazendo com que as mesmas tivessem pouca ou nenhuma relação. As disciplinas da área tecnológica, normalmente estão afetas a professores oriundos de escolas técnicas, com formação quase sempre alheia à arquitetura. As disciplinas das áreas de estrutura geralmente são ministradas por engenheiros civis, que por sua formação técnica são considerados habilitados para tal.

Para minorar o problema, Colegiado do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, a partir de 1996 alterou profundamente a estrutura curricular do curso, promovendo uma integração entre as diversas disciplinas, privilegiando de certa maneira o tronco relativo às estruturas, com a criação de uma disciplina que faz a ligação entre a matemática, a física e a análise estrutural. Trata-se da disciplina Introdução a Análise das Estruturas, ministrada na segunda fase do curso.

Na área das estruturas estabeleceu-se uma linha de estudo que inicia com as disciplinas de Experimentação I e II, ministradas nas duas primeiras fases do curso. Tratam de introduzir o estudante no mundo das estruturas através da observação, da intuição e da análise qualitativa das estruturas naturais, tanto animais como vegetais, observando seu comportamento e associando-as às estruturas construídas pelo homem.

Esta disciplina é fundamental aos cursos de arquitetura. Proporciona aos estudantes uma visão global dos sistemas estruturais existentes, suas implicações nos projetos arquitetônicos, uma avaliação do comportamento estrutural em função de suas dimensões e das cargas que nelas atuam e procurando ainda, incentivar a criatividade através da elaboração de modelos em escala reduzida, obedecendo aos parâmetros estabelecidos pela estabilidade da estrutura e resistência dos elementos que a compõem.

O emprego de modelos qualitativos no tratamento das estruturas são extremamente convenientes: são tridimensionais e elaborados de modo a proporcionarem os resultados esperados e facilitando a visualização dos mesmos. A utilização deste recurso tem sido recomendada em vários seminários, palestras, encontros e trabalhos publicados sobre o ensino de estruturas para as escolas de arquitetura e engenharia (REBELLO, 1993).

Na seqüência, a disciplina Introdução à Análise das Estruturas trata da aplicabilidade das ferramentas da matemática e da física no estudo da estrutura. Fazem parte ainda deste tronco, as disciplinas de Resistência dos Materiais (Mecânica dos Sólidos), Estabilidade das Construções, Concreto Armado e Aço e Madeira, completando o rol de disciplinas ministradas da área das estruturas.

O curso é ainda complementado pelas disciplinas de Tecnologia I a VI, sendo que Tecnologia V e VI são optativas. Tratam dos materiais de construção e das técnicas construtivas e as optativas, de tópicos especiais em iniciação à pesquisa tecnológica e tópicos especiais em industrialização da construção. Em seguida, a disciplina de Planejamento das Construções, também optativa, trata da metodologia de planejamento das edificações, contando ainda com o auxílio de planilhas eletrônicas e softwares específicos.

Nas disciplinas de Tecnologia o aluno é levado a “adotar uma construção”, segundo a qual, o acadêmico, individualmente ou associado a um colega, acompanha uma obra em andamento, em sítio de fácil acesso, geralmente nas vizinhanças de sua residência, passando a acompanhar sistematicamente sua execução, desde os trabalhos de preparação do terreno e montagem do canteiro até a conclusão. Este trabalho de acompanhamento é feito com assessoria docente e apoio do construtor. O aluno apresenta relatórios periódicos, descrevendo e comentando o andamento da construção.

Esta reforma, pioneira nas escolas de arquitetura, transforma completamente a metodologia de ensino, proporcionando não só uma integração entre as disciplinas de projeto arquitetônico com as disciplinas técnicas, mas também uma reformulação do conceito que tradicionalmente impera a respeito do arquiteto - um desenhista. Com isto, os futuros arquitetos formados pela Universidade Federal de Santa Catarina terão todas as condições de construir tudo aquilo que projetarem.

### **2. 3. A Arquitetura Moderna e a Estrutura**

A chamada Arquitetura Moderna deu lugar a criações das mais ousadas e originais e, por vezes, excêntricos tipos estruturais. Sob este aspecto, têm surgido discussões e debates de opiniões, nem sempre uniformes entre engenheiros e arquitetos, uns com apreciações sob o ponto de vista estrutural e outros sob o aspecto da arquitetura.

Entre as questões sobre as quais divergem esses profissionais, uma das mais importantes resume-se na indagação: uma edificação deve ser dependente da estrutura ou o projeto estrutural deve adaptar-se às mais livres concepções arquitetônicas?

Inicialmente, de uma forma simplista, os dois profissionais estão diante de um único problema que é o projeto de uma edificação. Normalmente surgem diferenças relativas à própria formação de cada um e sua interação é importante, contribuindo assim, para soluções melhores e mais adequadas.

Ao abordar-se os aspectos necessários ao interesse daqueles que projetam ou constróem os espaços, deve-se observar as diferenças de formação e experiências de cada um no que diz respeito à tecnologia construtiva. O sucesso do empreendimento está acima de todo e qualquer interesse, pois o conhecimento sobre estruturas é importante para aqueles que (SALVADORI, 1990):

- \* amam as edificações e querem saber porque se mantêm em pé;
- \* sonham em projetar edificações e querem que se mantenham em pé;
- \* tendo projetado edificações querem saber porque têm se mantido em pé.

## **2. 4. Centros de Ensino e Escolas de Arquitetura**

### **2. 4. 1. Histórico**

As primeiras escolas de engenharia e arquitetura, no Brasil, foram oriundas de escolas militares e suas raízes estão na Escola de Sagres, em Portugal, criada em 1419, pelo Infante Don Henrique.

Nessa época, na Europa, a profissão de arquiteto e engenheiro não existia. Eram chamados de mestres aqueles que se dedicavam a essas profissões, sendo que a produção de materiais para a construção e o emprego da mão-de-obra eram feitos de maneira artesanal e bastante rudimentar.

Os poucos conhecimentos técnicos, até então existentes sobre arquitetura e engenharia, eram adquiridos em escolas, não só em Portugal, mas também na Inglaterra, Itália, Espanha, França e Alemanha, que formavam uma espécie de artesão, especializado nas lides da construção civil.

No Brasil, criou-se em 1699, a Aula de Fortificações do Rio de Janeiro, com tendência totalmente militar, dando ênfase entretanto, ao desenho. O objetivo era deixar arquivados os projetos das fortificações de maneira que pudessem ser aproveitados para construções em outros lugares. Mais tarde transformou-se em Aula Militar do Regimento de Artilharia e em 1792, influenciada pela criação da Academia Real de Fortificação, Artilharia e Desenho de Lisboa, que passou a dedicar-se também aos ensinamentos de arquitetura e engenharia, transformou-se em Real Academia de Artilharia, Fortificações e Desenho, onde iniciou-se o estudo oficial da arquitetura.

Em 1810, foi criada no Rio de Janeiro, a Academia Real Militar pelo Conde Linhares em que as disciplinas como desenho, geometria, geometria descritiva e matérias ligadas à arquitetura, sofreram significativo incremento.



Em 1816, chega ao Rio a famosa Missão Artística Francesa, integrada pelos célebres Taunay, Debret e Grandjean de Montigny, que influenciou grandemente para a fundação da Escola Real das Ciências, Artes e Ofícios, com tendência ao ensino da arquitetura.

Em 1822, por influência da emergente revolução industrial que provocou um avanço tecnológico em todo mundo, começaram a surgir no Brasil, os primeiros movimentos para a exigência dos projetos arquitetônicos para as edificações e, em 1826, Don Pedro I inaugura a Academia de Belas Artes que mais tarde, passou a chamar-se Academia Imperial de Belas Artes dedicada à cultura e às artes plásticas (BENEVOLO, 1976).

No início do período republicano, os alunos egressos dessa academia tiveram a oportunidade de complementar seus estudos em Paris, especializando-se em arquitetura. A divulgação destes novos conhecimentos na época, trazidos ao Brasil, tiveram influência fundamental para que a Escola Nacional de Belas Artes do Rio de Janeiro, sucessora da Academia Imperial de Belas Artes, passasse a ter um curso específico de arquitetura, mesclando arte com técnica.

A Escola Politécnica do Rio de Janeiro, durante o período imperial, continuava mantendo em seu curso, as disciplinas de arquitetura e desenho, herdadas das antigas Escola Militar, Escola Central e Politécnica do Império, não representando ainda as metas necessárias à formação do profissional arquiteto.

Esta escola mantinha o curso de Belas Artes sem apresentar disciplinas de cunho técnico suficientes à formação do arquiteto e, ao mesmo tempo, um curso de engenharia, extremamente técnico, também sem muito significado para a sua formação, onde o necessário, seria um curso intermediário e que contemplasse as duas atividades, isto é, belas artes e tecnologia.

Esta situação estava se tornando insuportável e bastante questionada pelo Instituto Politécnico, entidade formada pelos notáveis da época, que pedia ao governo medidas destinadas à melhoria da instrução científica e prática do país e que a Escola Politécnica desse maior ênfase ao desenvolvimento da parte artística do curso de arquitetura, de modo a possibilitar a criação, nesse estabelecimento, de um título especial de arquiteto, independente do engenheiro civil e conservando-se na Academia de Belas Artes o curso existente para formação de artistas plásticos.

A partir do término da segunda guerra mundial, em 1945, as escolas de arquitetura começaram a ter vida própria, influenciadas pela regulamentação da profissão de engenheiro e arquiteto firmada já no ano de 1933.

No Rio de Janeiro foi criada, em 1946, a Faculdade Nacional de Arquitetura em razão da separação do curso de arquitetura da Escola Nacional de Belas Artes e, em 1947, a Escola Politécnica de São Paulo deu início a um curso especial de arquitetura, paralelamente aos demais cursos de engenharia existentes. Mais tarde foi imitada, e com bastante sucesso, pela Escola de Engenharia Mackenzie, oriunda do Mackenzie College. Em seguida, a Universidade de São Paulo cria a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, desmembrada da Escola Politécnica (VASCONCELOS, 1991).

Entretanto, a regulamentação da profissão, não foi favorável, na época, aos arquitetos e ao ensino de arquitetura. Assegurava aos engenheiros e arquitetos o direito exclusivo à construção de edifícios, que até então poderia ser feito por qualquer pessoa sem habilitação, desprezando, no entanto, o projeto arquitetônico.

A respeito disso, comenta Vilanova Artigas: “Os arquitetos e o ensino de arquitetura saíram bastante prejudicados. Não foi compreendido o papel que os arquitetos teriam que desempenhar nesse período histórico”. Na verdade, prevaleceu o conceito de que o tipo de formação, na antiga Academia de Belas Artes, tinha sido criado especialmente para os arquitetos, uma espécie de técnico menor, um desenhador, ignorante das exigências da lei da gravidade e do comportamento das estruturas.

O desenho sempre foi considerado, de forma a subestimá-lo, como recurso de “pesquisa paciente” do real e da modificação e projeção do real. Frente as “ciências exatas”, a engenharia manejava a seu modo e o desenho era considerado linguagem menor, destinada a exprimir o supérfluo.

Na década de setenta, a política governamental de aumento de vagas nas universidades propiciou o surgimento de uma infinidade de escolas de arquitetura. O estado de São Paulo, que até então possuía apenas duas escolas de arquitetura, uma pública e outra particular, passou, em pouco tempo, a contar com mais seis, todas de iniciativa privada.

Pode-se perceber que as escolas de arquitetura possuem origens bem antagônicas, pois são oriundas de escolas extremamente técnicas - as Politécnicas - ou de escolas de artes plásticas - Belas Artes.

Estas origens, conflitantes quanto ao currículo e não muito coerentes com o real papel profissional do arquiteto, têm deixado profundas marcas. O arquiteto é considerado um artista sonhador ou meio técnico, um desenhador e que desconhece as leis físicas que regem a estática das construções. Este preconceito é absorvido, muitas vezes, pelos próprios arquitetos, mantendo a tradição de perpetuar o desinteresse por tudo aquilo que é estritamente técnico.

Cabe salientar, que esta forma de pensar entre os arquitetos é, no âmbito das escolas, repassada aos estudantes, provocando o desinteresse pelas disciplinas técnicas. Isto exige, por parte dos professores, uma nova postura de modo a modificar a situação atual de um ensino meio técnico e meio artístico.

Esta situação porém, não atinge o objetivo principal que é a formação do arquiteto que além do planejamento arquitetônico e do urbanismo, deve ter consciência das suas interfaces técnicas (VASCONCELOS, 1991).

#### **2. 4. 2. Situação Atual**

Para desmistificar de uma vez por todas os preconceitos que envolvem as relações entre arte e a técnica na arquitetura, divórcio este já bastante antigo, pois tem suas origens no Renascimento, época em que as áreas do conhecimento e das atividades sofreram profundas inovações, a arquitetura não conseguiu superar as velhas formas e técnicas até então conhecidas. Limitou-se de certo modo, a apresentar variações em torno das composições arquitetônicas greco-romanas e mesmo as bizantinas. A necessidade de novas edificações eram então atendidas pelas adaptações dos projetos de edifícios mais antigos, onde os castelos conduziam aos palácios e as basílicas e templos às igrejas.

A inexistência de novos e complexos problemas técnico-construtivos fez com que o *arquiteto-mestre-de-obras* fosse gradativamente substituído pelo pintor e escultor nas tarefas de concepção e projeto dos espaços arquitetônicos, destacando-se os grandes mestres como Michelangelo e Bramante entre dezenas de outros.

Esta mudança deslocou o arquiteto de seu “habitat” natural - o canteiro de obras - onde sempre estivera, para o *ateliê do artista plástico*. O arquiteto, o mestre-de-obras, o artesão, o operário, como era visto pela sociedade, assume a posição de artista e muitas vezes, a condição de homem da corte, o arquiteto do príncipe, passando a constituir o sonho dourado dos idealizadores da morada humana.

O divórcio existente entre o projeto e a construção cria severas conseqüências para a arquitetura, tornando o desenho menos projeto e fazendo com que a arquitetura passe a ser mais pensada e avaliada como arte plástica, modificando com isto, seus valores específicos.

O saber fazer arquitetura vai dando lugar, na formação do arquiteto, ao saber desenhar e discursar sobre arquitetura, distanciando cada vez mais a teoria da prática, isto é, o projeto arquitetônico, o planejamento da edificação, como proposta teórica e a construção como a realização prática da obra.

Esta separação entre a escola e o canteiro de obras não constitui privilégio da arquitetura, aparecendo com idênticos resultados na formação dos engenheiros civis que até hoje estão atrelados aos rituais, normas e tradições estabelecidas a quase duzentos anos pela Escola Politécnica.

Como o arquiteto, o engenheiro civil recebe seu diploma e é considerado apto para exercer seu ofício de construtor, tendo apenas uma vaga idéia do que venha a ser de fato uma construção.

Assim como o arquiteto, o engenheiro civil não aprende na escola, a fazer fazendo e a construir construindo. Por causa disto, a situação do engenheiro ao sair da escola é ainda mais grave do que a do arquiteto que tem um único objetivo, o projeto, seu entorno e o gerenciamento, ao passo que o engenheiro civil tem que preocupar-se com diversos tipos de construção como as pontes, túneis, portos, estradas e a própria habitação, necessitando assim, ter o conhecimento dos diversos tipos de canteiros de obras.

## **2. 5. O Arquiteto e o Engenheiro Contemporâneos**

No passado, a figura do arquiteto tinha perfis singulares: era artista e tecnólogo, projetista e construtor. Michelangelo foi de tudo, pintor, escultor, arquiteto e um construtor genial. A catedral de São Pedro conserva sua importância nestes quatro campos de atividades.

Nestes últimos cinquenta anos, a especialização do conhecimento tem assentado suas raízes no campo da arquitetura. Hoje diversos profissionais exercem as mesmas atividades, outrora reunidas em uma só pessoa. Atualmente, dois profissionais são necessários para a execução de obras consideradas importantes: o arquiteto e o engenheiro civil.

### **2. 5. 1. Atribuições Profissionais**

Ao arquiteto, conforme a legislação vigente, compete o planejamento, o projeto e direção técnica de obras e serviços de arquitetura e urbanismo, tanto nos ateliês ou oficinas como nos canteiros de obra e ainda, a execução ou supervisão dos projetos complementares.

Não existem portanto, limites às atribuições do arquiteto como modificador do espaço, bastando tão somente o bom senso para que não agrida a natureza e a criatividade a fim de integrar o espaço construído ao meio ambiente.

Tudo isto é possível através do conhecimento da história, da sociologia, de urbanismo, de planejamento projetual e da tecnologia, que é adquirido nas escolas de arquitetura e aprimorado, durante sua vida, pela experiência profissional.

O Engenheiro Civil é o profissional que atua na realização de empreendimentos de infra-estrutura da sociedade, onde planeja, assessora, projeta e executa grandes estruturas; edificações comerciais, industriais e públicas; estradas e ferrovias; vias públicas; aeroportos; portos; sistemas de transporte, abastecimento de água; saneamento urbano; drenagens e irrigações; barragens; obras civis e militares.

No Brasil não existem, de acordo com a legislação vigente, diferenças representativas entre as atribuições desses dois profissionais no que diz respeito às edificações arquitetônicas, podendo tanto projetar como construir.

### **2.5.2. O Arquiteto e as Estruturas**

De acordo com SILVA, (1983), a definição volumétrica da edificação e sua própria concepção plástica, não podem estar dissociadas da concepção construtivo/estrutural, pois tem repercussão, inclusive, no aspecto econômico da questão, representando um investimento de consideráveis montas.

Portanto, a fim de cumprir as atribuições profissionais que lhes são pertinentes e até mesmo para o sucesso de sua vida profissional, o arquiteto necessita de um relativo domínio da essência do conhecimento estrutural. A diversidade das formas geométricas que podem apresentar as estruturas faz com que, mesmo os especialistas mais experientes em análise estrutural, sintam dificuldades em analisá-las e equacioná-las matematicamente, fazendo com que a tecnologia estrutural necessite de especialistas para cada um de seus tipos.

Não é possível estabelecer parâmetros que delimitem o assunto pois dependem de interesses específicos com relação a determinados temas. Cabe exclusivamente ao próprio profissional optar, devendo formar um repertório representativo a respeito.

As escolas de arquitetura não têm se preocupado muito com o conhecimento estrutural de seus alunos pois partem do princípio que para aprender a tocar determinado instrumento musical não é necessário saber como fabricá-lo. Esta premissa é duplamente interessante. Primeiro, porque o especialista não cria as estruturas, simplesmente as analisa e, segundo, o arquiteto não precisa assumir sozinho a paternidade do sistema estrutural empregado, podendo compartilhar com o especialista que sempre pode contribuir, não só para melhorar a forma geométrica da estrutura, mas para dar-lhe a necessária segurança.

O planejamento arquitetônico, atualmente, é um trabalho conjunto, isto é, de uma equipe. Cabe ao arquiteto o gerenciamento das tarefas, promovendo o entrosamento entre os membros da equipe o que resultará, efetivamente, na melhoria da qualidade dos produtos e serviços.

### 2. 5. 3. Conhecimento, Formação Profissional e Integração Multifuncional

Inicialmente destaca-se que para construir é necessário um conhecimento técnico específico, isto é, na arquitetura e na engenharia, *o saber como*, é a questão primordial. Com isso, necessita-se definir os conceitos empregados na tentativa de torná-los mais claros e mais acessíveis.

Os conhecimentos do ser humano são adquiridos através do estudo ou da pesquisa ou pela experiência. Este saber pode ser empírico, científico, filosófico ou teológico.

O conhecimento empírico, também chamado de popular, emprega métodos e processos intuitivos, normalmente transferidos por usos, hábitos e experiências regionais, exteriorizando não apenas a precariedade dos recursos, mas também os costumes. É ametódico e assistemático.

O conhecimento científico vai mais além, procurando conhecer não só o fenômeno mas suas causas e efeitos e as leis naturais a que está subordinado. A tecnologia procura, pela ciência, as peculiaridades relativas às artes e aos ofícios.

O conhecimento filosófico caracteriza-se pela busca incessante da realidade através de instrumentos capazes de materializá-la - o pensamento e a consciência - sendo o homem, pelo seu relacionamento social e com o espaço que o cerca, o tema central. Procura investigar, pelo amor ao saber, as causas e efeitos dos fenômenos que cercam a humanidade.

O conhecimento teológico é aquele voltado a Deus e as coisas que, de qualquer modo, relacionam-se com Ele. Pode ser *dogmático* que é o conjunto de verdades reveladas; *moral* que é o conjunto dos deveres a serem cumpridos para se conseguir a vida eterna; *ascético e místico* que é o conjunto de conselhos ou leis para que o homem consiga atingir a perfeição e expõe os caminhos por onde Deus conduz as almas à mais elevada santidade, o paraíso (HOLGATE, 1986).

No contexto profissional de que trata este trabalho, o conhecimento tecnológico deve ser entendido como sendo todo o saber empírico ou científico, acumulado sobre determinado assunto. Assim, tecnologia da edificação é a ciência que estuda as técnicas de análise de projeto, de execução e de avaliação, relativas à construção.

### 2. 5. 4. Conhecimento Estrutural

O entendimento de estrutura visto por um músico, um economista, um engenheiro ou um arquiteto podem ser completamente diferentes, mas apresentam, conceitualmente, o mesmo princípio. Das respostas tira-se, em comum, a idéia de que estrutura é um conjunto de elementos, de alguma forma interligados, cumprindo um determinado objetivo.

A partir da constatação de que o conceito de estrutura é bastante amplo e que vale para todas as áreas de conhecimento, pode-se defini-la da seguinte maneira:

“Estrutura é um conjunto de elementos convenientemente interligados, de forma a desempenharem uma determinada função”.

Portanto, as estruturas são as partes de um todo. Uma estrutura musical é um conjunto de elementos - notas musicais - convenientemente interrelacionadas - compasso - de forma que desempenhem uma função: emitir um som, agradável ou não.

Estrutura econômica é um conjunto de elementos - mercadorias, bens ou pessoas - convenientemente interrelacionados - compra e venda e o relacionamento social e político - de maneira a desempenhar uma função: convivência social e política, benefício social ou geração de bens, permanentes e de consumo.

Estrutura das edificações é portanto, um conjunto de elementos - lajes, vigas, pilares e fundações - convenientemente interligados - vínculos - de forma que desempenhem uma função - assegurar a definição de um espaço para o convívio social e que permita a segurança e o bem estar do homem.

A estrutura não é algo restrito às edificações. Tem muito a ver com a natureza, pois é através dela que o homem busca as informações necessárias para conhecer seu funcionamento. Desde o princípio o homem tem procurado imitar a natureza, não só pela beleza das formas geométricas que apresentam, mas pelas leis físicas que as regem, procurando compreendê-las, interpretá-las e quantificá-las.

O estudo das estruturas através da observação das formas existentes na natureza, como os crustáceos, com formas que possibilitam a distribuição das tensões e resistência às cargas excessivamente grandes em relação ao seu tamanho, os insetos tais como os besouros com suas carapaças aerodinâmicas e de elevada resistência, os cristais com formas das mais diversas, os protozoários com suas estruturas deslumbrantes e a beleza estrutural dos vegetais, proporcionam um conjunto de informações científicas e tecnológicas que possibilitam a criação de novas e belas estruturas.

A escolha do método e dos meios de como o conhecimento estrutural possa ser efetivamente compreendido, depende das características de cada um e de sua formação, levando-se em consideração a natureza predominantemente gráfica do arquiteto, a essência físico-mecânica do objeto considerado e a orientação de todos os esforços arquitetônicos para a forma e o espaço. Atentos a estas circunstâncias, surgiu a necessidade de apresentar-se os rudimentos do mecanismo funcional dos sistemas estruturais através de desenhos e modelos utilizando-se o mínimo de textos.

Portanto, torna-se evidente que um sistema estrutural é melhor compreendido por meios gráficos ou por modelos reduzidos onde a os esforços e as deformações ocorridas são perfeitamente visualizados (SEKLER, 1980).

#### **2. 5. 4. 1. Evolução das Edificações**

De acordo com GRAEFF, (1995), na antigüidade, principalmente nas edificações egípcias, gregas e romanas, viam-se as primeiras manifestações da racionalização das construções, com o emprego da coordenação modular na elaboração dos projetos e na construção de grandes obras. A evolução mais importante neste período foi o aparecimento dos arcos de pedra e posteriormente de alvenaria.

Esta técnica, empregada de modo excepcional durante o Império Romano, permitia a execução de maiores vãos, pois os arcos desenvolvem, praticamente, só esforços de compressão.

Findo esse período, com as invasões bárbaras na Europa, que era o mundo até então conhecido, perderam-se quase que completamente os registros científicos dessa época, permanecendo o conhecimento humano, durante séculos, estagnado, sem o surgimento de idéias que viessem a contribuir, substancialmente, para o desenvolvimento técnico e cultural, perdurando até a Idade Média. Os arcos romanos, executados em alvenaria argamassada, para a formação de domos, cúpulas ou mesmo de lajes de piso sobre abóbadas, foi uma técnica muito difundida até meados do século XIX. Datam ainda deste período, teorias tentando explicar experiências com cabos, barras e vigas.

Com o aparecimento dos grandes mestres da Idade Média e do Renascimento, como Leonardo Da Vinci, (1452-1519), e mais tarde Galileu Galilei, (1564-1642), foram retomadas as antigas preocupações com a racionalização da construção e iniciados estudos, ainda que rudimentares, sobre a mecânica dos corpos sólidos. O livro de Galileu, “Duas Novas Ciências” apresentou uma discussão sobre as propriedades e a resistência dos materiais.

Posteriormente, matemáticos e físicos como Bernouilli, (1654-1705), Robert Hooke, (1635-1703), Isaac Newton, (1642-1727), Leonhard Euler, (1707-1783), e Joseph Lagrange, (1736-1813), desenvolveram o estudo da mecânica, através da Royal Society, em Londres, presidida por Newton.

A invenção da locomotiva, em 1769, desenvolvida a partir da máquina a vapor, inventada por James Watt, (1736-1819), deu início à revolução industrial com todas as implicações conhecidas.



Com o surgimento das ferrovias e a necessidade de execução de pontes, túneis e viadutos, incrementa-se o estudo da mecânica voltada ao campo construtivo. Nesta época destacam-se os eminentes engenheiros: Navier, (1785), Culmann, (1821), Cremona, (1830), Maxwel, (1831), Ritter, (1847), Castigliano, (1847) e Muller-Breslau, (1851).

A partir de 1850 surgem os primeiros estudos dos pórticos, através de Maxwel, Castigliano e Mohr com a tentativa de dimensioná-los, mas é no início do século XX que realmente as análises estruturais, baseadas no deslocamento dos nós (vínculos entre elementos estruturais), tomam impulso e são apresentadas por Maney, nos Estados Unidos e por Ostenfeld, na Dinamarca.

Em 1932, o americano Hardy Cross introduziu o processo de obtenção de momentos e esforços cortantes em vigas contínuas por iteração e que, durante 35 anos foi o mais eficiente método de cálculo e possibilitando, em 1947, através de Livesley, nos Estados Unidos, a primeira tentativa de utilização do computador em trabalhos de análise estrutural.

Entretanto, foi no início dos anos 60 que surgiram as primeiras publicações a respeito da utilização de conceitos matriciais no cálculo e análise das estruturas por pesquisadores como Argyris, Turner, Clough, Martin e Topp, na Europa e nos Estados Unidos, proporcionando, em 1963, o surgimento do primeiro programa computacional para calcular elementos estruturais lineares, como as vigas, pórticos, treliças e grelhas, denominado STRESS (Structural Engineering System Solver), com a finalidade de obter os esforços nas estruturas e cuja entrada de dados era por intermédio de coordenadas. Eram fornecidos os dados referentes ao tipo estrutural: treliças planas ou espaciais, pórticos planos ou espaciais ou grelhas, sendo o número de nós, barras, apoios e tipos de carregamento extraídos do projeto.

Assim começou-se a repensar toda teoria que envolvia a engenharia estrutural, na tentativa de simplificar os cálculos, tornando-os práticos, rápidos e objetivos, adequando-os aos computadores e com isso, minimizando os possíveis erros. Criam-se então, novos métodos de análise das estruturas como o Matricial e o dos Elementos Finitos, que vieram a contribuir para o desenvolvimento da análise estrutural.

Atualmente, com o acesso aos computadores, tudo se torna passado, sendo que as dificuldades não estão mais nos equipamentos e sim, no conhecimento que o usuário tenha sobre o assunto, para que possa tirar o máximo proveito desta evolução.

Os atuais programas de cálculo de estruturas fazem uma análise global do sistema utilizado, verificando todas as possíveis variáveis que atuam no processo, suas implicações na estrutura e procurando sua otimização (KUHN, 1982).

#### **2. 5. 4. 2. Da Régua de Cálculo ao Computador**

O aparecimento dos primeiros recursos capazes de acelerar e facilitar as operações matemáticas fundamentais ocorreu nos anos 100 a. C.; inicialmente com o Ábaco na civilização ocidental e o Soroban, utilizado no oriente, processando as operações pelo sistema decimal.

Somente em 1614, com o advento dos logaritmos, criado pelo monge escocês John Nepper, (1550-1617), foi possível ao inglês Oughtred, em 1622, inventar a régua de cálculo. Com isso, foram dados os primeiros passos para a invenção das máquinas de calcular que surgiram em 1645, inventadas pelo francês Blaise Pascal, (1623-1662), sendo que as utilizadas atualmente obedecem ainda aos mesmos princípios operacionais daquelas.

Por ocasião do senso norte-americano de 1890, o estatístico Hermann Hollerith, (1860-1929), notabilizou-se por ter criado um sistema computacional de cálculo, utilizando cartões perfurados, constituindo-se no precursor dos atuais computadores. Fundou a empresa Tabulating Machine, sendo hoje a IBM.

Com a segunda guerra mundial, houve a necessidade de tornar mais eficientes os aparatos militares, motivando o exército norte-americano a desenvolver um computador em conjunto com a universidade da Pensilvania. Em 1946 este equipamento efetuava 500 multiplicações por segundo e para tanto, utilizava 18.000 válvulas e não dispunha de memória. Eram os computadores de primeira geração. Com a invenção do transistor, em 1947, apareceram os computadores de segunda geração, com tamanho reduzido e aumento da potência e velocidade nas operações. Com a evolução da eletrônica surgiram os circuitos integrados, circuitos impressos e os chips, reduzindo ainda mais o tamanho dos equipamentos e aumentando a capacidade de memória.

As vantagens do computador são ilimitadas, atingindo todas as atividades humanas com economia de tempo e recursos e estabelecendo uma maior precisão em todas as operações, permitindo que a análise e o dimensionamento das estruturas se transformem em uma tarefa agradável, rápida e segura (MARCELLINO, 1988).

## **Capítulo 3**

### **ESTRUTURA DAS EDIFICAÇÕES**

#### **3. 1. A Educação Arquitetônica**

Com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, a arte de projetar tornou-se complexa, necessitando de uma pesquisa ampla e detalhada com aplicação de um vasto conhecimento científico que predomina sobre criatividade humana.

Nenhum indivíduo é capaz de avaliar, com precisão, as últimas descobertas tecnológicas da construção civil contemporânea ou de utilizar e integrar totalmente todos esses fatores que a investigação provou serem elementos de influência na existência do ser humano. Ao projetar edificações modernas e mesmo as cidades, o arquiteto depende e sempre estará sujeito a novas descobertas e argumentos dos especialistas nas diversas áreas da construção.

O progressivo desenvolvimento do conhecimento exige dos profissionais a restrição a apenas um único campo de atividades, ameaçando a existência de uma profissão que deve ser orientada para a universalidade do saber e não para o especial: o arquiteto. Esta situação abriga-o a tornar-se um especialista dentro de um grupo de especialistas e colaborador no desenvolvimento dos projetos no que diz respeito a forma/espço, tanto nos aspectos funcionais como estéticos da obra. Em construções complexas o arquiteto trabalha em equipe, exercendo a liderança, talvez mais por força contratual do que por qualificação.

Sabe-se entretanto, que todo processo de pensar não pode ser dividido por dois ou mais indivíduos - solidão essencial do homem - as idéias formam-se na mente de forma isolada e não podem ser apenas a coordenação de vários pensamentos, lutando cada um deles pela supremacia ou maior parcela. Assim, a mente individual é qualificada apenas para o julgamento crítico, desde que possua um sólido conhecimento dos setores analisados.

Os conhecimentos rudimentares poderiam ser úteis para evitar erros grosseiros na construção, mas ao mesmo tempo, relegar a um segundo plano o bem-estar do homem, que a pesquisa científica sobre a sua natureza e a da matéria, vem buscando constantemente. O necessário é o conhecimento que dê condições ao arquiteto de interpretar, com criatividade, os fatos científicos e conseguir extrair deles as idéias básicas para seu projeto.

Com isto, cria-se um dilema para o arquiteto contemporâneo: por um lado a extensão dos conhecimentos exigidos e por outro, a limitação da mente humana. Esta discrepância está nas raízes dos problemas correntes nas faculdades de arquitetura e que afetam profundamente a posição do arquiteto na sociedade científica atual. Este problema poderia ser resolvido? Quais os meios que deverão ser empregados?

A resposta para estas questões esbarra na multiplicidade de variáveis que envolvem a construção civil: estruturas, instalações, conforto, higiene, economia, sociologia ou psicologia. O ato de projetar não poderá desprezar nenhum destes conhecimentos sob pena de tornar a obra ineficiente e obsoleta, mesmo antes de concluída.

Em vista disso, as questões vitais para a profissão de arquiteto são:

- ✓ Definição do conteúdo e extensão do que o arquiteto deve saber sobre cada uma das tecnologias que envolvem a construção;
- ✓ Escolha dos métodos e dos meios com os quais o arquiteto possa melhor adquirir seus conhecimentos.

Esta decisão é fundamental, pois ela vai definir o sucesso ou o fracasso dos esforços para solidificar a influência do arquiteto com relação aos profissionais que estão envolvidos com a construção e identificar sua imagem profissional.

### **3. 2. A Estrutura e a Edificação**

De todos os componentes construtivos que contribuem para a existência da forma material rígida - casa, máquina, seres vegetais ou animados - a estrutura é o principal. Sem estrutura a forma não pode ser preservada e, sem esta, o organismo interno não pode funcionar. Sem estrutura não existe, portanto, organismo animado ou inanimado.

Nas edificações existem vários elementos que as constituem, não sendo entretanto, vitais para a sua manifestação. Podem existir sem pintura e sem eletricidade, porém, não podem existir sem estrutura. Ainda que uma estrutura não constitua, necessariamente, a arquitetura, esta pode tornar-se possível, tanto no que se refere ao primitivo abrigo quanto ao moderno arranha-céu.

Assim, o conhecimento das origens dos sistemas estruturais é essencial para o arquiteto contemporâneo. O construtor primitivo resolvia facilmente seus pequenos problemas estruturais com conhecimentos baseados na experiência e na tradição, ao passo que nos dias atuais, o arquiteto defronta-se com inúmeros problemas que o impossibilita, sem a ajuda de especialistas, de resolvê-los corretamente.

As maiores dificuldades encontradas pelos arquitetos são: atingir níveis de conhecimentos tais, que possibilitem a formulação de novas e criativas idéias sobre estruturas e propor sistemas estruturais compatíveis.



**Figura 3. 1 - Templo de Poseidon - Grécia**

Um marcante aperfeiçoamento tem sido elaborado através da análise das necessidades e das falhas do arquiteto com relação à engenharia estrutural. Esse aperfeiçoamento, contudo, baseado somente na observação de pequenos problemas, não resolverá o impasse do treinamento científico do arquiteto. Por isso, o papel do projeto estrutural não é, simplesmente, alterar ou desenvolver o antigo, mas é essencialmente novo. Assim:

1. Antigamente, o projeto estrutural era limitado a relativamente poucos sistemas padrões e a técnicas artesanais. Ambos eram limitados às possibilidades da forma e do vão e exerciam um controle saudável.

Atualmente, a tecnologia já removeu as barreiras naturais da impossibilidade estrutural. Quase toda forma pode ser executada e qualquer contradição estrutural pode ser construída para existir, apoiar e durar.

2. Antigamente, o conhecimento da forma estrutural correta era empírico e vago. Além disso, a técnica artesanal sempre convidava à modificação pessoal da forma convencional.

Atualmente, as teorias físicas e matemáticas determinam precisamente a forma e a expressão estruturais e permitem a variação individual apenas às custas da economia. As formas estruturais tornaram-se padrões absolutos e incontestáveis da arquitetura.

3. Antigamente, a falta de variedade de sistemas estruturais conhecidos ia além da livre execução das idéias do arquiteto. Era inevitável um lapso entre a estrutura e a forma e escassa a economia.

Atualmente, inúmeras formas estruturais bem ensaiadas permitem que qualquer espaço arquitetônico seja precisamente sincronizado com uma forma estrutural que realce o pensamento arquitetônico. A forma estrutural e o desenvolvimento espacial têm apenas pequena tolerância e podem mesmo alcançar a individualidade.

4. Antigamente, o sistema estrutural de um edifício desempenhava apenas um papel menor ou indireto na representação estética da arquitetura. Estruturas simples eram raramente empregadas como forma estética ou mesmo experimentadas como tal.

Atualmente, o homem deriva cada vez mais a sensação estética da pura compreensão intelectual de um sistema lógico e, conseqüentemente, experimenta a lógica da forma estrutural como fonte de sensação estética.

5. Antigamente, havia poucas construções de vulto e, em razão de sua importância social, o projeto estava rigidamente ligado às considerações de ordem econômica e a escolha de seu esquema estrutural não era limitado.

Atualmente, a humanidade necessita cada vez mais de edifícios com muitas unidades habitacionais fazendo com que o sistema estrutural seja de preeminente importância para o espaço e função e, conseqüentemente, um assunto de projeto arquitetônico primário.

Este novo significado de estrutura para o projeto e construção sugere um novo caminho e justifica a consideração de pontos básicos subordinados aos conceitos de “estrutura arquitetônica” e de “projeto estrutural”.

A análise do que é essencialmente a estrutura e o papel que desempenha na criação arquitetônica dará uma base sólida para uma sugestão do que o arquiteto deve saber sobre estruturas e o quanto deve conhecê-las (ENGEL, 1987).

### **3. 3. A Estrutura e seu Contexto**

As preocupações do homem não se restringem somente à sua segurança, mas também à sua comodidade e satisfação pessoal, harmonizando-se com o meio ambiente e proporcionando a elevação de sua vida física e espiritual. O meio em que vive não pertence somente a ele, incluem os seres visíveis e os invisíveis, os animados e inanimados.

O meio ambiente é, na realidade, o próprio ser humano que está em constante evolução e procurando, cada vez mais, o aperfeiçoamento do meio em que vive através do uso racional do solo, das edificações integradas ao meio, da educação e da pesquisa e da harmonia social. Esta harmonia depende de uma estrutura intelectual que é necessária para a coordenação de todos os seus atos. Na realidade, o homem planeja suas ações estruturando sua mente de forma a torná-la essencialmente técnica.

Assim, pode-se dizer que técnica é qualquer estrutura ambiental humanizada que produz e preserva as formas, não significando, entretanto, que uma estrutura técnica seja apenas uma simples materialização da edificação, mas sim uma estrutura intelectual aplicada.

A estrutura técnica é o que distingue a linguagem de um mero som e abre o caminho para a poesia e a música; é o que transforma a água e o vento em energia e a matéria em equipamentos ou edificações para o abrigo do ser humano e é também a estrutura que distingue o ser racional do irracional.

Portanto, a função que a estrutura desempenha na arquitetura e na engenharia está intimamente ligada à criação do espaço, sendo um instrumento para a integração deste espaço arquitetônico (HOWARD, 1981).

Pode-se dizer ainda, que existem construções projetadas por engenheiros que são exemplos típicos de uma boa arquitetura, mas a beleza e qualidade dessas edificações nada tem a haver com o sistema estrutural empregado e sim, porque obtiveram êxito ao criar o espaço arquitetônico.

Estes engenheiros-arquitetos salientam-se, não por seus conhecimentos de engenharia, mas sim por uma criatividade inata que os qualifica a lançarem suas idéias estruturais numa correta correlação com o projeto arquitetônico.

#### **3. 4. A Estrutura: Uma Necessidade Arquitetônica**

Sem estrutura não existe arquitetura. Esta necessidade, contudo, tem uma única causa e efeito: é a mudança de direção das forças (cargas), aplicadas aos diversos elementos estruturais. Pode-se dizer que existe um conflito de direções que deve ser resolvido de modo a gerar espaços para o viver e trabalhar.

Esses conflitos direcionais têm, contudo, algo em comum: estão todos sujeitos a um fenômeno que, se não existisse, tomariam supérfluos os sistemas estruturais existentes ou, pelo menos, exigiria sistemas estruturais totalmente diferentes de todos os atualmente conhecidos: o peso (SIEGEL, 1985).

A solução para esses conflitos reside no projeto estrutural, resolvendo-os, isto é, fazendo com que as forças mudem de direção de modo a proporcionar o espaço necessário à movimentação do ser humano.

A criatividade empregada para essa ordenação das forças, dando ainda um significado funcional e estético, constitui o atestado de qualidade da estrutura arquitetônica. O projeto estrutural constitui-se, portanto, de arte.

Através do projeto estrutural são analisadas as solicitações externas aos elementos constituintes da estrutura - laje, viga, pilar e fundação - provenientes das cargas aplicadas e as solicitações internas dos elementos estruturais (esforços: normal e cortante e momentos: fletor e torsor), que deverão ser mantidas sob controle e direcionando-as a pontos previamente escolhidos.

Deve-se mantê-las em estado de equilíbrio, num sistema de ação e reação interdependentes, proporcionando a estrutura como um todo, o grau de estabilidade necessário a sua integridade. Basicamente, consiste no controle mecânico das forças, mas na sua variedade, intensidade e universalidade, todos os requisitos necessários à sua execução também devem ser encarados como arte.

Assim, o projeto estrutural é estratégia, é o planejamento intelectual de um sistema dinâmico de como lutar com uma multiplicidade de forças. A maneira de combater essas forças - quão racional seja o entrosamento material, quão engenhoso seja o esquema e quão longe vão as conseqüências finais - distingue o planejador medíocre do genial (CONTINI, 1988).

### **3. 5. Conhecendo as Estruturas**

O projeto estrutural, na sua essência, é a elaboração de um sistema que muda a direção das forças conduzindo-as às fundações, preservando a estética com o máximo de eficiência e funcionalidade, aliada à economia. Os conhecimentos que os arquitetos necessitam sobre o assunto devem, principalmente, ater-se a:

- Mecanismo que induz as forças a mudarem de direção;
- Sistemas que possibilitem cobrir espaços e resistir às deformações impostas.

Estes objetivos, apesar de limitados, são considerados primordiais no vasto campo de conhecimentos que envolvem a engenharia das estruturas, necessitando ainda, de uma



organização espacial adequada às estruturas arquitetônicas. Estas formas estruturais podem ser, relacionadas, conforme ENGEL (1987), como:

1. Estruturas que atuam, principalmente, através de sua forma. São as estruturas de forma ativa ou sistemas estruturais que funcionam em estado de tração ou compressão simples. Os cabos, os arcos, as membranas as cúpulas e as abóbadas (cascas), estão incluídos nesse sistema;
2. Estruturas que atuam, principalmente, pela composição de elementos em estado de compressão e tração simples. São as estruturas de vetor ativo ou sistemas estruturais com tração e compressão concorrentes. Relacionam-se com as treliças;
3. Estruturas que atuam, principalmente, em função de sua massa e da continuidade das mesmas. São os sistemas estruturais de massa ativa ou sistemas estruturais em estado de flexão. Nesse caso incluem-se as vigas e os pórticos;
4. Estruturas que atuam, principalmente, pela continuidade de superfície. São os sistemas estruturais de superfície ativa ou em estado de tensão de membrana. Este sistema é formado pelas lajes ou placas que poderão ser planas ou inclinadas.
5. Estruturas que atuam, principalmente, por transmissão vertical de cargas através dos pilares. São os sistemas estruturais verticais. Os edifícios altos (arranha-céus), estão classificados nessa categoria.

Deve-se salientar, entretanto, que os arcos apresentam, essencialmente, resistência através das forças de forma ativa, mas necessitam também, de resistência de massa ativa para que sejam eficientes na absorção de cargas assimétricas. Nas estruturas de superfície ativa, podem ocorrer, não apenas forças de massa ativa combatendo as tensões de flexão, mas também forças de forma ativa fazendo com que as forças mantenham-se dentro de seu plano que é um requisito das estruturas de forma ativa.

Pela análise dessas cinco categorias em que são classificados os sistemas estruturais, o arquiteto tem possibilidades, sem o emprego de parâmetros quantitativos, ampliar seu leque de conhecimentos e excitar sua imaginação criadora.

## Capítulo 4

### ESTRUTURAS NATURAIS

Dizem que certa vez Buda fez um sermão sem dizer uma única palavra. Simplesmente mostrou uma flor para a multidão. Assim foi o seu famoso “Sermão da Flor”, um sermão na língua dos padrões, no silencioso idioma das flores. E sobre o que nos fala o padrão das flores?

Ao olhar-se atentamente uma flor, assim como qualquer outra criação da natureza ou ainda algo feito pelo homem, encontra-se uma unidade e uma ordem comum a todos. Essa ordem tanto pode ser percebida em algumas proporções que são repetitivas, como também na maneira do crescimento dinâmico de todas as coisas - naturais ou construídas - pela união dos opostos que se complementam.

A forma inerente às proporções e padrões dos fenômenos naturais, a forma manifestada nas mais perenes e harmoniosas obras do ser humano são a evidência do inter-relacionamento entre todas as coisas. É através dos limites dessa forma que se pode vislumbrar e partilhar a harmonia do Cosmos, tanto no mundo físico como em nossa forma de vida. Talvez a mensagem do “Sermão da Flor” mostre como os padrões vivos da flor espelham verdades relevantes para todas as formas de vida (DOCZI, 1990).

O homem, desde o início, sempre procurou junto à natureza, a solução de seus problemas, não só os habitacionais mas também todos aqueles que significavam seu bem estar. A princípio ele extraía da natureza tudo o que era necessário à sua sobrevivência e à construção de seu abrigo, de maneira predatória e sem perceber que poderia estar provocando um desequilíbrio natural.

Mais tarde procurou o significado das coisas naturais extraindo delas os ensinamentos que elas proporcionavam. Começou a observar os seres vivos, tanto animais como vegetais, com a intenção de verificar o porquê de suas formas geométricas e a capacidade que possuíam de resistir as forças que nelas atuavam.

Na natureza, a estrutura nada mais é do que o resultado das possibilidades construtivas dos materiais, associadas a uma forma e a determinadas funções. Há entre o material e a

estrutura, uma congruência e uma continuidade que não existem no campo da técnica, mas que o homem tenta substituir por um processo analítico.

O homem constrói as estruturas a partir de materiais específicos e, através de seu comportamento sugerem sua utilização. Um lento processo de erros e acertos permitiram estabelecer critérios e geometrias construtivas, mas a compreensão dos sistemas estruturais e o emprego correto e econômico dos materiais têm ainda que percorrer um longo caminho.

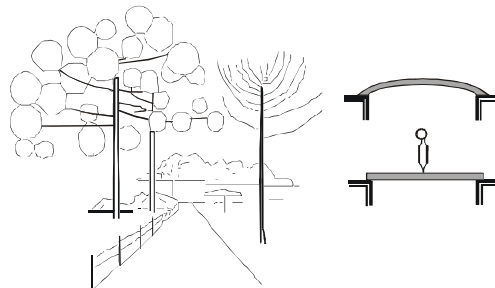
#### 4. 1. Estruturas Vegetais

As árvores foram as primeiras inspiradoras do ser humano. Sob seus galhos, ele poderia abrigar-se das intempéries e, sobre eles, defender-se dos animais predadores. Seus galhos, em balanço e engastados nos troncos podem, perfeitamente, resistir à cargas de considerável magnitude. Foram os troncos que deram origem às vigas e aos pilares.



Figura 4. 1 - Carvalho

Os galhos da Araucária Brasiliensis, o pinheiro, são exemplos de vigas. Sem carregamento, isto é, sem folhas ou frutos apresentam uma curvatura característica. Quando carregados assumem uma posição quase horizontal, adquirindo formas semelhantes às vigas com contra-flecha (figura 3. 2).



#### Figura 4. 2. - Pinheiro Brasileiro

Dos galhos do “chorão” (vime), talvez o surgimento dos sistemas de cabos.

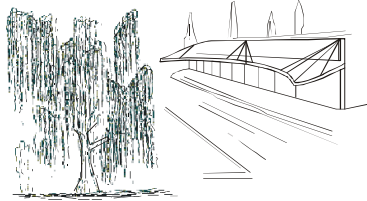


Figura 4. 3 – Chorão (Vime)

#### 4. 2. Estruturas Animais

Os animais foram os que mais intrigaram o ser humano. A fragilidade e ao mesmo tempo a resistência que apresentavam, levou o homem a pesquisar suas formas geométricas e as leis físicas a que estão subordinados.

A carapaça do ouriço do mar, apresentando uma disposição radial das placas calcárias, apresenta uma relativa resistência mecânica apesar da sua pequena espessura. A forma é o elemento essencial e característico da rigidez apresentada por esses moluscos.



Figura 4. 4 - Ouriço do Mar

As conchas marinhas, também de constituição calcária, relativamente frágeis, apresentam formas que possibilitam resistir a cargas consideráveis. Essas estruturas, resistentes pela própria forma, são suficientemente delgadas para não desenvolver tensões apreciáveis de flexão, mas também suficientemente espessas para resistir tensões de compressão.

A forma constituinte desses elementos, muitas vezes, permite em certas situações que resistam com segurança, além das tensões de compressão, também as tensões de tração e cisalhamento (Capítulo 8).



**Figura 4. 5 - Conchas**

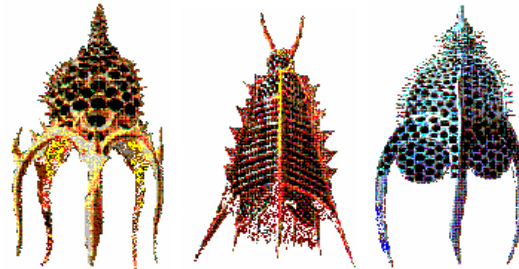
Essas estruturas também conhecidas como “casca delgadas” devem seu comportamento estrutural às suas características geométricas e, através da análise dessas formas, o homem desenvolveu o estudo das cúpulas e das abóbadas que se prestam, de maneira adequada, à execução em concreto armado e, principalmente, em argamassa armada. A tartaruga, com a forma arredondada de seu casco, apresentando grande resistência aos esforços de compressão é um exemplo típico (Capítulo 15). O que intriga realmente é a resistência apresentada pelos ovos. Com uma casca extremamente delgada apresentam, em sua direção longitudinal, uma rigidez que merece as mais altas considerações. Sua superfície não apresenta descontinuidades, possibilitando a fluidez dos esforços e não permitindo concentrações de tensões em setores particulares.

Os insetos, como os besouros, com suas carapaças perfeitamente aerodinâmicas, são capazes de desenvolver velocidades relativamente grandes, mesmo contra o vento, a despeito de seus tamanhos. Suas carapaças apresentam também rigidez suficiente para resistir ao ataque de seus predadores.



**Figura 4. 6 - Besouros**

Com o surgimento do microscópio, o homem pode observar formas até então desconhecidas. A beleza e ao mesmo tempo a complexidade que apresentam, intrigam e inebriam os mais cépticos. Os protozoários, seres de extrema beleza, com estruturas desenvolvidas para resistir as mais variadas pressões são, atualmente, objetos de análise e pesquisa com o intuito de adaptá-las às construções atuais.

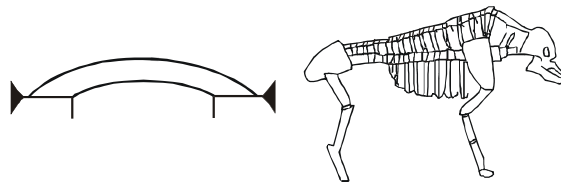


**Figura 4. 7 - Protozoários**

Entre os vertebrados, os esqueletos são como diagramas de tensões: refletem a distribuição das forças em seu corpo. Os ossos correspondem aos elementos sujeitos à compressão e, os músculos, os sujeitos à tração (Capítulo 8).

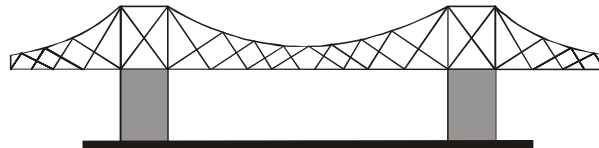
Os quadrúpedes constituem tipos notáveis de estrutura óssea, assemelhando-se às pontes. Sua característica principal é que são articulados e flexíveis, mantendo-se em equilíbrio apesar das modificações em sua curvatura. Ainda que a flexibilidade seja uma característica essencial da estrutura de um vertebrado, é a primeira coisa a ser evitada ao projetar-se uma ponte.

A coluna vertebral dos quadrúpedes têm a forma de arco, mas não se comporta como tal, já que está adaptado a receber um empuxo horizontal do mesmo tipo que as bases de um arco estão sujeitas.



**Figura 4. 8 - Forma dos Esqueletos dos Quadrúpedes**

O esqueleto dos quadrúpedes têm seu funcionamento análogo ao das pontes com balanços nas extremidades, onde os pilares correspondem aos membros anteriores e posteriores. A única diferença é que os balanços não são independentes, possuindo ligações entre eles.



#### Figura 4.9 - Ponte com Balanços

As partes superiores dos balanços da ponte estão sujeitas à tração, acontecendo o mesmo nos quadrúpedes. É constituída pela ação conjunta das ligações vertebrais e pelos músculos. Os esforços de compressão são suportados pela coluna vertebral. Esses dois sistemas (tração e compressão) estão interligados por uma estrutura reticulada formada pelas pontas das vértebras, pelos ligamentos e músculos oblíquos intervertebrais. Este reticulado absorve os esforços cortantes (Capítulo 8).

As partes mais altas da coluna vertebral dos quadrúpedes têm, por objetivo, elevar o sistema parabólico de tração em um ponto de máxima tensão de flexão. Para que essas pontas tenham uma inclinação, deve-se ao fato de assumirem a posição da diagonal do paralelogramo de forças a que são submetidas (BOMBARDELLI, 1982).

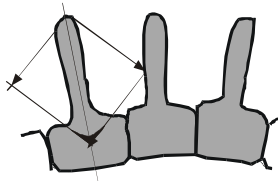


Figura 4.10 - Sistema Vertebral

Outra diferença encontrada no esqueleto dos quadrúpedes e das pontes com balanços, representado anteriormente, é que a coluna vertebral que representa o sistema em compressão, assume também uma forma parabólica. As tensões de flexão desenvolvidas (serão abordadas no capítulo 10), em uma ponte com balanços e em um quadrúpede são:

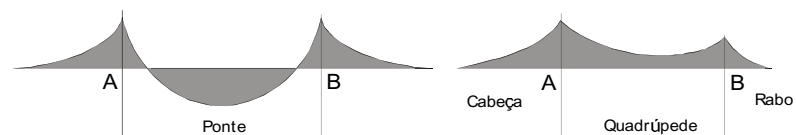


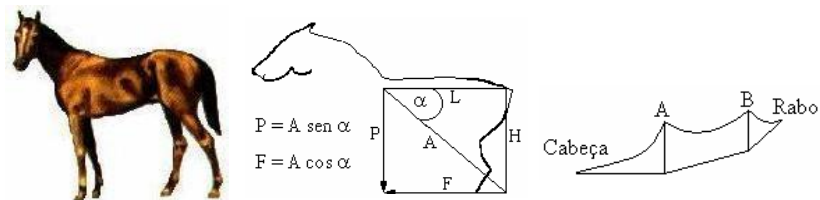
Figura 4.11 – Diagrama das Tensões de Flexão

Os pontos onde as tensões de flexão são maiores, (A e B), correspondem às posições dos pilares e das pernas. A única diferença é que as tensões de flexão nos quadrúpedes são totalmente negativas, não se anulam, isto é, não passam de valores positivos para negativos, mas somente diminuem em direção ao centro.

Pode-se também notar que ao sistema estrutural dos quadrúpedes incorpora-se uma outra espécie de ossatura parabólica constituída pela mesma coluna vertebral, em compressão, e um conjunto de músculos abdominais, em tração, também de forma parabólica. Esses sistemas estão interligados por um reticulado de costelas e músculos.

Por outro lado, cada quadrúpede constitui um caso particular já que a forma varia segundo a distribuição das cargas. O cavalo e o boi apresentam sistemas estruturais em balanço diferentes em tamanho e importância. Em ambos, a parte anterior do corpo é muito mais volumosa que a posterior e portanto, os membros anteriores suportam cargas maiores. A vantagem, nos cavalos, é que a distribuição das cargas é de origem dinâmica.

Considerando os membros posteriores como os agentes propulsores principais, a força de propulsão localiza-se na parte posterior do abdome. Sendo  $P$  o peso do animal e  $F$  a força de propulsão, tem-se:



**Figura 4.12 - Sistema Propulsor no Cavalo**

A condição de equilíbrio será dada com  $P/L = F/H$ . Sob ponto de vista da estática, a carga deve situar-se sobre os membros anteriores e, sob o ponto de vista dinâmico, mais a frente.

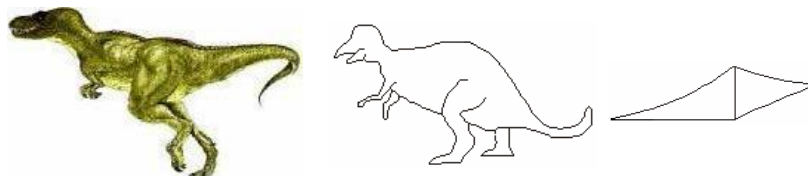
Os diagramas de tensões de flexão, tanto no cavalo como no boi, é assimétrico, pois a cabeça é mais pesada que o rabo. No caso dos dinossauros, que apresentam uma cabeça pequena e leve e um rabo pesado, o diagrama é oposto.





**Figura 4. 13 – Tensões de Flexão: Quadrúpedes e Bípedes**

Portanto, todo e qualquer sistema atuante na natureza é resultado de milhões de anos de evolução sustentada pelo princípio: mínimo emprego de material (economia), com a máxima resistência. Assim, o conhecimento dos princípios estruturais constituiria também uma ferramenta analítica que permitiria buscar, reconhecer e avaliar as soluções dos



problemas projetuais (THOMPSON, 1989).

## Capítulo 5

### CARGAS NAS ESTRUTURAS

Nos últimos anos, a evolução dos projetos estruturais dos edifícios, com o desenvolvimento de novos materiais, a aplicação de modernas técnicas de construção, o emprego dos computadores e a concepção de princípios avançados de projeto arquitetônico, servem de estímulo para uma nova era do projeto estrutural, e ainda, o interesse e a vontade dos arquitetos em exprimir a forma lógica e a beleza de uma estrutura bem proporcionada.

As estruturas das edificações têm a finalidade precípua de suportar cargas, além de seu peso próprio, todas as outras provenientes dos componentes construtivos da edificação, dos usuários, dos utensílios e as provenientes da ação do vento, transmitindo-as às fundações.

As cargas podem ser quantificadas para o dimensionamento correto da estrutura, mas somente as que atuam sobre as lajes, que variam com a quantidade de ocupantes, com a distribuição dos móveis, com o peso de máquinas ou o armazenamento de mercadorias, cujas quantificações tornam-se complexas, são normalizadas e representadas por uma carga *equivalente*.

Essas cargas são *convencionais*, pois, na prática, as que atuam sobre os pisos nunca são uniformes. Da mesma forma, a ação do vento é considerada constante e distribuída de maneira uniforme sobre toda a sua superfície. Na verdade, o vento sopra em rajadas e a carga transmitida varia de um ponto a outro do edifício. Também nesse caso as normas simplificam o procedimento de projeto, levando em conta as variações do vento de forma estatística e sugerindo cargas convencionais seguras.

As cargas que atuam sobre uma edificação e que não são consideradas em norma e apresentem características que podem por em perigo a vida, devem ser determinadas de forma experimental, em laboratório. O efeito dos furacões devem ser avaliados através de ensaios aerodinâmicos, realizados com modelos reduzidos em túnel de vento (SILVA, 1997).

A perspicácia e o bom senso dos profissionais que atuam no cálculo e dimensionamento das estruturas são fundamentais em tal situação. As vibrações provocadas pela proximidade à um aeroporto, as cargas adicionais durante a montagem de equipamentos industriais, cargas de neve em certas regiões do país, devem ser levadas em consideração.

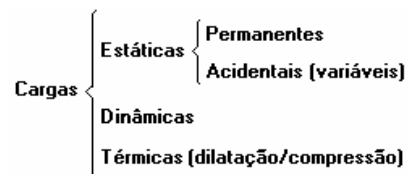
O comportamento de uma estrutura depende diretamente do material empregado, da sua forma e das suas dimensões. Sob esse contexto, a diferença fundamental entre o material e a estrutura resume-se no seguinte: uma estrutura é um arranjo particular de materiais que variam de um projeto a outro, isto é, variam com a forma.

Todo material tem características estruturais intrínsecas que definem suas propriedades, independentemente da forma que apresentem. Por isso, a resistência de uma estrutura e resistência de um material não devem ser confundidas.

A resistência de uma estrutura deve-se às cargas que provocarão seu colapso - carga de ruptura - e são distintas para as diversas formas estruturais. A resistência de um material é o esforço necessário para provocar seu rompimento e normalmente é constante para todo o elemento. Apesar das diferenças existentes entre material e estrutura, muitas das considerações sobre o comportamento dos materiais são também válidas para as estruturas.

Sabe-se que todo elemento estrutural encontra-se sob a ação de esforços externos, como por exemplo, os oriundos de seu peso próprio ou mesmo da atuação de cargas - esforços ativos - e as reações de apoio - esforços reativos - e manifestam-se na forma de forças concentradas, forças distribuídas ou momentos.

Assim, as cargas que atuam nas estruturas podem ser classificadas da seguinte forma:



**Figura 5. 1 - Classificação das Cargas**

### **5. 1. Cargas Estáticas**

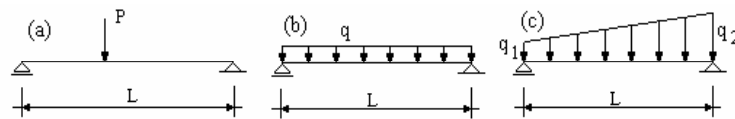
As cargas estáticas são as cargas que não apresentam movimentos consideráveis ou variações bruscas. Normalmente as cargas que atuam nas edificações são consideradas estáticas e, raras vezes, são utilizadas para efeito de dimensionamento das estruturas, outro tipo de carregamento. As cargas estáticas subdividem-se ainda, em permanentes e acidentais.

#### **5. 1. 1. Cargas Permanentes**

Cargas permanentes são as cargas que atuam constantemente durante a vida útil da edificação. São constituídas pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e as instalações permanentes.

A determinação dessa carga é em função das dimensões do elemento construtivo e do peso específico do material empregado na sua confecção.

As cargas permanentes podem ocorrer de três maneiras distintas: concentrada, distribuída ou a associação de ambas. É concentrada ( $P$ ), quando aplicada em um ponto do elemento estrutural (a), como uma viga apoiada em outra viga e, distribuída ( $q$ ), quando a carga é aplicada ao longo do elemento estrutural, como uma parede apoiada sobre uma viga. A carga distribuída pode ser: uniformemente distribuída (b), ou variavelmente distribuída (c).



**Figura 5.2 – Tipos de Cargas**

### 5.1.2. Cargas Acidentais

São todas aquelas que podem atuar sobre a estrutura da edificação em função do seu uso. São constituídas pelas pessoas, móveis, materiais diversos, equipamentos, etc. Essas cargas são normalizadas, pois a complexidade de sua determinação correta, implica a formulação de valores considerados equivalentes a esses tipos de carregamento.

A NBR 6120/80 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações - regulamenta os valores das cargas acidentais e os procedimentos que devem ser adotados, em todo país, para o cálculo e dimensionamento das lajes.

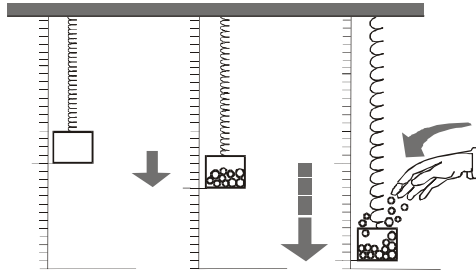
### 5.2. Cargas Dinâmicas

São as cargas que apresentam movimentos ou variações bruscas. Devido à alta periculosidade imposta por esse tipo de carga é necessário conhecer claramente suas formas de ação. Podem atuar de diversas maneiras: sob a forma de impacto, como um martetele industrial (prensa), pelo tráfico de veículos causando movimentos bruscos de arrancada e frenagem ou sob a forma de carga ressonante, pelas vibrações de uma máquina ou pela ação do vento.

#### 5.2.1. Impacto

Uma experiência significativa, mostrada na figura 4.3, onde no recipiente suspenso por uma mola são colocadas, vagarosamente, esferas metálicas, a mola sofre um alongamento que é registrado na escala de referência. Se as mesmas esferas forem colocadas de forma brusca no

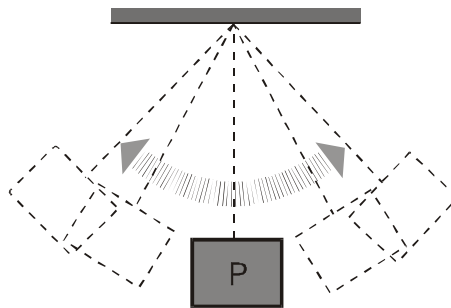
recipiente, o alongamento da mola é maior, indicando que uma carga dinâmica é mais efetiva que uma estática.



**Figura 5.3 - Carregamento Estático e Dinâmico**

O critério que permite determinar se uma carga é aplicada de forma lenta ou rápida é o período de oscilação da estrutura. Numa estrutura elástica, o material que a constitui tende a recuperar sua forma original, quando a carga é retirada, gerando assim, no material, uma oscilação cuja amplitude vai decrescendo e cessa quando a estrutura recupera sua forma original. Toda estrutura oscila e as características dessa oscilação dependem da forma, das dimensões e do material empregado.

O período de oscilação natural de uma estrutura é o espaço de tempo necessário para completar um ciclo que inicia na posição de repouso e volta a essa, passando pelas posições extremas do movimento.



**Figura 5.4 - Oscilação**

Se o tempo de aplicação de uma carga é superior a três períodos naturais de uma estrutura, então trata-se de uma carga estática e, se leva menos que um e meio período, a carga atua dinamicamente e tem como resultado uma deformação elástica maior do que a experimentada sob ação de carga estática. Quando o tempo de aplicação da carga é mais curto

que o período da estrutura tem-se uma carga de impacto, podendo causar efeitos destrutivos (BROECK, 1986).

### 5. 2. 2. Ressonância

Se uma força é aplicada de forma constante a um sólido e essa aplicação concorda com o período natural da estrutura, sua oscilação será gradativamente mais acentuada em cada nova aplicação dessa força, ainda que seja de pequena magnitude. Nesse caso a força encontra-se em *ressonância* com a estrutura.

As cargas ressonantes são perigosas às estruturas devido aos efeitos acumulativos. Um exemplo desse efeito é o que se obtém empurrando-se repetidas vezes um balanço e com ritmo constante e de acordo com o período natural da estrutura (Figura 5. 5).

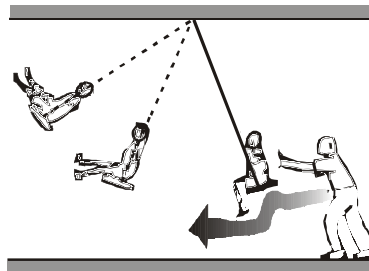


Figura 5. 5 - Ressonância

As diversas maneiras nas quais uma estrutura se deforma enquanto oscila, denomina-se *modo de vibração*. O primeiro desses modos, o modo fundamental, é o que ostenta um período mais longo. Colocando-se, por exemplo, um motor vibratório sobre uma viga, este proporciona-lhe uma força rítmica. O modo fundamental da viga pode ser excitado pela ressonância e colocado em evidência (Figura 5. 6).

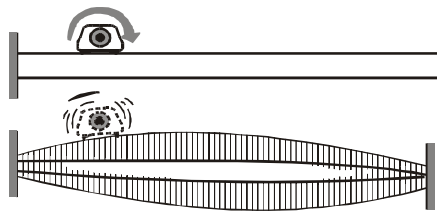
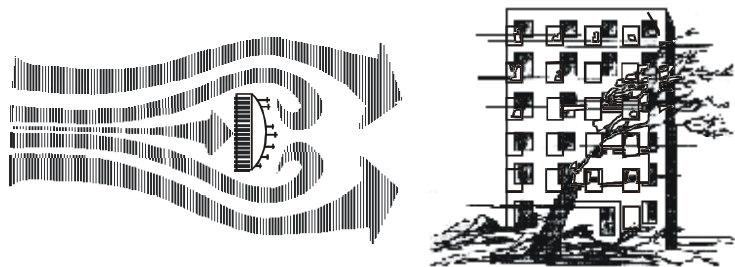


Figura 5. 6 - Vibrações em Viga

Para eliminar as vibrações da viga, basta aumentar ou diminuir a velocidade do motor de maneira a sair do intervalo de ressonância da viga. As vibrações então diminuem, pois a

aplicação da força passa a não concordar com o período de vibração da viga. Uma força não ressonante é, evidentemente, menos perigosa.

Da mesma maneira a ação do vento é considerada como uma carga de aplicação lenta, produzindo uma pressão estática nas faces expostas da edificação e uma sucção estática nas paredes opostas. Entretanto, um vento, ainda que de intensidade moderada, soprando em rajadas cujos períodos sejam próximos aos da estrutura, atuam como uma carga ressonante e podem produzir conseqüências catastróficas (SALVADORI,1987).



**Figura 5. 7 - Ação do Vento**

Isso pode ser verificado quando se segura, por uma das pontas, um pedaço de pano através da janela de um veículo em movimento. A tremulação que ocorre no tecido é totalmente irregular e chamada de oscilação aerodinâmica. Este fenômeno causou a queda da ponte pênsil de Tacoma, em Washington no ano de 1940, em poucas horas.



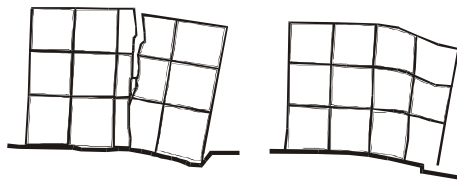
**Figura 5. 8 - Ponte de Tacoma, Washington**

### 5. 2. 3. Recalques

Outros efeitos também de grande repercussão sobre a edificação é o assentamento irregular das fundações. Um solo de resistência não uniforme pode ceder mais em uma parte do que em outra. A movimentação do solo reduz o apoio das fundações em certas áreas e parte do edifício situado sobre ela separa-se do restante por escorregamento ou recalque diferencial.

Este tipo de movimentação provoca, em algumas partes, tensões adicionais na estrutura, não previstas nos cálculos e que podem causar o colapso da toda a edificação.

As estruturas tem, em geral, suficiente poder de adaptação para aceitar recalques diferenciais de pequena monta, da ordem de 1 cm, sem necessidade de maiores verificações. Nas fundações profundas (estacas), podem ocorrer também recalques diferenciais, porém menores que nas fundações superficiais (sapatas).



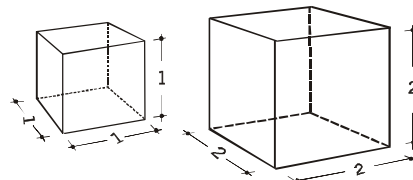
**Figura 5.9 - Recalques Diferenciais**

Todos os fenômenos dinâmicos são complexos. Ao projetista cabe a consciência de sua ação de modo que possa distingui-los e, ao mesmo tempo, substituí-los por cargas estáticas equivalentes e com a adoção dos respectivos coeficientes de segurança, sugeridas pelas normas, para que o dimensionamento da estrutura torne-a suficientemente estável.

#### 5.2.4. Efeito Escala

A força da gravidade é, provavelmente, a condicionante mais importante para as estruturas atuando sobre a massa dos corpos - maior massa, maior atração. Assim, não é correto afirmar que dois objetos semelhantes e com tamanhos diferentes e com as mesmas características, funcionam estruturalmente da mesma maneira. Ao se aumentar um objeto, as dimensões lineares, superficiais e volumétrica crescem em diferentes proporções.

Ao se comparar dois cubos, o primeiro com uma unidade de aresta e outro com duas unidades, tem-se as seguintes relações:



$$L_1 = 1 \quad S_1 = 1 \times 6 = 6 \quad V_1 = 1 \quad L_2 = 2 \quad S_2 = 4 \times 6 = 24 \quad V_2 = 8$$

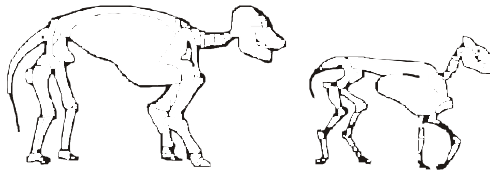
**Figura 5.10 - Cubos**



O volume do segundo cubo cresceu muito mais que a superfície e ainda mais que a aresta. Este diferencial tem uma grande importância para as estruturas já que o peso varia proporcionalmente ao volume e a resistência estrutural varia com a superfície.

A relação resistência/peso que equivale à relação superfície/volume é, para o cubo pequeno, igual a  $6/1$  e para o grande,  $24/8 = 3/1$  onde se conclui que o cubo pequeno é mais resistente.

Para que um objeto sujeito a crescer, mantenha constantes suas características estruturais, necessita sofrer uma mudança de forma que lhe permita aumentar seletivamente a superfície, equilibrando assim, o maior crescimento volumétrico. Isso explica porque dois mamíferos semelhantes mais de tamanhos diferentes têm formas distintas. O maior tem ossos mais longos e mais espessos que o outro, pois tem que suportar o peso de seu corpo. Em duas estruturas semelhantes, a maior é sempre a mais fraca. Este princípio é conhecido dos engenheiros, arquitetos e construtores de pontes e represas.



**Figura 5. 11 - Esqueleto**

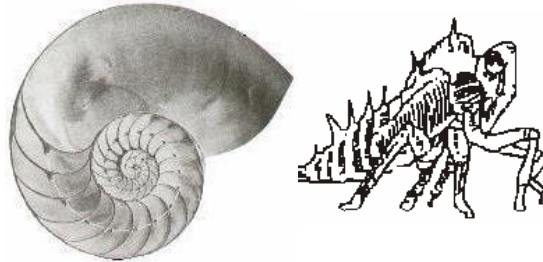
Assim, para se avaliar um projeto através de um modelo reduzido (maquete), o mesmo deverá ser submetido a cargas proporcionalmente maiores que as reais, garantindo que o protótipo funcione adequadamente. Os modelos de represas são colocados à prova com mercúrio em vez de água, simulando desta maneira as cargas a que a represa será submetida.

Essas considerações são mais importantes para objetos maiores, pois a ameaça não vem de fora, das cargas externas, mas sim de dentro, de seu próprio peso (HILSON, 1992).

A evolução das formas na natureza pode ser explicada pelo *efeito escala*, porque pelo menos em parte, a evolução das formas é também uma evolução de tamanhos. As primeiras formas de vida consistiam em amebas e outros organismos unicelulares cuja substância pouco se diferenciava do meio aquático em que viviam. Nesses organismos, a estrutura protetora consistia na membrana formada pela tensão superficial da substância orgânica. Nessa escala, a tensão superficial tem resistência suficiente para proporcionar a coesão do organismo.

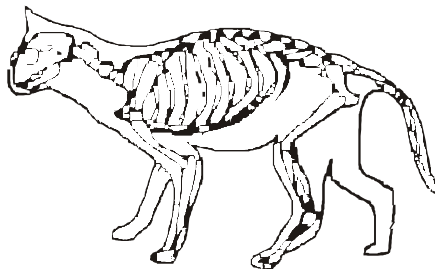
À medida em que foram aparecendo formas de vida com maiores dimensões, a membrana foi endurecendo e diferenciando-se e, a princípio, guardando uma analogia com a

tensão superficial em termos de elasticidade, como se pode constatar em muitos moluscos. Em seguida, o progressivo endurecimento gerou os exoesqueletos dos crustáceos, insetos e outros animais.



**Figura 5.12 - Estrutura Externa dos Crustáceos**

As estruturas externas funcionam até uma certa escala, pois sendo muito grandes impossibilitariam, devido ao peso, que os animais se locomovessem. Com a evolução das espécies, surge uma nova solução qualitativa que combina um endoesqueleto rígido e uma membrana externa em estado de tração. É o caso dos mamíferos. Desta maneira, reduz-se sensivelmente a quantidade de material rígido, diminuindo significativamente o peso do



animal.

**Figura 5.13 - Estrutura de um Quadrúpede**

A natureza tende a preferir os tecidos flexíveis, não só porque permitem amoldar-se às mais diversas formas, mas porque esses tecidos são tenazes, difíceis de romper-se, ao passo que os materiais rígidos, como os ossos, são geralmente frágeis.

A gravidade impõe um limite ao tamanho dos animais e, entre os terrestres, o elefante é o limite. Apesar de sua aparência imponente, o elefante é um animal frágil, muito mais que um gato que pode cair de alturas relativamente grandes sem sofrer danos. Com o elefante não acontece o mesmo, basta cair para fraturar um osso.

As grandes estruturas necessitam de artifícios de modo a reduzir seu peso próprio. Os antigos romanos colocavam jarros de cerâmica dentro de suas paredes para que isso acontecesse. No início deste século apareceram as grandes estruturas metálicas explicitando assim, a relação peso/resistência (GORDON, 1989).

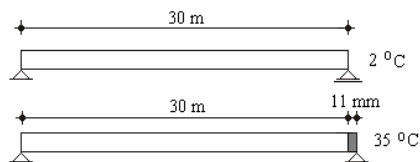


**Figura 5. 14 - Torre Eiffel (Paris)**

### 5. 3. Cargas Térmicas

As variações de temperatura podem causar, nos elementos estruturais, dilatações ou compressões, isto é, alongamentos ou encurtamentos (variação uniforme de temperatura), ou produzindo curvaturas nos elementos (variação diferencial de temperatura na direção transversal das peças). Os efeitos de dilatação/compressão contínuos em elementos de concreto armado podem causar danos, muitas vezes irreversíveis, como fissuras ou trincas esteticamente indesejáveis e nocivas à armadura, provocando sua oxidação.

As variações uniformes de temperatura dependem do local da obra e das dimensões dos elementos estruturais. De acordo com a NBR 6118/82, os efeitos da variação de temperatura podem ser dispensados dos cálculos quando os elementos estiverem totalmente enterrados ou mergulhados em água ou ainda, não possuírem dimensões, em planta,



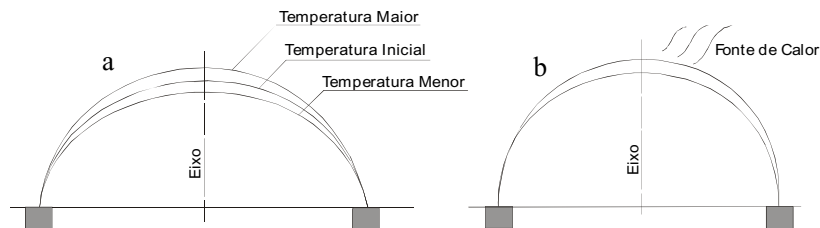
superiores a 30 m.

**Figura 5. 15 - Alongamento Devido à Variação de Temperatura em Viga de Concreto**

Outro fenômeno que deve ser levado em consideração diz respeito às vigas externas das edificações com incidência direta da radiação solar, enquanto que a parte interna permanece à sombra. Esse fato origina diferenças de temperatura entre as faces interna e externa da viga, da ordem de 15 °C a 30 °C provocando, não só uma curvatura na mesma, mas também seu alongamento.

Análoga condição de dilatação térmica, de conseqüências distintas, mas igualmente perigosas, encontra-se nas cúpulas. Com a variação da temperatura, a cúpula tende a dilatar ou contrair. Como seus apoios impedem os deslocamentos horizontais (empuxos), a cúpula desloca-se, fundamentalmente, para cima e para baixo (figura 5. 16a).

Durante o ciclo térmico diário, quando uma face aquece mais que uma outra, desenvolvem-se em toda cúpula cargas térmicas mais complexas. A cúpula muda de forma de maneira assimétrica e as tensões devidas a essa deformação podem ser elevadas e sua avaliação pode ser difícil (Figura 5. 16b).



**Figura 5. 16 - Movimentação Térmica em Cúpula**

Esses exemplos mostram que toda estrutura é sensível às variações térmicas. Dependem diretamente da sua forma, das condições de apoio e dos materiais empregados e, quando as variações regionais de temperatura forem pequenas, poderá ser rígida e, caso contrário, deverá ser flexível. Toda estrutura deve ceder às variações de temperatura e nunca combatê-las (SALVADORI, 1987).

## Capítulo 6

### MATERIAIS ESTRUTURAIS

#### 6. 1. Propriedades Essenciais

Todo e qualquer material empregado na construção civil: os blocos cerâmicos, as pedras, os tijolos, a madeira, o aço, o alumínio, o concreto armado ou protendido e os plásticos, entre outros, possuem em comum certas propriedades essenciais e características que permitem resistir às cargas (forças) a eles impostas.

O comportamento desses materiais é estabelecido pela relação existente entre as forças atuantes e as deformações resultantes. Normalmente esta relação é determinada nos estados de tração simples e compressão simples onde os materiais podem ser considerados como elásticos ou plásticos.

##### 6. 1. 1. Elasticidade

O material elástico é o que recobra sua forma original após cessar as causas que o deformam. A elasticidade, portanto, é a propriedade da matéria de não guardar deformações residuais.

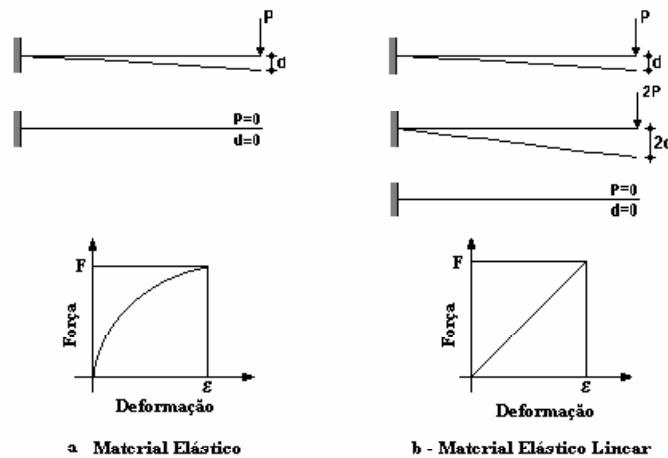


Figura 6. 1. - Comportamento Elástico

Normalmente, no regime elástico, todos os materiais mantêm a proporcionalidade entre a carga aplicada e a deformação, isto é, comportam-se de maneira linear.

### 6. 1. 2. Plasticidade

Material plástico é o que apresenta deformações residuais permanentes após cessar as causas que o deformam. Plasticidade, portanto, é a propriedade da matéria de guardar deformações residuais permanentes.

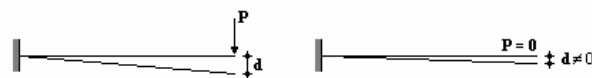


Figura 6. 2. - Comportamento Plástico

### 6. 2. Constantes dos Materiais

Analisando-se um material, por exemplo, dois elásticos com mesma seção transversal e comprimentos diferentes, submetidos a uma mesma força F, observa-se que as deformações (alongamentos  $\Delta L$ ) são diferentes, indicando, por isso, que a deformação  $\Delta L$  não é uma característica do material.

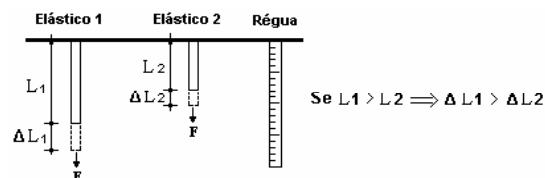


Figura 6. 3 - Deformação

Pode-se observar também que, dividindo-se as deformações  $\Delta L_1$  por  $L_1$  e  $\Delta L_2$  por  $L_2$  obtém-se valores iguais. Portanto, para um mesmo material, submetido a um mesmo carregamento F, a relação ( $\epsilon$ )  $\Delta L / L$  é constante e chamada de deformação unitária.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Quando se dobra a força F obtém-se um novo valor  $\epsilon'$  que é o mesmo para os dois elásticos, mas o dobro de  $\epsilon$ . Da mesma maneira, se a força F é triplicada tem-se um  $\epsilon''$  que é o triplo de  $\epsilon$ . Com isso, verifica-se que, no regime *elástico*, existe proporcionalidade entre a força aplicada e a deformação do material, podendo-se assim, estabelecer a seguinte lei para um mesmo material: “a relação entre a força que produz uma deformação e a relação  $\Delta L / L$  é constante (relação linear)”.

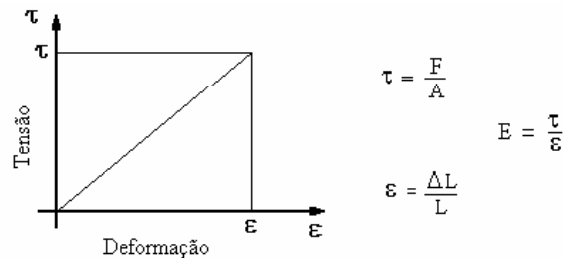
Com essa simples experiência pode-se chegar à conclusão que todo material, permanecendo na regime elástico apresenta, tanto na tração como na compressão, uma relação linear entre a força e a deformação (Figura 6. 1.b).

Considerando agora, o mesmo material (elástico), mas com seções transversais diferentes, isto é, mais finos e mais grossos, pode-se observar que para ter-se a mesma deformação  $\epsilon$ , para elásticos grossos, tem-se que aplicar forças maiores e para os finos, forças menores. Verifica-se assim, que as forças aplicadas são proporcionais às áreas das seções transversais das peças.

Outra relação importante é a razão existente entre a força (F) aplicada em um elemento e a área (A) da sua seção transversal, fornecendo a tensão ( $\tau$ ) no elemento, que pode ser de tração ou de compressão:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

No *regime elástico*, a relação entre a tensão ( $\tau$ ) e a deformação ( $\epsilon$ ) de um material, qualquer que seja a seção, é constante (relação linear) e conhecida como Lei de Hooke:



**Figura 6. 4 - Relação Tensão x Deformação em Material Elástico**

Esta mesma relação  $\tau/\epsilon$ , que é uma característica de todo material, chama-se Módulo de Elasticidade ou Módulo de Deformação Longitudinal e tem como símbolo E. Para o concreto será  $E_c$  e para o aço  $E_s$ .

O aço possui um Módulo de Elasticidade  $E_s = 210.000$  MPa ou seja: uma barra de aço com qualquer área de seção transversal e de qualquer comprimento e sendo submetida a qualquer força apresenta uma relação entre  $\tau/\epsilon$  de 210.000 MPa.

$$E_s = \frac{\tau}{\epsilon} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}} = 210.000 \text{ MPa}$$

O Módulo de Elasticidade (E) é portanto, a principal característica de um material com respeito à sua deformação - alongamento ou encurtamento - quando este está sendo tracionado ou comprimido. Define portanto, a deformabilidade de um material, isto é, quanto maior ele for, menor será a sua tendência a deformar-se e assim, conhecido o E de um material pode-se conhecer como ele reage às solicitações (TIMOSHENKO, 1982).

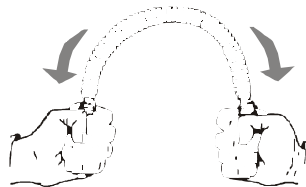
### 6.3. Energia de Deformação Elástica

A energia de deformação elástica é um tipo de energia definida como a capacidade de desenvolver um trabalho. Ao elevar-se um objeto a uma determinada altura executa-se um trabalho (W), sendo este então, definido como o produto da força (F) pelo deslocamento desenvolvido (d), isto é, a força necessária para se deslocar um corpo a uma certa distância.

$$W = F \cdot d$$

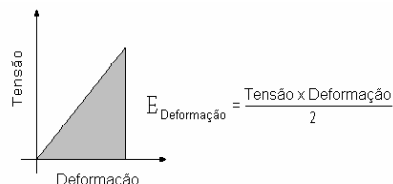
Uma mola é um acumulador de energia de deformação elástica que absorve e cede energia segundo as circunstâncias. Entretanto, as molas não são mais do que um caso particular do comportamento de todo sólido submetido a um carregamento.

Por outro lado, todo material elástico sob efeito de uma carga contém energia de deformação independentemente do tipo de esforço a que está submetido.



**Figura 6.5 - Energia das Molas**

Para todo material submetido a um carregamento e que obedeça à Lei de Hooke, a energia de deformação elástica inicia em zero quando a força é nula e cresce até chegar a um máximo que corresponde ao limite do regime elástico do material. A energia de deformação é dada pela área do triângulo definido no gráfico tensão/deformação.



**Figura 6.6 - Gráfico Tensão/Deformação**



A capacidade de um material de armazenar energia de deformação e de deformar-se elasticamente sob o efeito de uma força é chamado de *resilência*. A pouca rigidez e a alta deformabilidade de um material permite que o mesmo absorva energia e lhe confira resistência ao impacto.

A natureza, sob o ponto de vista da resiliência apresenta estruturas realmente notáveis. A teia de aranha é um exemplo típico, pois quando sujeita aos impactos dos insetos, muitas vezes bem maiores que a própria aranha, são absorvidos pela resiliência dos fios. Observou-se também, que os fios radiais que formam a parte principal da estrutura portante são três vezes mais resistentes que os fios curtos dispostos em círculos (BROECK, 1986).



**Figura 6.7 - Teia de Aranha**

#### **6.4. Coeficiente de Segurança**

As estruturas quando projetadas, os diversos elementos estruturais dimensionados, não são calculados com o emprego dos materiais em seu “limite máximo de capacidade resistente”, isto é, trabalha-se com os valores dos esforços aquém de seu limite elástico.

Assim, ao se utilizar os diversos materiais, principalmente o concreto e o aço, trabalha-se com uma série de fatores de incerteza que obrigam a impor um fator de segurança. Tais fatores são: materiais não homogêneos; dimensões das seções dos elementos estruturais diferentemente do projetado; incertezas nas propriedades elásticas e de resistência dos materiais; alterações no uso da edificação; não horizontalidade e não verticalidade dos elementos; incertezas nas solicitações e nas vinculações; modelo de cálculo inadequado.

Com todas essas variáveis que podem influenciar no mau desempenho de uma estrutura e podendo até causar o seu colapso, foi introduzido o chamado “coeficiente de segurança”. Esse fator de segurança, de grande importância para a preservação e garantia da

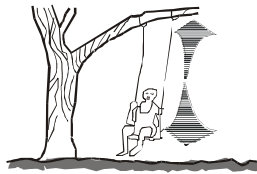
edificação, é, muitas vezes, difícil de ser exatamente determinado, mas é absolutamente necessário.

As normas técnicas brasileiras, precisamente a que diz respeito às estruturas, a NBR 6118/82 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado - orienta sobre a adoção de valores realmente confiáveis. A preservação da vida do ser humano leva a adoção de critérios mais conservadores com respeito à segurança.

Esses coeficientes adotados dizem respeito à *majoração das cargas* (ou solicitações) e à *minoração da resistência do aço e do concreto* e estão embutidos no cálculo estrutural. A NBR 6118/82 indica ainda, que as estruturas devem ser projetadas levando-se em consideração, não só o aspecto da segurança mas também o da sua durabilidade.

#### 6. 5. Resistência às Cargas

A toda ação corresponde uma reação igual e oposta na mesma direção, mas de sentido contrário (3ª Lei de Newton). Em cada ponto de uma estrutura submetida a uma carga manifesta-se uma reação ou força oposta de mesma intensidade. Quando esta condição não é satisfeita, quando todas as forças não estão em equilíbrio, em uma estrutura, esta se rompe.



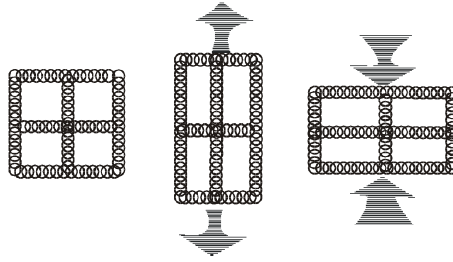
**Figura 6. 8 - Balanço**

O peso do menino deve ser sustentado por uma força vertical, neste caso gerada pela tensão nas cordas. Se as cordas não produzirem uma força igual e oposta ao peso do menino aquelas se rompem e o menino cai. A função de uma estrutura é a de poder gerar esforços iguais e opostos às cargas que sobre ela atuam.

De acordo com Robert Hooke, (1635 - 1702), a quem se deve a ciência da elasticidade, base da teoria moderna das estruturas: as cargas que atuam em todos os elementos provocam deformações, alongando-os ou encurtando-os quando sujeitos a um esforço mecânico. É a deformação que permite ao sólido desenvolver uma reação à carga que o afeta. Esta é a propriedade essencial, inerente à matéria e sem a qual nenhuma estrutura poderia funcionar.

Outro importante descobrimento de Hooke é que quando uma estrutura se deforma, o material que a constitui sofre uma deformação interna proporcional. Ao ser submetido a um

carregamento, o material é afetado internamente e suas moléculas se opõem à carga, dividindo uniformemente esse esforço.



**Figura 6.9 - Tipos de Deformação**

As pequenas deformações que as moléculas do material sofrem e que se opõem a serem deformadas, geram a deformação total do elemento sujeito a uma carga. A deformação de uma estrutura é proporcional à carga aplicada, como será visto no capítulo seguinte.

A expressão “ut tensio sic vis” - a tal alongamento tal força - é conhecida há trezentos anos como a lei de Hooke. É importante dizer, entretanto, que a deformação de uma estrutura não depende somente do material, mas também da forma e de suas dimensões.

#### **6.6. Fenômeno da Fluência**

Poder-se-ia dizer que se um material resiste a um esforço resisti-lo-ia indefinidamente ou, de outra forma, que as deformações em um elemento não variam com o passar do tempo, se a força permanecer constante.

Na realidade, quase todo material tende a fluir quando for submetido a uma carga constante durante um tempo significativo: “concedendo-se bastante tempo, toda a matéria é fluida” (WILLIAMS, 1984).

A geologia, bem como o estudo do tempo e da matéria, observa como a rígida estrutura da crosta terrestre levanta-se, dobra-se e desliza como as dunas agitadas pelo vento. De fato, muitas montanhas apresentam formas que sugerem fluxos de líquidos imóveis.

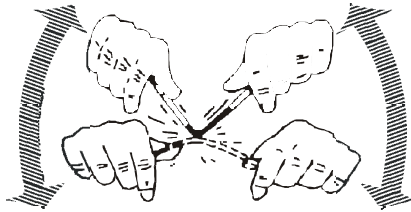


**Figura 6.10 - Crosta terrestre**

Em todo material, a fluência faz com que as tensões sejam redistribuídas já que as partes submetidas aos esforços mais elevados são as que mais fluem, proporcionando ao material uma tendência a moldar-se às cargas a ele impostas.

### 6. 7. Frequência de Aplicação da Carga

Uma carga aplicada uma única vez pode não produzir efeitos irreversíveis nos materiais estruturais. A repetição contínua do carregamento pode provocar, através do fenômeno da *fadiga*, a fratura do elemento. Um arame metálico, por exemplo, dobrado uma única vez, resiste sem apresentar problemas de fratura, mas, dobrado várias vezes, chega a

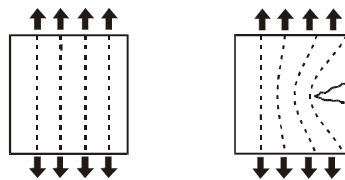


romper-se.

**Figura 6. 11 - Fenômeno da Fadiga**

### 6. 8. Concentração de Esforços

A análise dos esforços parte do princípio que os materiais são homogêneos, isto é, perfeitamente uniformes. Entretanto, isso não acontece devido a certas irregularidades que podem apresentar, tais como os poros e as fissuras que prejudicam sensivelmente a resistência dos materiais.



**Figura 6. 12 - Linhas de Esforços**

A figura 6.12 esquematiza a trajetória das linhas de tensões dentro de um material sujeito a esforços de tração. Uma fissura no elemento provoca desvios nessas linhas, fazendo com que contornem a irregularidade, juntando-se umas as outras (concentração de esforços), e com isso, aumentando as tensões por unidade de área.

Para que um material possa romper-se, quanto sujeito a esforços, é necessário em primeiro lugar, o aparecimento de fissuras que se propaguem através do elemento. A energia de deformação elástica contida no elemento sob carregamento é praticamente suficiente para começar o processo de ruptura. Em outras palavras, a energia de deformação armazenada pode ser empregada para propagar uma fissura através do elemento.

O aumento dos esforços exercidos sobre o elemento tem como único efeito a armazenagem, no elemento, de uma quantidade mais elevada de energia de deformação. Entretanto, a ruptura de um elemento estrutural, submetido a um impacto ou a um carregamento constante, depende, principalmente, dos seguintes fatores:

1. Energia para criação de uma nova fissura;
2. Quantidade de energia de deformação disponível;
3. Dimensões e forma da fissura.

A quantidade de energia necessária para romper a seção transversal de um elemento define sua *tenacidade* ou *energia de ruptura*. Esta propriedade é muito diferente e independente da resistência à tração ou compressão que é definido como o esforço, e não energia, necessário para romper o sólido. A *tenacidade* pode ser também definida como a capacidade de resistência à propagação de fissuras.

## Capítulo 7

### REQUISITOS ESTRUTURAIS

Os arquitetos e evidentemente até mesmo os estudantes de arquitetura, com respeito ao conhecimento estrutural, antes de tudo, preocupam-se essencialmente com a integridade das edificações. Lembram-se do mestre Vitruvius e seu postulado sobre a arquitetura: *firmitas, utilitas et vanustas* - resistente, funcional e bela.

A modernização e o desenvolvimento na produção de materiais, de técnicas construtivas e métodos de análise têm proporcionado uma grande flexibilidade aos projetos de arquitetura, ampliando consideravelmente sua abrangência e permitindo aos arquitetos darem vazão a toda sua criatividade.

As estruturas modernas, apesar da liberdade de suas formas, não estão isentas de satisfazer determinados requisitos básicos e que constituem sempre os fundamentos essenciais de uma boa arquitetura. Estes requisitos, tão imprescindíveis são: equilíbrio, estabilidade, resistência, funcionalidade, estética e economia. Podem ser entendidos de maneira clara e objetiva:

#### 7. 1. Equilíbrio

O equilíbrio relaciona-se com a garantia de que a edificação ou qualquer uma de suas partes não se moverão. Esta condição não impede, entretanto, que um certo grau de movimentação, não só é inevitável como previsível e necessário e que, comparado com as dimensões da obra, não apresentam qualquer tipo de problema. Está diretamente ligado às leis de Newton no que diz respeito ao equilíbrio de um sistema de forças.

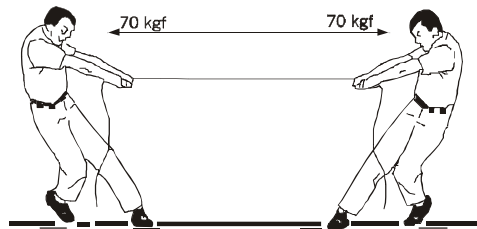
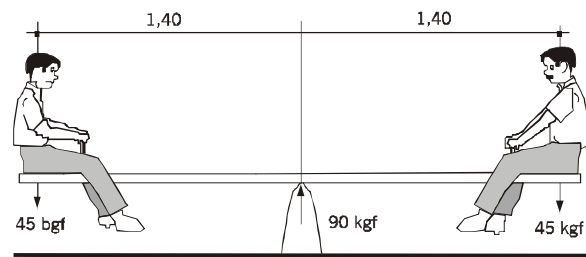


Figura 7. 1 - Equilíbrio de Forças Horizontais

O equilíbrio de forças verticais pode perfeitamente ser exemplificado pelo cabo de sustentação de um elevador. A tração que ocorre no cabo, com o elevador parado ou em movimento, deverá ser igual ao peso do próprio elevador, de modo que as forças se anulem, satisfazendo assim, uma das leis de Newton, a da ação e reação: “A toda ação corresponde a uma reação de mesma intensidade e de mesma direção mas de sentido contrário”.

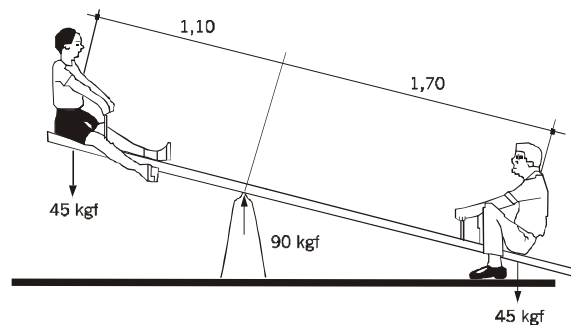
Os pilares também estão sujeitos a forças verticais e se estes, não mantiverem o equilíbrio, isto é, não oferecerem resistência suficiente ocorrerão problemas que poderão causar prejuízos incontestáveis à estrutura.

Entretanto, quando se fala em equilíbrio, a primeira coisa a ser lembrada é a gangorra, exemplo típico de equilíbrio rotatório, ilustrado na figura 7.2 onde o peso dos garotos e a distância entre eles e o apoio da gangorra (braço de alavanca) são iguais. Neste caso, o equilíbrio fica mantido.



**Figura 7. 2. - Equilíbrio Rotatório - Pesos e Braços de Alavanca Iguais**

Qualquer alteração neste esquema, provocado pela diferença de peso entre os garotos ou pelo comprimento do braço de alavanca, são razões suficientes para provocar o desequilíbrio do sistema.

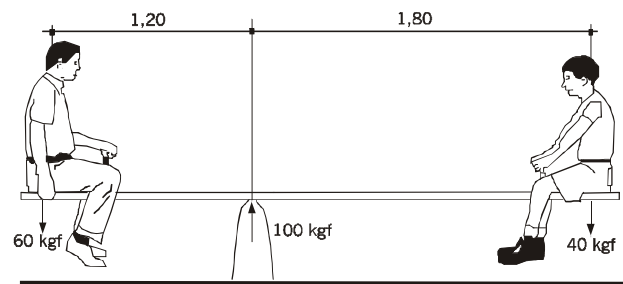


**Figura 7. 3 - Desequilíbrio Rotatório - Braços de Alavanca Desiguais**

As três condições de equilíbrio de uma estrutura é a mesma aplicada a um sistema de forças onde, as duas primeiras, são baseadas no princípio da “ação e reação” de Newton:

1. A soma das cargas horizontais ativas com as horizontais reativas se anulam;
2. A soma das cargas verticais ativas com as verticais reativas se anulam;
3. O somatório dos momentos aplicados em qualquer ponto da estrutura seja nulo.

Na figura 7.4, o equilíbrio de sistema é permitido porque os momentos em relação as duas cargas são iguais e de sentido contrário, portanto se anulam:  $60 \times 1,20 = 40 \times 1,80 = 7,20$  kgf.m e a soma das cargas verticais ativas é igual a carga vertical reativa.

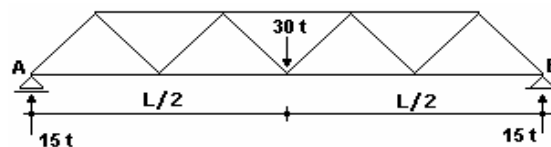


**Figura 7.4 - Equilíbrio pela Igualdade dos Momentos**

Já, a análise do equilíbrio de uma ponte, quando da passagem de um veículo é um pouco mais complexo. Admitindo-se uma ponte apoiada em seus extremos e desprezando o seu peso próprio podem ocorrer, de acordo com a posição do veículo sobre a ponte, situações que exigem diferentes reações de seus apoios.

Quando o veículo encontra-se no meio da ponte, o peso do mesmo é distribuído igualmente aos seus dois apoios. Admitindo que o peso do veículo é de 30 t, cada um dos apoios deverá absorver uma carga de 15 t. À medida que o veículo desloca-se sobre a ponte, verifica-se que os apoios em que ele estiver mais próximo absorverão cargas maiores. A segunda e terceira condições de equilíbrio ficam mantidas.

A figura 7.5 exemplifica várias posições de um veículo sobre uma ponte com as respectivas reações dos apoios e que satisfazem as condições de equilíbrio exigidas.





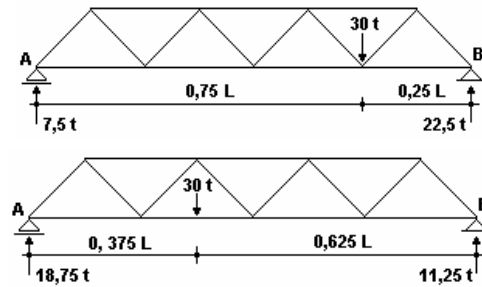


Figura 7.5 - Equilíbrio de Forças Verticais

## 7.2. Estabilidade

A estabilidade das edificações está relacionada com o perigo de movimentos inaceitáveis que podem ocorrer em partes ou em sua totalidade e está diretamente ligada às fundações.

Em edifícios altos, construídos em regiões atingidas por fortes ventos e não adequadamente engastados no solo (fundações mal dimensionadas), ou equilibrados por seus próprios pesos, podem girar sem no entanto provocar o colapso da edificação. Este é um exemplo típico de instabilidade rotatória.

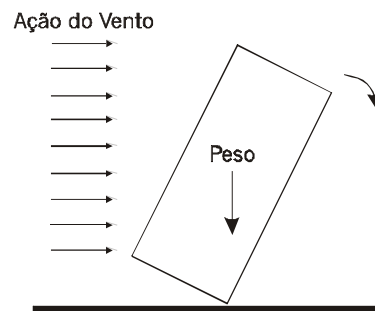


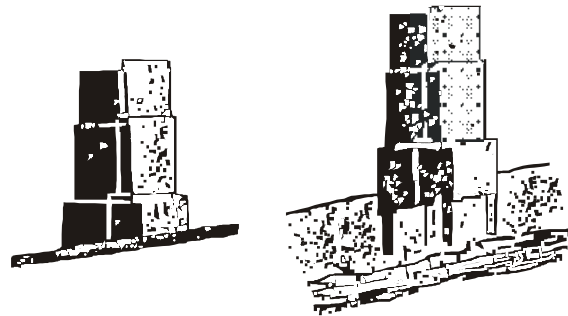
Figura 7.6 - Instabilidade Rotatória Devida à Ação do Vento

A instabilidade rotatória também pode ocorrer quando a edificação não está bem equilibrada e assenta-se em solo com consistências diferentes. Neste caso, o solo sofrendo assentamentos desiguais (recalques diferenciais), a edificação pode inclinar-se. Um dos exemplos mais marcantes de instabilidade devida a recalques diferenciais é o da Torre de Pisa, na Itália, onde a inclinação da mesma já apresenta características acentuadas, necessitando de constantes verificações e reforços nas fundações (figura 7.7).



**Figura 7.7 - Torre de Pisa**

Os edifícios construídos em ladeiras íngremes podem ter tendências a deslizar, somente pela ação de seu peso próprio, principalmente nos casos de solo argiloso que, pela infiltração das águas, transforma a argila em lama. Neste caso, as fundações devem ser profundas e ancoradas em solo firme e preferencialmente rochoso.



**Figura 7.8 - Escorregamento**

Todas essas considerações sobre instabilidade das edificações relacionam-se diretamente com as fundações e com o solo no qual ela está assentada. O solo deve ser previamente conhecido antes do início da construção pelas sondagens de reconhecimento do terreno, as quais darão a conhecer o perfil geológico do solo e as características técnicas para escolha da fundação apropriada.

### **7.3. Resistência**

A resistência diz respeito à integridade da estrutura e de cada um de seus componentes, quando submetida ao carregamento a que estará sujeita de acordo com a sua finalidade. Ao definir-se o sistema estrutural e determinar as cargas atuantes, verifica-se o estado de tensões nos pontos significativos da estrutura e compara-se com o tipo e magnitude das tensões que o material pode resistir.

Sabe-se que a responsabilidade pela escolha dos materiais empregados na execução das estruturas das edificações, tipo de concreto e qualidade do aço são de inteira responsabilidade do profissional encarregado do cálculo estrutural. As incertezas inerentes à avaliação correta das propriedades que cercam esses materiais são as razões para o emprego dos coeficientes de segurança.

A análise da resistência dos materiais pode ser executada através de pesquisas em laboratório, com a confecção de modelos em escala reduzida, requerendo o conhecimento das propriedades dos materiais empregados, das relações apropriadas para reproduzir as dimensões reais na escala escolhida (escala de semelhança) e das relações corretas para reproduzir, nessa escala, as cargas estáticas e dinâmicas.

No Brasil existem diversos laboratórios que podem executar esses trabalhos. O Laboratório de Sistemas Construtivos - Setor de Estruturas, do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina está aparelhado e apto a executar esses serviços.

### **7.4. Funcionalidade**

A funcionalidade refere-se às influências da estrutura sobre a finalidade da edificação. O arranjo estrutural deverá permitir a otimização dos espaços de tal maneira a cumprirem satisfatoriamente as funções a que se destinam.

Nos edifícios de múltiplos pisos, onde normalmente o subsolo é destinado às garagens, deve haver um casamento perfeito entre a disposição dos pilares nos andares superiores com o subsolo, otimizando tanto a circulação dos veículos quanto o número de vagas de estacionamento. Esta tarefa, de certa forma complexa, depende diretamente do arquiteto que, através do conhecimento, do bom senso que lhe é peculiar e das habilidades adquiridas pela experiência, resolve-a da melhor maneira.

A funcionalidade deve ser encarada de maneira global, não só pela otimização dos espaços construídos, mas facilitando a sua manutenção e possibilitando a ampliação.

### **7. 5. Estética**

A estética da estrutura de uma edificação é definida pelo arquiteto que impõe seus postulados e fixa as limitações essenciais ao sistema estrutural. Na realidade, o arquiteto sugere o sistema que acha mais adequado para expressar a concepção do edifício.

Em muitos casos, o arquiteto tem necessidade de consultar um especialista para a concepção correta da obra, fazendo da estrutura uma parte integral da expressão arquitetônica. Esta parceria é importante por proporcionar um equilíbrio nos objetivos e produzir, sem dúvidas, uma melhor forma estrutural e uma arquitetura mais satisfatória.

Uma estrutura totalmente genuína e correta conduz a resultados estéticos favoráveis, porém, existem correntes de arquitetos que pugnam por ignorar completamente a estrutura como fator importante à estética arquitetônica. Esses pensamentos entretanto, podem levar a conclusões corretas desde que sejam limitados a certos campos da arquitetura.

Em projetos de edificações de pequeno porte, a importância da estrutura tem suas limitações, pois é possível obter-se os resultados estéticos desejados forçando a estrutura de maneira irracional e até mesmo antieconômica. Por outro lado, os edifícios de maior porte dependem fundamentalmente da estrutura, isto é, o sistema estrutural é a razão da expressão de sua forma.

### **7. 6. Economia**

A economia nem sempre é uma exigência da arquitetura. Algumas edificações são construídas com fins monumentais ou simbólicos. Os monumentos enaltecendo a imagem do estado ou de empresas, bem como as igrejas, não levam em consideração este requisito, pois se assim fosse, não ficaria assegurada a imponência dos mesmos.

O caráter utilitário das estruturas que colaboram com 20% a 30% do custo total da edificação, fazem com que os profissionais responsáveis por ela, façam estudos comparativos entre os custos de formas estruturais semelhantes, podendo assim escolher a mais econômica. Deve-se sempre ter em mente que a economia da construção civil inicia pelos projetos.

O custo das estruturas está diretamente ligado aos materiais empregados, à mão-de-obra utilizada e aos encargos sociais exigidos por lei. Normalmente, o concreto, o aço e as formas utilizadas para a moldagem, dificilmente podem ter seus custos reduzidos. Entretanto, com uma equipe de trabalho bem treinada e uma organização eficiente do canteiro de obras, aliada à uma racionalização das tarefas, pode-se conseguir resultados altamente compensadores.

### 7.7. Estruturas Ótimas

A aplicação destes requisitos básicos das estruturas conduzem, como é natural, à concepção da “melhor estrutura” para um projeto arquitetônico. A visão global de todos estes requisitos estruturais conduz a perguntar se é possível satisfazer a todos e obter-se a melhor estrutura para uma edificação. Para responder a esta pergunta é necessário saber *para quem* será melhor a estrutura.

Nas construções existem várias pessoas envolvidas. Para o proprietário seria, provavelmente, a de menor custo. Para o construtor, a que empregasse o maior número de operários e a maior quantidade de horas de trabalho. Para os vendedores de materiais, aquela que os utilizasse em grande quantidade. Para o especialista em estruturas poderia ser a mais fácil de ser analisada, ou a mais digna de estudo, ou a mais ousada, ou a que trouxesse maior retorno financeiro, ou talvez, a que lhe proporcionasse maior satisfação e fama profissional.

Sob o aspecto dos requisitos estruturais, a melhor estrutura seria a mais estável, a mais resistente, a mais funcional, a mais bela e a mais econômica. Vê-se que a determinação da melhor estrutura não admite uma resposta única e simples. O problema que preocupa a todos é determinar o sistema estrutural mais leve e que cubra maiores distâncias com o mínimo de material empregado.

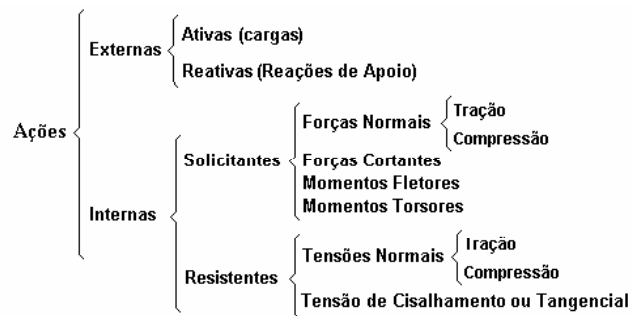
A evolução dos sistemas estruturais é um processo lento e delicado. Isto não deve desanimar ao arquiteto na pesquisa e na procura incessante de novas formas, nem ao engenheiro na adoção de novas técnicas.

Devem saber, simplesmente, que um campo tão antigo e tão estudado como o das estruturas, não dará novos frutos sem o aporte de um trabalho incomparavelmente maior que o necessário na aplicação dos princípios estabelecidos (SILVA, 1997).

## Capítulo 8

### ESTADOS BÁSICOS DE TENSÃO

Pode-se classificar as solicitações que atuam em um elemento estrutural, conforme o esquema representado abaixo:



**Figura 8.1 - Classificação das Solicitações**

A partir do conhecimento das solicitações externas, o profissional responsável pelo cálculo da estrutura está apto a quantificar as solicitações internas e, após, proceder o dimensionamento dos elementos estruturais. De modo geral, as tensões que atuam em um elemento estrutural são de dois tipos: normais à seção transversal do elemento e tangenciais à mesma. Esses esforços propagam-se ao longo do elemento estrutural, de modo que, em qualquer parte considerada, atuam forças e momentos denominados de *esforços solicitantes*.

As tensões normais são também chamadas de *axiais* e produzem esforços de tração ou compressão. As tensões tangenciais são os esforços de *corte* (cisalhamento) e a *torção* (momento torsor).

Quando submetidas à ação das cargas, as estruturas sofrem deformações que muitas vezes são imperceptíveis a olho nu, mas as tensões originadas são mensuráveis. A distribuição de tensões pode ser complexa, porém são sempre oriundas de solicitações isoladas ou combinadas. As primeiras são chamadas de *solicitações simples* e as outras são derivadas de combinações de solicitações simples e são conhecidas como *solicitações compostas*.

## 8. 1. Solicitações Simples

A solicitação simples é aquela que provoca um único efeito ou tensões no elemento estrutural. Os estados básicos de tensão são três: tração simples, compressão simples e cisalhamento (corte).

### 8. 1. 1. Tração Simples

Tração simples é o estado de tensão no qual as partículas do material tendem a separar-se, isto é, a carga atuante age segundo a direção do próprio eixo do elemento estrutural considerado e corresponde ao esforço normal axial de tração, isto é, a solicitação de tração produz uma tensão normal de tração e é definida por:

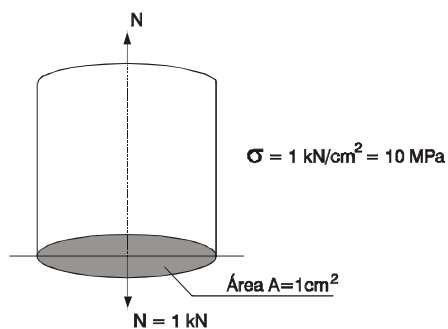
$$\sigma = \frac{N}{A}$$

$\sigma$  - tensão

N - força normal de tração (carga aplicada nos extremos do elemento)

A - área da seção transversal do elemento

Esta expressão traduz uma distribuição uniforme de tensões nos pontos da seção A. Nota-se que, pela primeira vez, atinge-se um dos objetivos da Resistência dos Materiais que é o cálculo das tensões em função das solicitações. Essa expressão é válida somente quando as tensões aplicadas não ultrapassem o regime elástico, dependendo então, da seção transversal do elemento e da magnitude da carga.



**Figura 8. 2 - Tração em Elemento Estrutural**

Da mesma maneira, deve-se observar que também não é válida a distribuição uniforme de tensões quando os elementos apresentarem variações bruscas de seção ou furos, pois apresentariam, nessas regiões, concentração de tensões.

O estado básico de tração simples pode ser analisado através do comportamento dos cabos, que sob a ação de cargas, tendem a alongar-se. O alongamento corresponde a um comprimento unitário, denomina-se *deformação específica longitudinal à tração* e é representada pela expressão:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$\Delta L$  - variação do comprimento devido à tração

L - comprimento do elemento considerado

Sendo

$$\Delta L = \frac{NL}{AE}$$

N - força normal de tração

A - área da seção transversal do elemento

E - módulo de elasticidade

Pode-se verificar também, que quanto maior for a área da seção transversal do cabo, menor será sua deformação unitária, ou seja, o alongamento é proporcional à carga por unidade de área ou à tensão de tração no cabo. A relação entre a tensão e deformação por tração é uma característica do material, denominada *módulo de deformação longitudinal* - módulo de elasticidade (item 6. 2).

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon}$$

O alongamento não é a única deformação que acontece nos elementos sujeitos à tração. O alongamento provoca também uma diminuição da seção transversal da peça. Esse fato pode ser facilmente verificado ao esticar-se um elástico. O físico francês Poisson foi quem efetuou os primeiros estudos sobre a relação entre as deformações longitudinal e a transversal.. Essa relação recebeu o nome de *Coefficiente de Poisson* e é representado pela expressão:

$$\nu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon}$$

$\nu$  - coeficiente de Poisson

$\varepsilon_t$  - deformação transversal

$\varepsilon$  - deformação longitudinal

A introdução desses conceitos que dizem respeito, principalmente, à disciplina de Resistência dos Materiais foram apresentados de maneira simples e objetiva, com o propósito de esclarecer os princípios básicos da tração simples.



### 8. 1. 2. Compressão Simples

Compressão simples é o estado básico de tensão no qual as partículas do material tendem a juntar-se, ou seja, é o processo inverso ao da tração. A carga atua na direção do eixo do elemento, comprimindo-o e valendo também a expressão:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

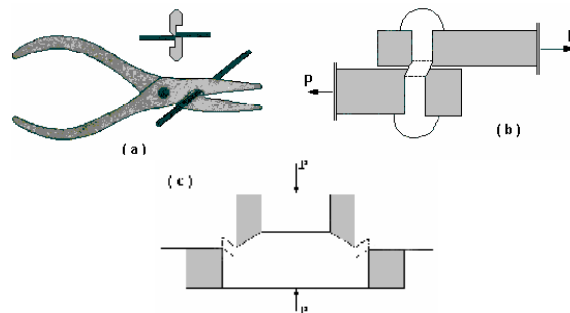
Esta expressão caracteriza as tensões normais de compressão e sua aplicação fica limitada às mesmas condições apresentadas para a tração simples. O encurtamento dos elementos é um fenômeno típico da compressão e, assim como foi abordado para o caso da tração, a relação entre a tensão de compressão e a deformação por compressão chama-se: *módulo de deformação longitudinal à compressão* ou *módulo de elasticidade à compressão*.

As deformações provocadas pela compressão são totalmente opostas (sentido contrário), às produzidas por tração. Além do encurtamento na direção da carga há um aumento das dimensões da seção transversal, devido ao efeito de Poisson.

Outro fenômeno que deve ser levado em consideração é o problema relacionado aos elementos estruturais longos e esbeltos sujeitos à compressão (pilares). A esbeltez introduz, portanto, um novo tipo de limitação: a *flambagem* (Capítulo 11).

### 8. 1. 3. Cisalhamento Simples

Cisalhamento ou Corte é o estado de tensão no qual as partículas do material deslizam com um movimento relativo entre si, tal como ocorre ao cortar-se uma arame com um alicate (figura 8.3.a). Em uniões parafusadas, os parafusos tendem a cisalhar devidos aos esforços (figura 8.3.b). Uma furadeira emprega o corte (cisalhamento) através da punção para perfurar uma folha de papel (figura 8.3.c)



**Figura 8. 3 - Cisalhamento**

O cisalhamento provoca deformações capazes de mudar a forma de um elemento retangular, transformando-o num paralelogramo (Figura 8.3. b, c). Essa distorção é medida pelo ângulo de inclinação do retângulo deformado (paralelogramo), e não pela variação do comprimento do elemento, como sucede nos casos de tração e compressão. As forças que produzem esta deformação atuam nos planos nos quais se produz o deslizamento e sua medida, por unidade de superfície, denomina-se *tensão tangencial*.

## 8. 2. Solicitações Combinadas

Os estados de tensão que envolvem certos graus de complexidade são combinações dos três estados básicos: tração, compressão e cisalhamento. A combinação entre tração e compressão originam a flexão.

### 8. 2. 1. Flexão

A flexão é um estado de tensão que provoca tração e compressão em fibras distintas de um mesmo elemento estrutural e é produzida por um momento (momento fletor), que atua na seção transversal do elemento considerado.

Pela observação da figura abaixo pode-se verificar que na flexão as fibras superiores da tábua estão sendo tracionadas e as inferiores comprimidas. A flexão é, também, um mecanismo estrutural capaz de canalizar as cargas no sentido horizontal.

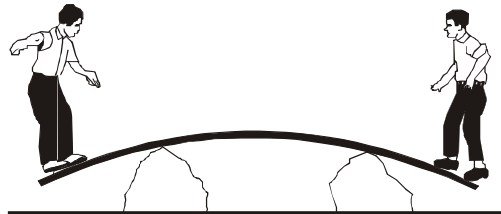


Figura 8. 4 - Flexão

A flexão é chamada de reta quando o plano do momento fletor, aplicado na seção transversal do elemento estrutural, coincidir com um dos dois eixos principais da seção, x ou y, perpendiculares entre si. No caso da figura 8.4, o momento atua na direção do eixo y. A flexão reta pode ser ainda simples ou composta.

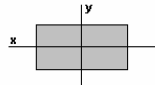


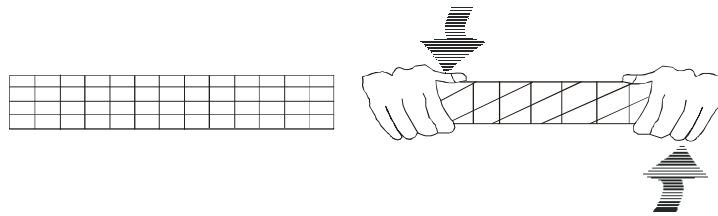
Figura 8. 5 - Eixos Principais da Seção

- \* A flexão é considerada simples quando na seção transversal do elemento estrutural atuarem somente um momento fletor  $M$  e um esforço cortante  $V$ , sem a aplicação de uma força normal  $N$  considerada, neste caso, nula. É o caso geral dos elementos horizontais: lajes e vigas sujeitos somente a cargas verticais.
- \* Flexão composta é aquela formada por um momento fletor  $M$  e um esforço normal  $N$  atuante sobre um dos eixos principais da seção transversal do elemento. Este é um fenômeno que ocorre normalmente com os pilares.

A flexão oblíqua ocorre nos pilares e será tratado no capítulo 11.

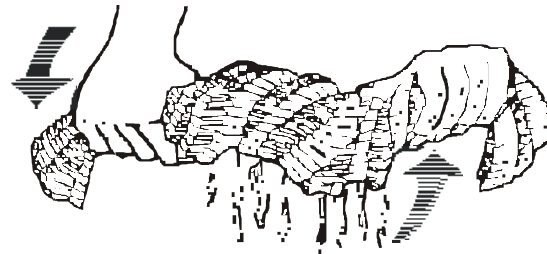
### 8. 2. 2. Torção

Ao tomar-se uma barra de borracha de seção circular, sobre a qual está desenhado um reticulado retangular de referência e a submeter a um esforço de torção, verifica-se que as linhas verticais permanecem inalteradas e as horizontais tendem a formar linhas helicoidais.



**Figura 8. 6 - Barra de Borracha**

A transformação dos retângulos em paralelogramos denota a presença de esforços de cisalhamento que equivalem a uma combinação de tração e compressão. Isto se evidencia em dois experimentos: ao torcer-se uma toalha molhada, que como todos os tecidos é um material fibroso e portanto resistente à tração e impróprio à compressão, verifica-se que a água é expelida pelos esforço de compressão.



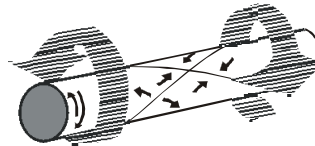
**Figura 8. 7 - Efeito da Torção**

Um pedaço de giz submetido à torção sofre uma fratura a  $45^\circ$  em relação ao eixo longitudinal. O giz é um material resistente à compressão e muito pouco à tração e a fratura é devida aos esforços de tração que ocorrem em sua fibras.



**Figura 8. 8 - Fratura em Giz**

Nos objetos submetidos à torção, as linhas de tração são máximas a  $45^\circ$  em relação ao eixo longitudinal e as fibras superficiais são nulas ao nível da linha neutra. As linhas de compressão são máximas a  $90^\circ$  em relação as linhas de tração na superfície do objeto e nulas a nível da linha neutra.

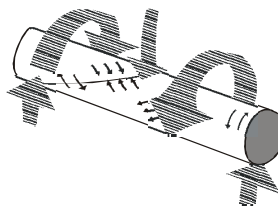


**Figura 8. 9 - Linhas de Tração e Compressão**

### 8. 2. 3. Torção e Flexão Combinadas

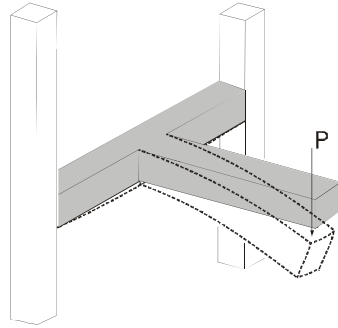
Um elemento estrutural sujeito aos esforços de tração e compressão combinadas, as cargas atuantes produzem esforços máximos sobre as fibras superficiais do objeto. À tração gerada pela flexão é somada à tração gerada pela torção. A direção do esforço ocorre nos pontos intermediários entre aqueles que correspondem a cada uma das duas cargas isoladas e os esforços de compressão se somam da mesma maneira.

Os tensões que ocorrem na superfície do objeto produzidos pela combinação flexão-torção são mais significativos que aqueles gerados por qualquer outra combinação de cargas (FULLER, 1980).



**Figura 8. 10 - Flexão - Torção**

O fenômeno da flexão-torção pode ocorrer em elementos estruturais submetidos à ação de cargas com tendência a provocar uma rotação. A viga em balanço, da figura abaixo, provoca esforços de flexão e torção na viga em que está apoiada.



**Figura 8.11 - Viga Sujeita à Flexão - Torção**

## Capítulo 9

### CABOS E TRELIÇAS

#### 9. 1. Cabos

Os cabos são elementos estruturais que funcionam somente à tração pura e ideais para cobrir grandes distâncias. Um exemplo típico são as linhas de energia elétrica de alta tensão, suspensas por torres ou postes. Esses cabos são de cobre, grande condutor de eletricidade, possuindo internamente uma “alma” de aço para conferir maior resistência.

Suspensos por dois pontos e sujeitos a seu próprio peso, os cabos definem uma curvatura denominada *catenária* e sua flexibilidade, devido a sua pequena seção transversal em relação ao comprimento, impede tensões desiguais derivadas da flexão e as tensões de tração desenvolvidas, distribuem-se por igual ao longo de seu comprimento e apresentam a mesma tensão admissível.

O mecanismo de sustentação de cargas verticais pelos cabos pode ser melhor compreendido, considerando em primeiro lugar, um cabo fixo em dois pontos e uma carga  $P$  aplicada em seu ponto médio. Assim, assume uma forma simétrica, triangular e cada apoio absorve a metade da carga por tensões de tração simples ao longo das duas partes em que fica dividido (Figura 9. 1a).

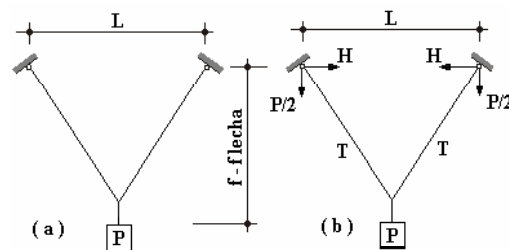
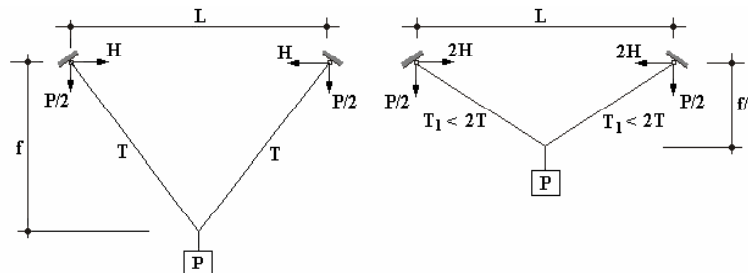


Figura 9. 1 – Carga Aplicada à um Cabo

A forma triangular adotada pelo cabo é caracterizada por uma flecha ( $f$ ) – distância entre os apoios e o ponto de inflexão – e que sem ela, o cabo não poderia sustentar a carga, pois as tensões de tração seriam horizontais e nenhuma força horizontal pode equilibrar cargas verticais.

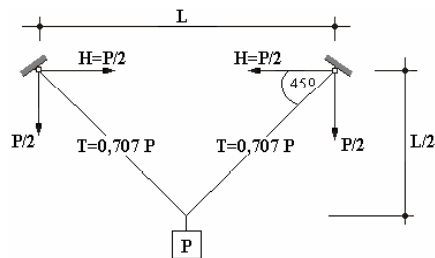
As reações nos apoios podem ser decompostas em forças verticais que correspondem a metade da carga aplicada e horizontais, os empuxos, os quais tendem a unir os dois apoios colocando-os em posição vertical (Figura 9. 1b).

Os sistemas formados por cabos apresentam uma interessante questão de economia e deve ser considerada pelos projetistas: quanto maior for a flecha, menores serão as tensões de tração e, portanto, permite uma redução de sua seção e uma comparação entre esses custos deve ser analisada. Uma flecha menor diminui seu comprimento, mas exige uma seção maior devido às tensões de tração a que estará sujeito.



**Figura 9. 2 – Variação das Reações em Função da Flecha**

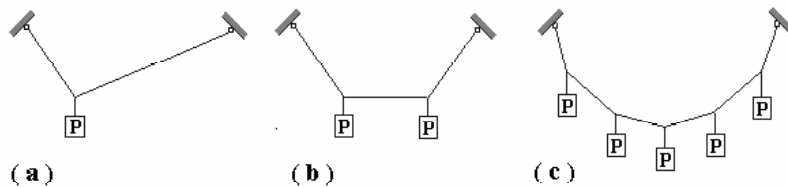
Considerando ainda esse aspecto, tem-se que o volume do cabo é o produto de sua seção transversal pelo comprimento tomado esse volume excessivo, tanto para flechas muito pequenas como para as muito grandes. A flecha ótima é a metade da distância entre apoios, correspondendo a uma configuração simétrica, apresentando um ângulo de 45° no ponto de aplicação da carga, sendo o empuxo igual à metade desta.



**Figura 9. 3 – Flecha Ótima**

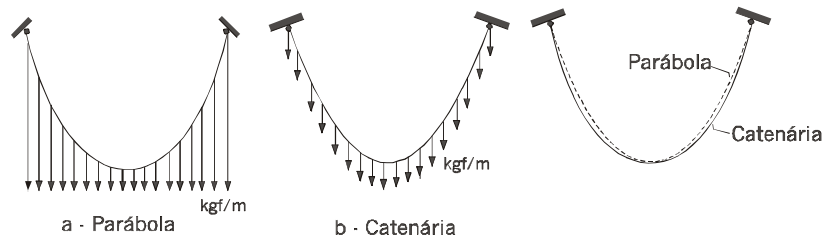
Deslocando-se a carga para uma outra posição, o cabo muda de forma, adaptando-se para transferir a carga através de trechos com diferentes inclinações. Os apoios passam a desenvolver reações verticais diferentes e as horizontais continuam sendo iguais, porque o cabo deve permanecer em equilíbrio nessa direção (Figura 9. 4a).

Fixando-se duas cargas idênticas em posições simétricas, o cabo apresenta nova configuração, com rações verticais iguais e as horizontais, também permanecendo com as mesmas intensidades (Figura 9. 4b). Aumentando o número de cargas, a forma do cabo modifica-se novamente e assim sucessivamente. O cabo adota uma forma chamada de *polígono funicular* que é a forma ideal para suportar cargas por tração (Figura 9. 4c).



**Figura 9. 4 – Formas de Carregamento (polígono funicular)**

Aumentando o número de cargas, o polígono funicular aproxima-se de uma curva e o limite é a chamada *curva funicular*. Assim, um polígono funicular correspondente a um número infinitamente grande de cargas iguais, dispostas a distâncias iguais, também infinitamente pequenas e na horizontal, tende a uma curva denominada *parábola* (Figura 9. 5a). Se as cargas forem distribuídas ao longo do cabo e com intensidades iguais, a curva funicular apresentada, semelhante à parabólica, chama-se: *catenária* (Figura 9. 5b).

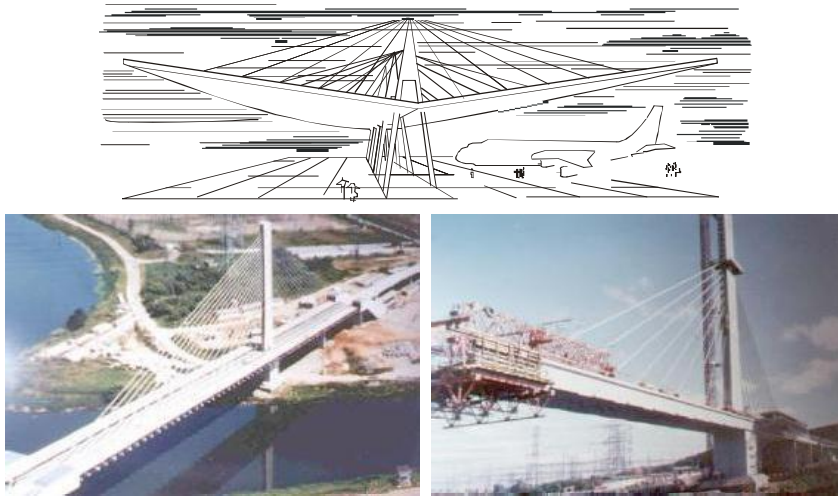


**Figura 9. 5 – Curvas Funiculares**

As limitações dos sistemas construtivos através de cabos deve-se a sua adaptabilidade às mudanças de carregamento, caracterizando assim, certa instabilidade. Como a estabilidade é um requisito básico das estruturas, a utilização dos mesmos em pequenas edificações torna-se antieconômica.

As estruturas de grande porte como os hangares e as pontes suspensas por um sistema de cabos cumprem a finalidade, não só de sustentação, como também de conferir a rigidez necessária contra movimentos provenientes da ação do vento ou de cargas dinâmicas provocadas pelo tráfego de veículos (SALVADORI, 1987).



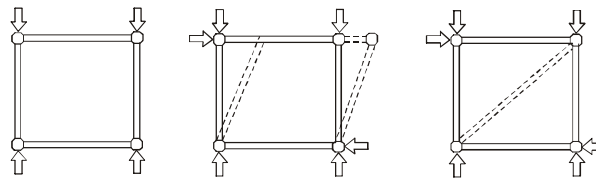


**Figura 9.6 – Sistema de Cabos (Ponte Metroviária sobre o Rio Pinheiros – São Paulo)**

## 9.2. Treliças

O sistema constituído por quatro barras, formando um quadro e articulado nos quatro cantos (nós), não apresenta a necessária estabilidade, mantendo um equilíbrio teórico. Sob um carregamento assimétrico, o sistema não funcionará enquanto os cantos permanecerem flexíveis.

A colocação de uma barra na posição diagonal, unindo dois nós, permite que o sistema assim formado transforme-se em uma treliça e passe a possuir a rigidez necessária para manter seu equilíbrio. Portanto, as treliças são estruturas constituídas por barras rígidas formando triângulos.



**Figura 9.7 – Rigidez por Meio de Triangulação do Quadro**

Os elementos de uma treliça, as barras, estão submetidas somente à tração e à compressão, podendo, ocasionalmente, originarem-se tensões de flexão e cisalhamento. Deve-se levar em consideração, para seu dimensionamento, que as barras comprimidas poderão, também, estarem sujeitas à flambagem devido à pequena seção em relação ao comprimento.

As treliças são normalmente bi-apoiadas e empregadas para vencer grandes vãos devido à sua leveza e à capacidade de reorientação das forças externas por meio de uma disposição adequada das barras.

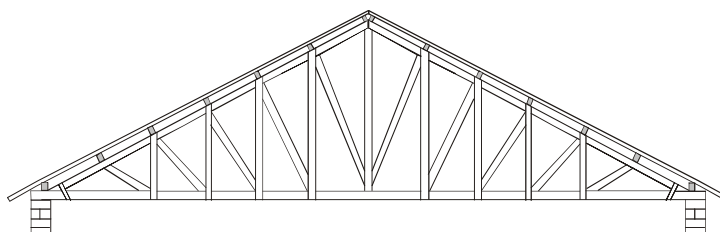
Quanto as suas formas geométricas, as treliças apresentam configurações das mais variadas e os materiais mais convenientes empregados na sua confecção são: o aço, a madeira e o alumínio. De acordo com sua geometria, as treliças são classificadas em planas e espaciais.

### **9. 2. 1. Treliças Planas**

Treliças planas são aquelas onde todos os elementos que a constituem situam-se em um único plano. Nesse caso encontram-se as tesouras triangulares ou de duas águas, as com lanternim, as de mansarda, as de alpendre, as tipo shed, as horizontais e as treliças em forma de arco. Nos itens seguintes são apresentados vários tipos de tesouras de madeira.

#### **9. 2. 1. 1. Tesouras de Duas Águas**

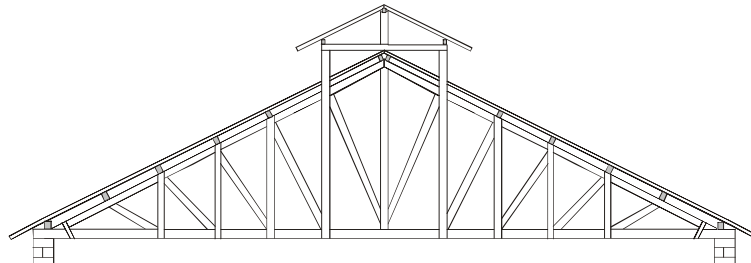
As tesouras de duas águas executadas em madeira são empregadas na execução de coberturas residenciais e de pequenos galpões com vãos livres máximos de aproximadamente 25 m, pois as cargas a que terão que resistir não são tão significativas assim. Provém do peso próprio, das telhas e, eventualmente, da ação provocada pelo vento. Poderão ainda, serem executadas com elementos de aço e conseqüentemente atingir vãos maiores e admitindo maiores cargas.



**Figura 9. 8 – Tesoura de Duas Águas**

#### **9. 2. 1. 2. Tesoura com Lanternim**

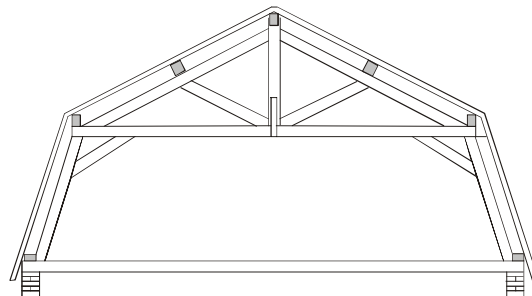
As tesouras com lanternim são utilizadas sempre que for necessário uma maior circulação de ar onde as aberturas na parte superior permitem a saída de ar quente e ainda, uma melhor iluminação ao ambiente e, quando executadas em madeira, conseguem vencer vãos de 25 m.



**Figura 9.9 – Tesoura de Duas Águas com Lanternim**

#### 9.2.1.3. Tesoura de Mansarda

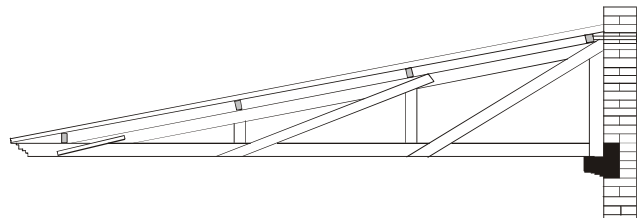
As tesouras de mansarda são utilizadas quando se deseja um piso superior. São muito empregadas em celeiros e estábulos, pois o sótão transforma-se em depósito.



**Figura 9.10. Tesoura de Mansarda**

#### 9.2.1.4. Tesoura de Alpendre

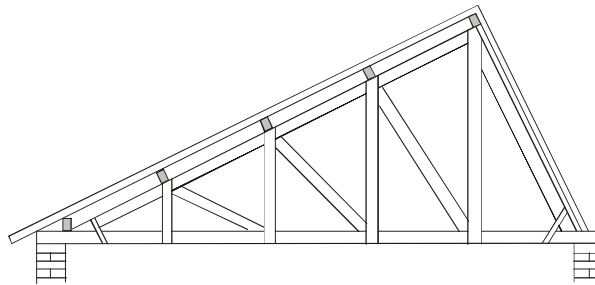
São tesouras em balanço e que podem ser empregadas para a cobertura de terraços e varandas. Podem ser executadas com vãos de aproximadamente 4,50 m e, com a utilização de um tirante, ancorado em sua extremidade e na parede onde está fixada, pode-se chegar a 6 m.



**Figura 9.11 – Tesoura de Alpendre**

#### 9. 2. 1. 5. Tesoura Tipo Shed

Os sheds são muito utilizados para cobertura de galpões industriais, onde a necessidade de uma boa iluminação é fator primordial. Na parte com maior inclinação são colocadas as janelas, que através dos vidros permitem uma iluminação mais abrangente. Quanto aos vãos pode-se chegar, aproximadamente, a 15 m.



**Figura 9. 12 – Tesoura Tipo Shed**

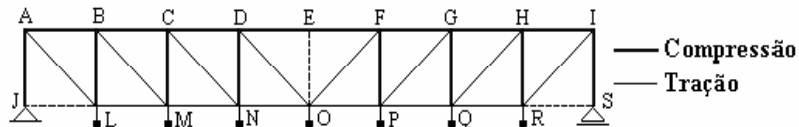
#### 9. 2. 1. 6. Treliças Horizontais

As treliças horizontais ou com altura constante, que na maioria dos casos são executadas com perfis de aço, podem ser empregadas em estruturas de cobertura e, também, amplamente utilizadas na execução de pontes, por permitir grande capacidade de carga e com possibilidades de vencer grandes vãos. É uma estrutura leve, de fácil transporte e montagem em obra. Podem apresentar características completamente diferentes, de acordo com a posição de suas barras. Na figura 9. 13, a barra superior AI e as verticais estão sujeitas à compressão e a barra inferior JS e as diagonais, à tração. A carga T é transferida por tração segundo as diagonais OD e OF e a barra vertical OE não está sujeita a nenhum tipo de esforço pois seria impossível equilibrar as forças OD e OF em E (cargas horizontais não podem equilibrar cargas verticais).

As barras verticais DN e FP transmitem aos pontos N e P as reações verticais iguais a metade da carga T e as barras tracionadas CN e GP transmitem, por sua vez, as cargas aos pontos M e Q, e assim sucessivamente.

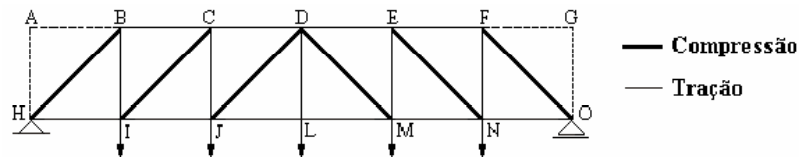
Esse mecanismo de transmissão de cargas acontece em todas as outras malhas da treliça, até os últimos montantes comprimidos AJ e IS. Se as cargas são aplicadas nos nós, tanto superiores como inferiores, a treliça desenvolverá somente tensões de tração e compressão em seus elementos e se forem aplicadas entre os nós, as barras horizontais desenvolverão tensões de flexão e deverão ser dimensionadas para tal.

As barras JL e RS também não desenvolverão tensões de espécie alguma e, como a barra EO, são desnecessárias. A colocação dessas barras porém, diminui os problemas que poderão advir pela flambagem e ao mesmo tempo asseguram uma maior rigidez às barras AJ e IS.



**Figura 9. 13 – Treliça Horizontal com Diagonais Submetidas à Tração**

Ao inverter-se a direção das diagonais, estas passam a desenvolver tensões de compressão e os montantes, tensões de tração e o mecanismo de transferência de cargas é semelhante ao da treliça anterior.



**Figura 9. 14 – Treliça Horizontal com Diagonais Submetidas à Compressão**

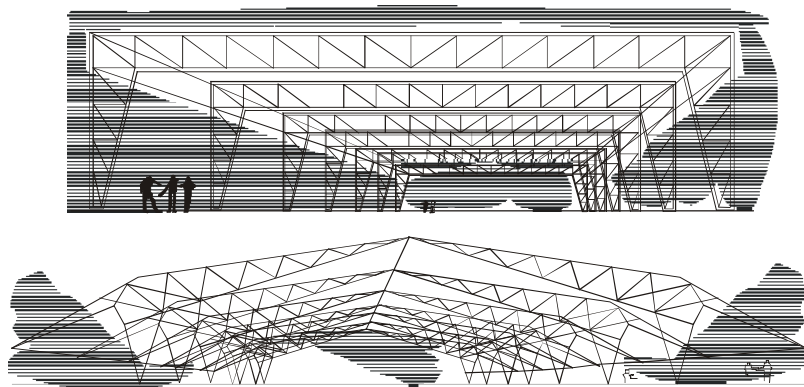
As treliças horizontais representadas pelas figuras anteriores, 8. 13 e 8. 14, são empregadas, a primeira em pontes ferroviárias, pois são colocadas, normalmente abaixo dos trilhos e a segunda em pontes rodoviárias, ficando acima do pavimento.

As conexões das barras através dos nós são efetuadas por solda, parafusos ou rebites tomando-os rígidos, não permitindo a rotação. Assim, as barras que deviam funcionar somente à tração ou compressão puras, desenvolverão também tensões adicionais de flexão e cisalhamento.

Nas pontes, onde predominam as cargas dinâmicas as quais podem provocar tensões de tração ou compressão em um mesmo elemento, de acordo com sua posição, as treliças devem ser dimensionadas com suas diagonais sujeitas à tração e/ou compressão de maneira que as cargas possam transmitir-se através desses mecanismos (MAINSTONE, 1983).

As treliças horizontais em aço podem ser utilizadas nas estruturas em shed, pelo acoplamento de treliças inclinadas, com geometria triangular, que recebem as terças e as telhas. Apresentam ainda, grandes possibilidades de aplicação dependendo da criatividade dos arquitetos. Quando utilizadas exclusivamente para coberturas, sua altura é da ordem de 1/25 do vão.

As estruturas em treliça podem estar apoiadas em pilares de concreto, através de um sistema rotulado ou em pilares treliçados formando um pórtico. A escolha dos sistemas de apoio dependem de uma análise comportamental da estrutura em função das cargas a que estará submetida.

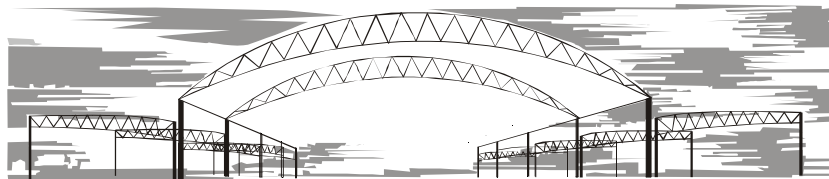


**Figura 9. 15 – Tipos de Treliças Metálicas (ENGEL, 1987)**

#### **9. 2. 1. 7. Treliças em Arco**

Os arcos treliçados, executados com perfis de aço, possibilitam a criação de grandes espaços. A beleza associada à leveza da estrutura transforma o ambiente, proporcionando uma agradável sensação de segurança e bem estar.

As formas apresentadas por essas estruturas em arco, que serão vistas no capítulo 12, podem estar associadas a estruturas planas, proporcionando a ampliação do ambiente construído.



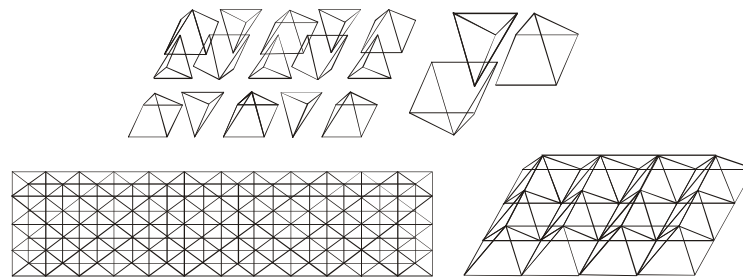
**Figura 9. 16 – Treliça em Arco**

#### **9. 2. 2. Treliças Espaciais**

As cargas que atuam em estruturas formadas por um conjunto de treliças paralelas são por estas absorvidas e transmitidas diretamente aos apoios. Essas treliças formam o sistema principal de suporte que, fundamentalmente, ocorre em seu próprio plano.

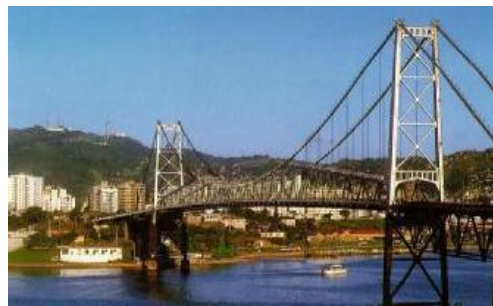
Conectando-se ao sistema de treliças paralelas outras treliças transversais, com a mesma rigidez, as cargas atuantes passam a distribuir-se também a essas treliças e, a nova estrutura passa a funcionar de forma monolítica, como um todo, apresentando conseqüentemente, deformações menores. Assim, esse novo sistema, formado com treliças perpendiculares e ligadas entre si por barras diagonais, constitui um sistema de treliças espaciais.

As treliças espaciais podem ser construídas a partir de um módulo básico, sendo mais eficiente quando apresentam a forma de uma pirâmide quadrangular regular, isto é, todas as arestas com a mesma dimensão. Essas pirâmides são colocadas lado a lado, permitindo que de duas a duas, possuam uma aresta comum. Os vértices das pirâmides são interligados, formando um novo reticulado quadrangular na parte superior.



**Figura 9. 17 – Montagem de Treliça Espacial (STEFFEN, 1982)**

Uma das estruturas mais notáveis, em construção metálica (aço), através um sistema de barras e treliças, é a Ponte Hercílio Luz em Florianópolis. Sua construção foi iniciada em 1922 e a conclusão aconteceu quatro anos depois, em 13 de maio de 1926. Trata-se da única sobrevivente de seu modelo e uma das maiores pontes pênséis do mundo. Possui 819 m de comprimento e duas torres com 75 m de altura a partir do nível do mar.

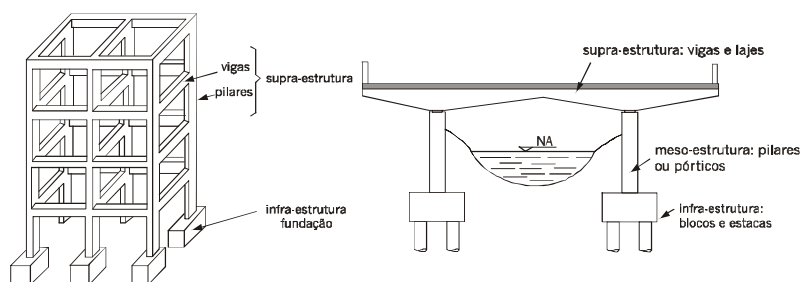


**Figura 9. 18 – Ponte Hercílio Luz**

## Capítulo 10

### VIGAS

Os elementos estruturais mais comuns são as vigas, os pilares e as lajes, normalmente constituídos de concreto armado. Esses elementos formam o chamado *sistema estrutural* de uma edificação e é dividido, basicamente, em três partes: infra-estrutura, meso-estrutura e supra-estrutura.



**Figura 10.1 – Partes da Estrutura**

A infra-estrutura é a parte que promove a ligação da “estrutura visível” da edificação com o solo e é constituída pelas fundações. A escolha do tipo de fundação adequada depende de fatores tais como:

- \* constituição geológica do solo;
- \* topografia do terreno;
- \* dimensões da edificação;
- \* cargas transmitidas ao solo – intensidade, direção e situação em relação à divisa;
- \* material empregado;
- \* construções vizinhas e de custo.

Os principais tipos de fundações são:

- \* sapata corrida de alvenaria de pedra, concreto simples ou armado;
- \* sapata isolada de concreto simples ou armado;
- \* estacas de concreto armado moldadas no local;



- \* estacas pré-fabricadas de concreto armado ou protendido ou perfis metálicos (aço);
- \* estacas de madeira;
- \* tubulões

As sapatas são consideradas como fundações diretas (rasas) e empregadas em edificações pequenas e assentes em solo consistente. As estacas e tubulões são fundações profundas, podem suportar grandes cargas e geralmente são utilizadas em fundações de edifícios de grande porte ou das pontes.

A meso-estrutura faz a ligação entre a infra-estrutura com a supra-estrutura das pontes, inexistindo nas edificações residenciais ou com ocupação semelhante.

### 10. 1. Sistema: vigas, pilares e lajes

É o sistema estrutural mais comum dos edifícios, normalmente executado em concreto armado ou protendido, constituído de duas partes: a estrutura de pavimento e a portante. A estrutura de pavimento é formada pelas lajes ou placas e as vigas e a portante, pelos pilares ou paredes portantes, que podem ser de alvenaria de tijolos cerâmicos ou de concreto.

O funcionamento desse sistema está baseado na transmissão vertical das cargas, obedecendo a seqüência: laje  $\Rightarrow$  viga  $\Rightarrow$  pilar  $\Rightarrow$  fundação, isto é, a laje absorve as cargas impostas e as transmite às vigas e estas, por sua vez, absorvem estas cargas e as transmitem aos pilares que as levam às fundações. Deve-se observar que nesse sistema, as paredes não têm função estrutural, servindo unicamente como vedações. Vale ressaltar que existem lajes apoiadas diretamente sobre pilares e que são chamadas de “laje cogumelo” (Capítulo 12).

### 10. 2. Ligações Estruturais

Os elementos estruturais, apesar de possuírem funções distintas, estão interligados entre si. Essas ligações entre elementos estruturais são chamados de *vínculos* e têm a função de restringir e/ou impedir os movimentos dos elementos estruturais. Esses movimentos são: os deslocamentos, horizontal e vertical (movimentos lineares) e a rotação ou giro (movimento angular) e caracterizam-se por reações as quais impedem ou restringem esses movimentos.

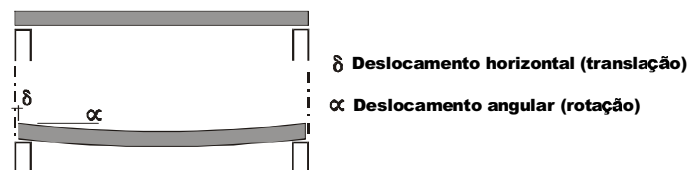


Figura 10. 2 - Deslocamentos

Observando o sistema constituído por uma viga apoiada em dois pontos e sem qualquer tipo de fixação, pode-se verificar que (figura 10. 3):

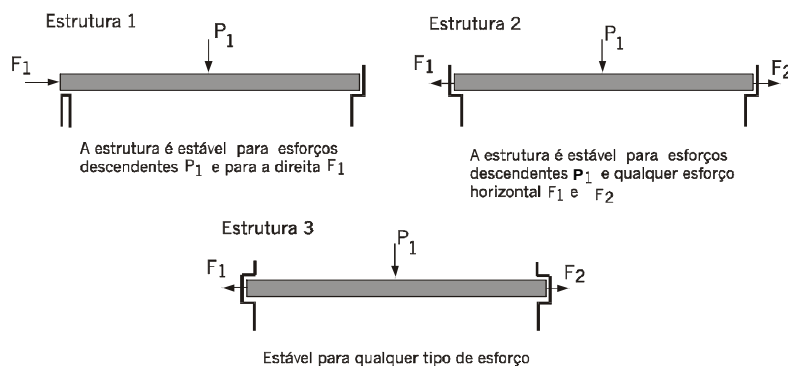


**Figura 10. 3 - Viga Bi-apoiada**

Estando sujeita às forças externas, a viga pode deslocar-se no sentido horizontal, tanto para a direita como para a esquerda e, no sentido vertical, de baixo para cima. Pode ainda, girar nos sentidos horário e anti-horário em torno de A ou de B. Esses apoios impedem somente o deslocamento vertical de cima para baixo.

### 10. 3. Vinculação

Qualitativamente pode-se apresentar os diversos tipos de vínculos existentes entre elementos estruturais. As figuras a seguir mostram tipos de vínculos a que as vigas e lajes poderão estar sujeitas:



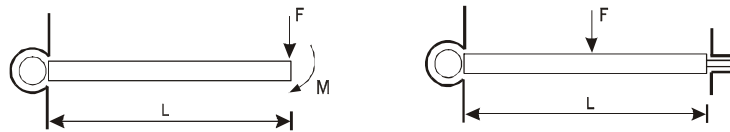
**Figura 10. 4 - Tipos de Vínculos**

Os vínculos da estrutura 1 impedem o deslocamento vertical descendente e o horizontal para a direita e a rotação no sentido horário.

Os vínculos da estrutura 2 impedem o deslocamento vertical descendente e os horizontais para a direita e esquerda e as rotações nos dois sentidos.

Os vínculos da estrutura 3 impedem os três movimentos: horizontal, vertical e rotatório.

Outra forma de vinculação que deve ser observada é a articulação. A porta é um exemplo típico de estrutura articulada. É ainda uma estrutura instável, pois está sujeita a movimentos rotatórios e os seus vínculos não poderão opor-se ao momento provocado pela força  $F$  e o braço de alavanca  $L$ , correspondente à própria largura da porta (figura 10. 5).



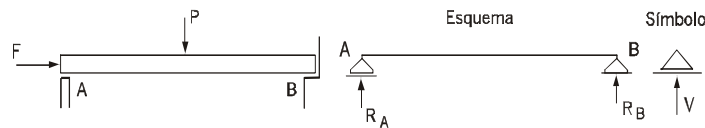
**Figura 10. 5 - Rótula**

Ao movimentar-se, a porta está sujeita a uma força  $F$  e o vínculo não tem como opor-se ao Momento  $M = FL$ , provocando o giro da porta (estrutura instável). Ao fechá-la, surge um outro tipo de vínculo, a fechadura, que impede os deslocamentos e a rotação.

Os vínculos nas estruturas podem ser:

### 10. 3. 1. Vínculo de Primeira Ordem ou Apoio Simples

Este tipo de vínculo, caracterizado na figura 10. 6 pelo ponto A, impede somente os deslocamentos verticais descendentes, permitindo os deslocamentos horizontal e o angular (rotação).



**Figura 10. 6 - Apoio Simples**

### 10. 3. 2. Vínculo de Segunda Ordem ou Articulação

É um vínculo que impede os deslocamentos horizontais e verticais, permitindo, somente, o deslocamento angular, a rotação. Os pontos A e B da figura 10. 7 representam esse tipo de vínculo.



**Figura 10. 7 - Articulação ou Rótula**

### 10.3.3. Vínculo de Terceira Ordem ou Engaste

O engaste oferece resistência aos três movimentos, isto é, impede os deslocamentos lineares e o angular e está representado pelo ponto A da figura 10.8. Constitui-se no vínculo perfeito.

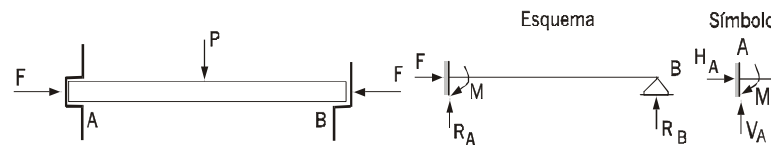


Figura 10.8 - Engaste

Entretanto, deve-se levar em consideração que se as forças aplicadas forem de grande monta, os vínculos poderão romper-se, não pelo tipo de esforço, mas sim pela sua intensidade.

### 10.4. Vinculação das Estruturas

Toda estrutura deve ser fixada a uma infra-estrutura que lhe dê sustentação. Esta infra-estrutura é constituída pelas fundações da edificação.

As fundações são elementos estruturais que estão em contato direto com o solo e que impedem os movimentos nos pontos de ligação estrutura/fundação. O impedimento desses movimentos cria os vínculos de ligação entre a estrutura e sua base de suporte. As forças vinculares que aparecem nesses pontos são as chamadas reações de apoio e têm o caráter de forças externas à estrutura, quando se considera a estrutura separada da infra-estrutura.

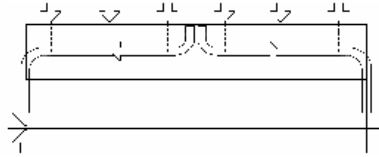
Para a concepção do sistema estrutural é necessário definir os tipos de vínculos com que cada um dos pilares empregados será ligado à respectiva infra-estrutura e, de maneira análoga, é necessário definir os tipos de ligação que serão utilizados entre os diversos tipos de elementos estruturais adotados na criação da estrutura.

### 10.5. Funcionamento das Vigas

As vigas são elementos estruturais horizontais resistentes à flexão e que não só são capazes de resistir às forças que atuam na direção de seu eixo, mas também por meio de esforços transversais, suportar forças perpendiculares a seu eixo e transmiti-las lateralmente ao longo do mesmo até seus apoios.

A viga é um conflito básico de direções e tem que ser resolvido através do projeto estrutural: a dinâmica vertical das cargas contra a dinâmica horizontal do espaço útil. A viga domina esse conflito, entre a natureza e a vontade humana, de maneira bastante simples.

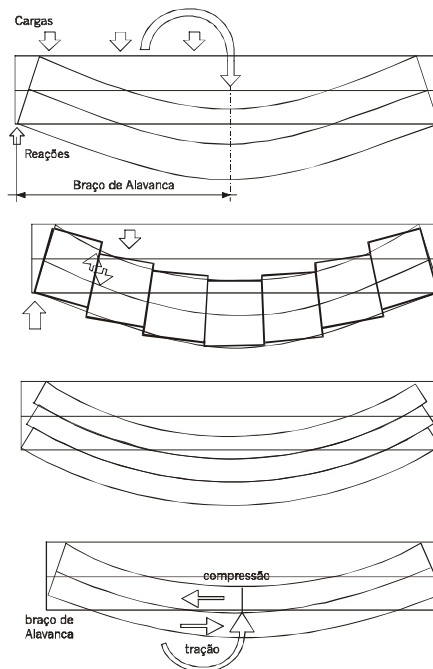
Em razão de transferir as cargas lateralmente e ainda manter-se na horizontal, o que é muito conveniente para o fechamento tridimensional do espaço, a viga é o elemento estrutural mais empregado na construção civil.



**Figura 10. 9 – Sistema de Reorientação de Forças nas Vigas**

O mecanismo portante das vigas consiste na ação combinada de esforços de tração e compressão no seu interior e, em conjunção com os esforços de cisalhamento, resistência à flexão. Ao ser solicitada, por seu peso próprio e associada às cargas externas, tende a fletir, produzindo tração e compressão em fibras distintas da viga. Sua estabilidade é mantida pelo equilíbrio entre os momentos de rotação externos e internos (momento fletor).

Estes mecanismos de flexão e de resistência à flexão podem ser melhor compreendidos através das figuras a seguir:



#### Momento de Rotação Externo (Flexão)

O somatório das forças externas (cargas e reações) gera uma rotação das extremidades livres (pontos de apoio), causando a curvatura do eixo longitudinal: flexão.

#### Esforço Cortante Vertical - Cisalhamento

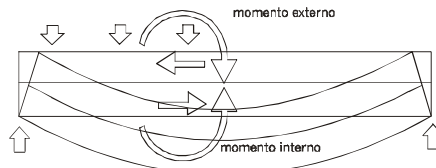
Uma vez que direção das cargas e reação não se encontram, as forças externas fazem as fibras verticais tenderem ao deslizamento, produzindo uma força cortante vertical.

#### Esforço Cortante Horizontal

A deformação por flexão provoca contração das camadas superiores e expansão das inferiores. As fibras horizontais tendem ao deslizamento, introduzindo um esforço cortante horizontal.

#### Momento de Rotação Interno

Em função da deformação por flexão, originam-se esforços de tração e compressão na seção por meio do cisalhamento, produzindo um momento de rotação interno.

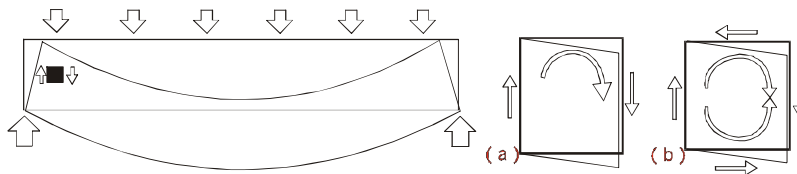


#### Flexão e Resistência à Flexão

O momento de rotação das forças externas produz uma deformação por flexão, até que seja atingido um ponto em que o momento de reação interno equilibre o externo.

**Figura 10. 10. – Mecanismo da Flexão (ENGEL, 1987)**

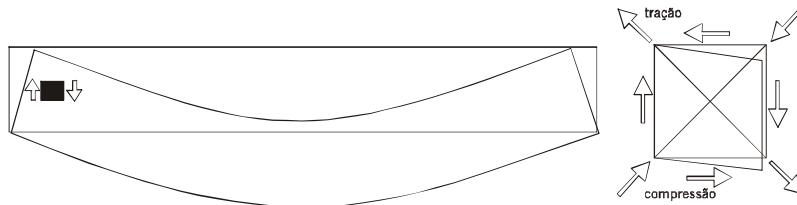
A relação entre o cisalhamento, a tração e a compressão na flexão são mostrados na figura abaixo:



**Figura 10. 11 – Cisalhamento na Flexão**

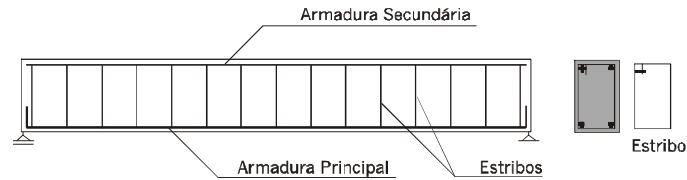
Em função das forças externas, originam-se esforços cortantes verticais que tendem a girar os elementos (retângulo) da viga e provocam a deformação por flexão (a). Em virtude desta deformação por flexão, também se originam esforços cortantes horizontais que tendem a girar os elementos (retângulo) em direção oposta e a estabelecer o equilíbrio rotatório (b).

Os esforços cortantes verticais e horizontais combinam-se para formar esforços, tanto de tração quanto de compressão, dando aos elementos (retângulo) uma forma rombóide. Esta deformação é suportada pela resistência do material (Figura 10. 12).



**Figura 10. 12 – Esforços Cortantes Combinados**

As tensões de tração nas vigas de concreto são combatidas por uma armadura longitudinal de aço disposta na zona tracionada e as de compressão, pelo próprio concreto pois o mesmo não possui a propriedade de resistência à tração mas somente à compressão. Para as tensões de cisalhamento são necessárias armaduras transversais, dispostas ao longo da viga e chamadas de *estribos*.

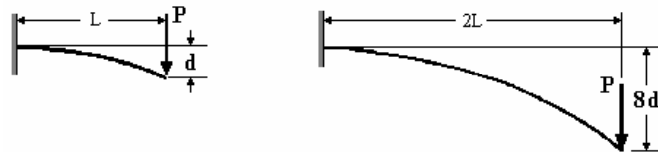


**Figura 10.13 – Distribuição da Armadura em Viga**

### 10.6. Viga em Balanço

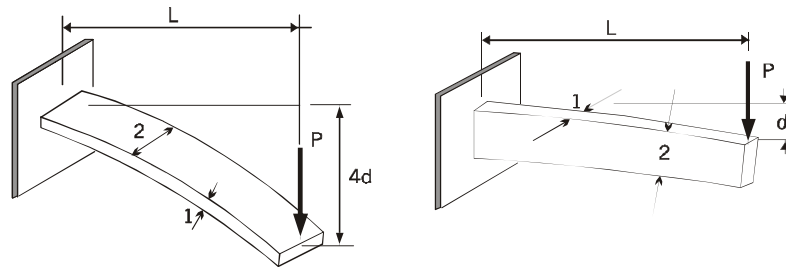
Ao segurar-se uma régua de pequena espessura e aplicar uma carga em sua extremidade, pode-se verificar que:

- \* a deformação aumenta rapidamente com o comprimento do balanço. Ao dobrar-se o comprimento, a deformação é multiplicada por 8, ou seja, pelo cubo do comprimento;



**Figura 10.14 – Influência do Comprimento sobre a Deformação**

- \* mantendo-se na horizontal o lado maior da régua, verifica-se que as deformações são muito maiores do que na vertical. As deformações são inversamente proporcionais ao lado horizontal da seção e ao cubo do seu lado vertical;



**Figura 10.15 – Influência da Altura sobre a Deformação**

A rigidez à flexão de uma determinada seção é medida por um valor denominado “Momento de Inércia” da seção e é proporcional à área da seção, isto é, a quantidade de material empregado e ainda, ao cubo de sua altura. Esse assunto é abordado na disciplina de Mecânica dos Sólidos (Resistência dos Materiais). Para uma seção retangular tem-se:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

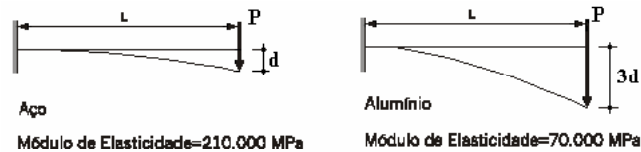
I - momento de inércia      b – base da viga      h – altura da viga

Com relação a viga da Figura 9. 15, teria-se:

$$I_1 = \frac{2 \cdot 1^3}{12} = 0,1667 \text{ un}^4 \quad I_2 = \frac{1 \cdot 2^3}{12} = 0,667 \text{ un}^4$$

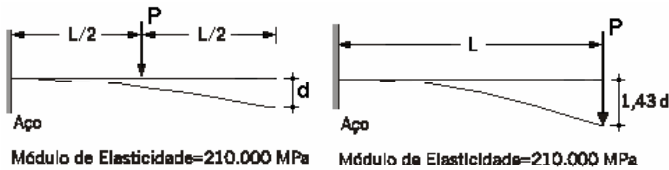
Observa-se que a viga com maior altura possui um Momento de Inércia maior que a de altura menor (2,5 vezes), caracterizando assim, uma melhor resistência à flexão.

\* duas réguas idênticas mas de materiais diferentes, como por exemplo, aço e alumínio, submetidas a um mesmo carregamento, apresentam deformações inversamente proporcionais aos módulos de elasticidade (E) dos materiais;



**Figura 10. 16 – Influência do Material sobre a Deformação**

\* a deformação aumenta ao deslocar-se a carga do apoio ao extremo do balanço.

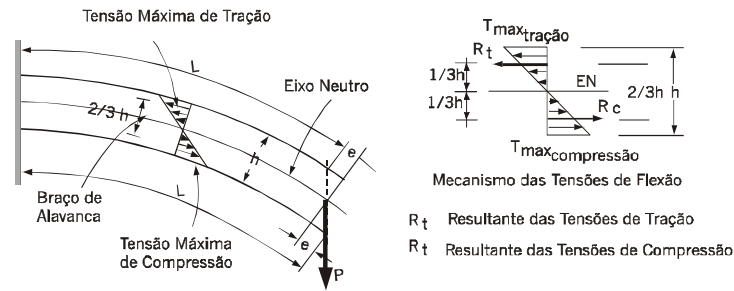


**Figura 10. 17 – Influência da Posição da Carga sobre a Deformação**

Outro fator que intervém na deflexão e merece consideração detalhada é o geométrico, isto é, a forma da seção da viga. Considerando uma viga de seção retangular em balanço, a deflexão provoca tração nas fibras superiores e compressão nas inferiores e produzem o estado de tensão denominado flexão, visto no capítulo 8.

As tensões de flexão ( $\tau$ ) variam de forma linear, desde um valor máximo de tração, nas fibras superiores, até um valor máximo de compressão nas fibras inferiores, anulando-se no eixo neutro (EN) da viga. A ação do momento provocado pela carga P tende a girar a viga para baixo, onde os momentos originários da tração ( $R_t \cdot 1/3h$ ) e da compressão ( $R_c \cdot 1/3h$ ) tendem a tornarem-se nulos, estabelecendo o equilíbrio rotatório da viga (Figura 10. 18).

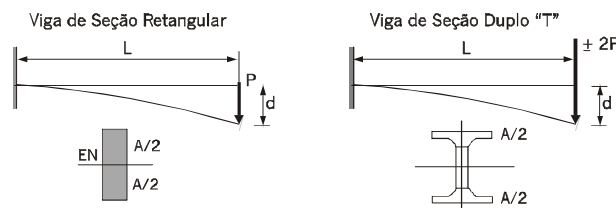




**Figura 10.18 – Flexão de Viga em Balanço**

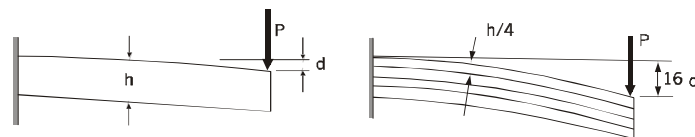
As vigas de seção retangular são pouco eficientes à flexão. A maioria de suas fibras não trabalham com tensões admissíveis, alcançando somente esses valores as fibras superiores e as inferiores.

Essa ineficiência pode ser resolvida dispondo-se a maior parte do material que a compõe, próximo às regiões superior e inferior da viga. As vigas tipo “duplo T” com a maior parte do material próximo às regiões superior e inferior apresentam essas características.



**Figura 10.19 – Variação da Resistência Segundo a Forma da Seção**

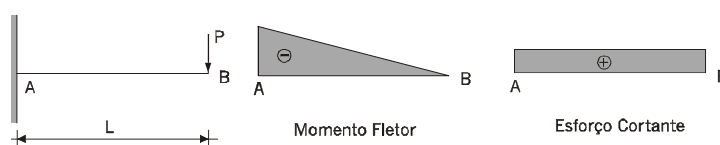
No item 10.5 verificou-se que as tensões de cisalhamento verticais são sempre acompanhadas das horizontais. A influência do cisalhamento horizontal sobre a rigidez de uma viga de seção retangular pode ser representado por uma viga cortada horizontalmente, em uma série de vigas retangulares de menor altura. Sob a ação de uma carga aplicada em seu extremo, esse conjunto de vigas sobrepostas apresentará grande deflexão, pois cada uma das partes desliza livremente em relação às outras e atua como uma viga de pequena altura.



**Figura 10.20 – Comparação entre Viga Maciça e Seccionada**

A distribuição dos esforços através de uma viga em balanço e de seção retangular pode ser representado graficamente. O momento de rotação, também denominado de Momento Fletor, distribui-se das mais variadas formas ao longo da viga, dependendo de seu comprimento, do tipo e da magnitude das cargas a que está submetida (SALVADORI, 1990).

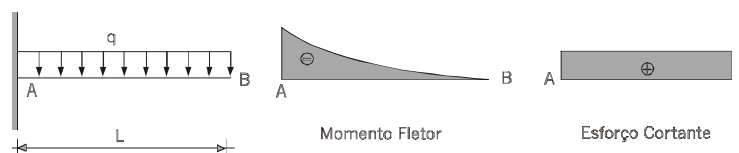
Assim, uma viga em balanço, sujeita a uma carga concentrada, as solicitações internas, isto é, as tensões de flexão e de cisalhamento podem ser representadas pela figura abaixo:



**Figura 10. 21 – Diagrama das Solicitações Internas (Carga Concentrada)**

Nesse caso, as tensões de flexão, o *momento fletor*, tem uma distribuição linear, sendo máximo no engaste e nulo no extremo do balanço. As tensões de cisalhamento, o *esforço cortante* são também distribuídos linearmente ao longo da viga.

Quando a carga é uniformemente distribuída ( $q$ ), o momento fletor atua de forma parabólica ao longo da viga, sendo máximo no apoio e nulo na extremidade do balanço e o esforço cortante atua linearmente e de maneira constante ao longo de toda a extensão da viga em balanço.



**Figura 10. 22 – Diagrama das Solicitações Internas (Carga Uniformemente Distribuída)**

### 10. 7. Viga Simplesmente Apoiada

Uma viga está simplesmente apoiada quando possui a liberdade de girar e de deslocar-se na direção longitudinal (Figura 10. 3), devido aos esforços causados pela dilatação ou pela ação de cargas horizontais. Este tipo de viga também é conhecida como *viga isostática*, porque o número de apoios são os estritamente necessários para manter o equilíbrio da viga. Teoricamente uma viga não necessita mais que dois apoios para manter-se equilibrada.

A distribuição das cargas sobre as vigas simplesmente apoiadas também obedecem aos mesmos critérios das vigas em balanço. Os critérios para a escolha dos tipos de apoios depende exclusivamente do projetista e podem ser tanto apoios como engastes.

Assim, estas vigas podem estar vinculadas aos pilares ou a outras vigas em forma de apoios, de engastes ou de uma combinação de ambos (Item 10. 3).

As vigas simplesmente apoiadas ou bi-apoiadas podem apoiar-se em seus extremos ou ainda possuir balanços. Estando sujeita a um carregamento deforma-se, apresentando deslocamentos: vertical e horizontal (translação) e rotações.

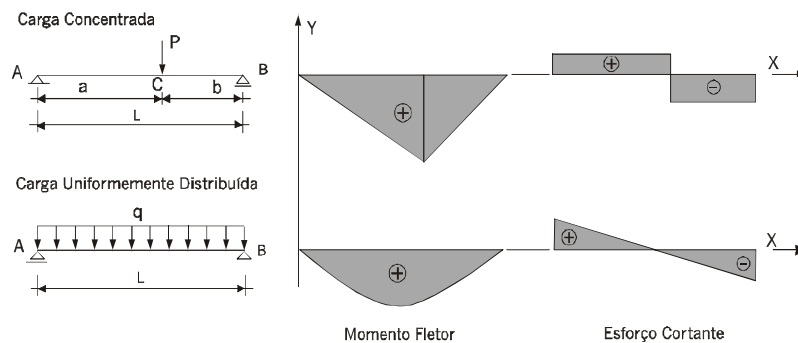


**Figura 10. 23 – Deformação em Viga Bi-apoiada**

Com uma carga concentrada, o valor máximo das tensões de flexão ocorre no ponto de aplicação da carga e as tensões de cisalhamento são maiores no apoio mais próximo à carga.

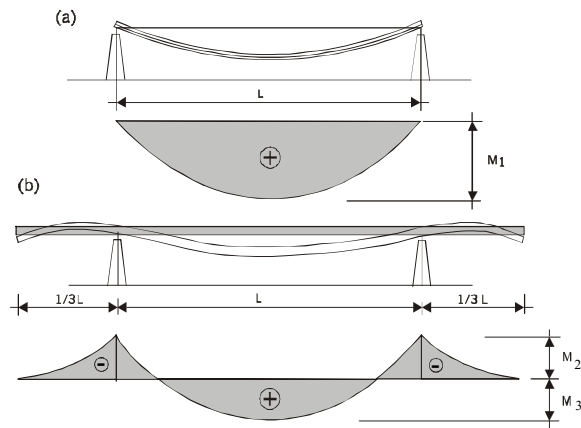
As tensões de flexão (momento fletor), para uma viga bi-apoiada com carga concentrada apresenta-se de forma linear e de cisalhamento (esforço cortante), é constante e positivo entre os pontos A e C e entre os pontos C e B também é constante, mas negativo. Para carga uniformemente distribuída, as tensões de flexão apresentam-se de forma parabólica e as de cisalhamento de forma linear.

Pode-se observar que uma viga simplesmente apoiada em seus extremos e submetida a uma carga uniformemente distribuída não apresenta condições ideais de eficiência, pois as tensões de flexão somente alcançam o valor admissível no meio do vão, onde a curvatura é máxima.



**Figura 10. 24 – Diagrama das Tensões de Flexão**

Afim de melhorar esse desempenho pode-se deslocar os apoios em direção ao centro do vão, fazendo com que a viga adquira dois balanços, onde a carga distribuída aplicada equilibra as tensões.



**Figura 10. 25 – Comparação entre Deformações**

A deformação no ponto médio do vão central diminui e as tensões e a curvatura sobre os apoios invertem-se. Para balanços iguais a  $1/3$  do vão central, o que seria o ideal, as tensões de flexão no meio do vão e nos apoios equiivalem-se, mas são de sentido contrários.

Observando a Figura 10. 25 verifica-se que:

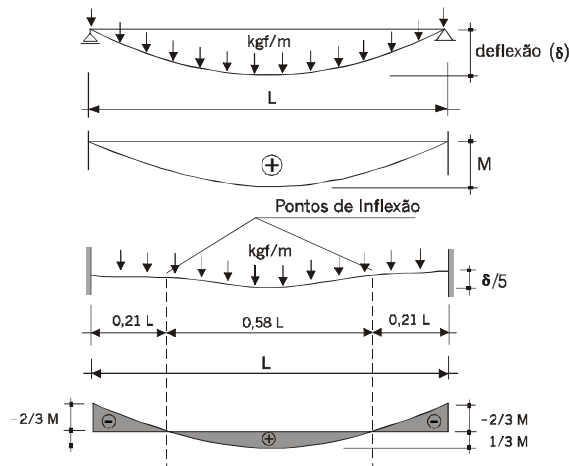
$$M_2 \equiv M_3 = \frac{1}{6} M_1$$

Pode-se concluir que a introdução de balanços diminui sensivelmente as tensões de flexão nas vigas, pois seu dimensionamento é efetuado por intermédio dos valores das tensões de flexão – momento fletor e esforço cortante. Esses valores indicam as tensões que a viga estará submetida quando todas as cargas nela atuarem, e ainda, é através dos diagramas de tensões que se pode aferir os valores do momento fletor e do esforço cortante ao longo de toda a viga, facilitando seu dimensionamento.

### 10. 8. Viga Bi-engastada

Quando os extremos de uma viga incorporam-se a um elemento rígido o qual a impede de girar, diz-se que está duplamente engastada e comporta-se como o tramo central de uma viga com balanços (Figura 10. 25), reduzindo as tensões de flexão.

Uma viga duplamente engastada e com uma carga uniformemente distribuída apresenta as tensões máximas de flexão nos extremos. Essas tensões são iguais ao dobro das registradas no ponto médio e a  $2/3$  das observadas em uma mesma viga com extremos simplesmente apoiados (Figura 10. 26).



**Figura 10. 26 – Deformação em Viga Apoiada e Engastada**

A deformação de uma viga com extremos engastados inverte sua curvatura em dois pontos, chamados *pontos de inflexão*, onde as tensões de flexão tornam-se nulas. Esta ausência de tensões de flexão nesses pontos indica que a viga comporta-se como se estivesse simplesmente apoiada neles, pois as tensões de flexão são nulas para estas vigas. Assim, uma viga com extremos engastados comporta-se como uma viga simplesmente apoiada com vão menor e extremos em balanço, demonstrando sua maior capacidade de carga e maior rigidez.

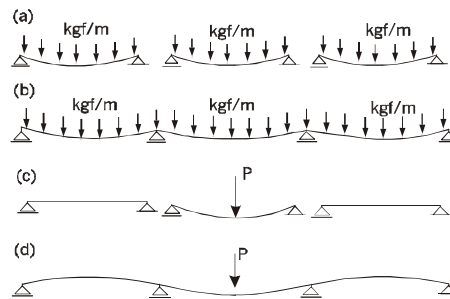
As vigas simplesmente apoiadas e as bi-engastadas constituem-se nos dois casos limites no que se refere a condições de apoio. As primeiras permitem, sem restrições, a rotação em seus extremos e as segundas, impedem-nos completamente. Na prática, podem aparecer situações em que a rotação seja impedida – parede apoiada sobre a viga – ou que a viga seja contínua, isto é, com mais de dois apoios (STEFFEN, 1982).

### 10. 9. Viga Contínua

A maioria das vigas de uma edificação possuem mais do que dois apoios e nesse caso são chamadas de *vigas contínuas*. Essas vigas também são conhecidas como *vigas hiperestáticas*, porque o número de apoios é maior que o necessário para manter seu equilíbrio. A continuidade de uma viga introduz novas características em seu comportamento.

Ao separar-se os tramos de uma viga contínua, apresentam deformações iguais aos de uma viga bi-apoiada (figura 10. 27a). A continuidade com os outros vãos inverte a curvatura sobre os apoios e restringe a rotação dos extremos comuns a dois vãos (Figura 10. 27b).

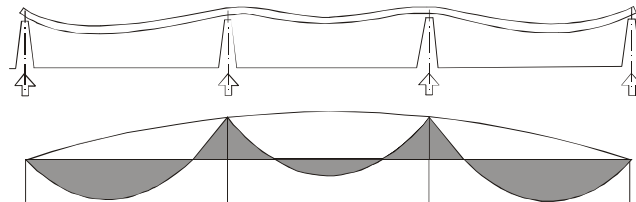
Com tramos simplesmente apoiados e somente um deles é carregado, as tensões de flexão e cisalhamento nesse tramo resistiriam por si sós a carga (Figura 10. 27c). Sendo contínua, os vãos tomam-se mais rígidos, participando toda a viga do mecanismo portante e parte da carga é transmitida aos vãos não carregados (Figura 9. 27d).



**Figura 10. 27 – Mecanismo Portante em Vigas**

Dependendo do comprimento e da rigidez (momento de inércia) dos diversos vãos, a rotação será impedida com diferentes graus de intensidade, e cada tramo desenvolve tensões e deformações intermediárias entre as correspondentes a vãos simplesmente apoiados e a vãos com extremos rígidos.

Com uma carga uniformemente distribuída em uma viga contínua, as rotações nos apoios centrais são restringidas e a flexão máxima ocorre nos vãos extremos onde os deslocamentos verticais (rotação) não são impedidos pelos apoios simples. A figura 10. 28 mostra a “deformada” de uma viga contínua com quatro apoios e seu diagrama de tensões de flexão (diagrama de momento fletor).



**Figura 9. 28 – Flexão em Viga Contínua**

### 10. 10. Vigas Especiais

As vigas não precisam, necessariamente, serem retangulares. Podem apresentar as mais diversas formas com implicações diretas em seu desempenho.

### 10. 10. 1. Viga de Seção “T”

Uma viga pode ser considerada como tendo seção transversal em forma de “T”, incorporando parte da laje que sustenta. Esse artifício é empregado com a finalidade de obter-se uma maior área de compressão, conseguindo com isso, maior capacidade de carga com maiores vãos.

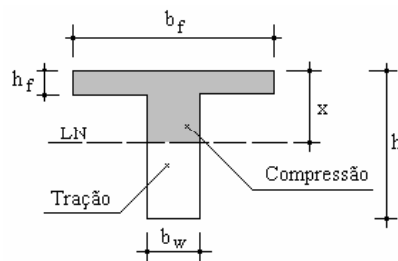


Figura 10. 29 – Viga de Seção “T”

### 10. 10. 2. Viga Gerber

São as vigas que possuem articulações ou rótulas de transmissão de esforços e, nesses pontos, as tensões de flexão são nulas – momento fletor nulo. Como as Normas Brasileiras não aconselham vigas de grande comprimento – superior a 30 m – pois os efeitos térmicos da dilatação e compressão podem comprometer a estrutura, a viga Gerber é amplamente utilizada para introduzir juntas de dilatação. Pode ser executada, posicionando habilmente as articulações, pois essas podem ser consideradas em qualquer parte ao longo da viga. Entretanto, para cada posição da articulação, o comportamento estrutural da viga também é diferente.

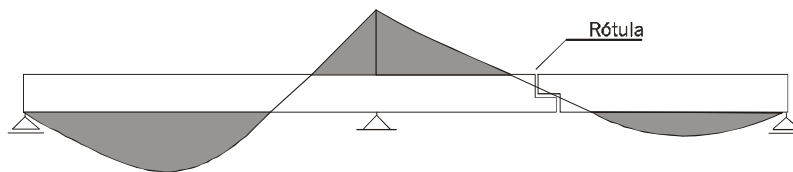
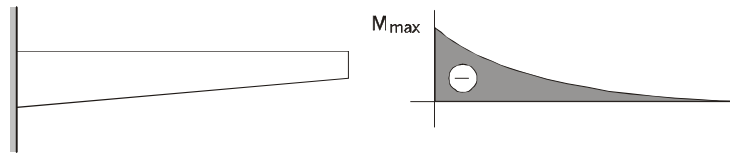


Figura 10. 30 – Viga Gerber

### 10. 10. 3. Viga com Mísulas

As vigas não precisam apresentar a mesma seção ao longo de todo o seu comprimento. Essas seções podem ser variáveis dependendo dos esforços a que estão submetidas. Portanto, quanto maiores forem as tensões, maiores serão as seções transversais da viga.

Em uma viga em balanço, onde as tensões de flexão são maiores junto ao apoio e nulas na extremidade, não há necessidade de manter-se a mesma seção em todo seu comprimento, transformando-a, portanto, em viga misulada. O mesmo pode ser feito, tanto para vigas bi-apoiadas como contínuas.



**Figura 10.31 – Viga Misulada**

#### 10.11. Pré-dimensionamento das Vigas

As alturas ( $h$ ) das vigas podem ser pré-dimensionadas para edificações residenciais ou com ocupação semelhante, com um grande grau de confiabilidade, de acordo com o quadro abaixo, considerando  $L$  com o vão teórico, isto é, a distância entre os centros dos apoios. Entretanto, deve-se levar em consideração que esses dados não poderão ser interpretados como regra geral, servindo somente como orientação.

Vigas	Bi-apoiada	Contínua	Em balanço
Concreto Armado	$h = \frac{L}{8}$ a $\frac{L}{12}$	$h = \frac{L}{12}$ a $\frac{L}{16}$	$h = \frac{L}{5}$ a $\frac{L}{7}$
Concreto Protendido	$h = \frac{L}{12}$ a $\frac{L}{16}$	$h = \frac{L}{16}$ a $\frac{L}{18}$	$h = \frac{L}{7}$ a $\frac{L}{9}$

Quanto à largura ( $b_w$ ), adotam-se, normalmente, as dimensões dos tijolos, que são padronizadas, com o intuito de, ao revestir-se as paredes com o reboco, o mesmo cubra as vigas, escondendo-as.

Tijolos Cerâmicos	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
6 furos	10 e 12	15 e 20	20
12 furos	12	20	20

Esta também não é uma regra geral, mas sim uma orientação para o seu pré-dimensionamento (LIN,1987).



## **Capítulo 11**

### **PILARES**

Os pilares são os elementos verticais das estruturas, absorvendo as cargas das vigas e transmitindo-as às fundações. São fatores determinantes na formação das edificações de múltiplos pisos, implicando diretamente na estabilidade, no equilíbrio, na funcionalidade e na estética.

Os pilares constituem-se nos sistemas estruturais verticais e requerem continuidade para o transporte das cargas, necessitando da congruência dos pontos de agrupamento de carga para cada piso. A distribuição dos pontos coletores de carga deve ser determinada não apenas por considerações de eficiência estrutural, mas também pelas de utilização do pavimento.

Portanto, os sistemas de absorção de cargas estão intimamente relacionados com a configuração e a organização do projeto arquitetônico. A interdependência é tal, que os sistemas de absorção de carga, propriamente ditos, produzem sistemas correspondentes de plantas.

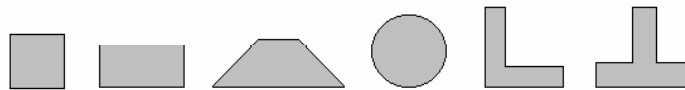
Com a finalidade de proporcionar condições adequadas para uma planta flexível e boas possibilidades de reorganização posterior dos compartimentos individuais em cada planta, o projeto de sistemas estruturais verticais, isto é, o arranjo estrutural, tem como meta a maior redução possível dos pilares, tanto em seção como em número.

O projeto ideal dos sistemas estruturais verticais (pilares) deve integrar todas as seções materiais dos compartimentos circulatórios verticais, que são componentes básicos da organização de um edifício, encontrando-se, portanto, intimamente ligados à origem técnico-dinâmica das edificações altas.

O projeto dos sistemas estruturais verticais pressupõe um conhecimento amplo, não só dos mecanismos de todos os sistemas estruturais, mas também, em razão da interdependência com a organização da planta e da integração com os equipamentos do edifício, um profundo desenvolvimento das correlações inerentes a quaisquer fatores determinantes de uma construção.

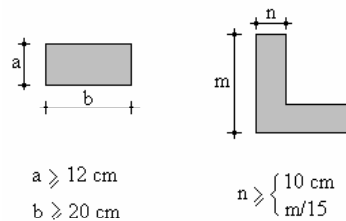
### 11. 1. Tipos e Modelos

Os pilares podem apresentar as mais diversas formas, dependendo da criatividade do projetista. A figura abaixo apresenta algumas dessas formas.



**Figura 11. 1 – Seções de Pilares**

Quanto à altura, em edificações com pé-direito normal, isto é, até 3,00 m de distância entre pisos, não apresentam qualquer tipo de problema, desde que sejam observadas as dimensões mínimas estabelecidas por norma e estejam vinculados em vigas na parte superior e inferior. Essas dimensões são:



**Figura 11. 2 – Dimensões Mínimas dos Pilares**

Em alguns casos, a norma permite que a menor dimensão (a) dos pilares retangulares pode ser reduzida para 10 cm. As dimensões (10 x 20 cm), dos pilares, somente poderão ser utilizadas em edificações até dois pavimentos.

### 11. 2. Funcionamento

Os pilares não se limitam a transmitir as cargas às fundações, mas também têm a função de resistir à ação do vento que provoca esforços horizontais na edificação. Em função das cargas verticais, funcionam à *compressão simples* e/ou à *flexo-compressão*, devendo ainda, serem analisadas: a resistência à compressão do material, a seção da peça e a carga.

#### 11. 2. 1. Compressão Simples

Os pilares sujeitos à compressão simples são aqueles em que a carga aplicada, de forma axial, coincide com o centro de massa da seção transversal do pilar. São os elementos de apoio das vigas e estas apoiam-se sobre uma região do pilar e, neste caso, a compressão simples ocorre, quando o centro de massa da área de contato da viga com o pilar coincidir com o centro de massa da seção transversal do pilar (Figura 11. 3).

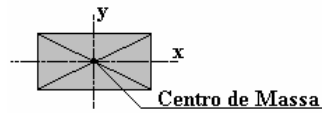


Figura 11.3 - Centro de Massa

### 11.2.2. Flexo-compressão

Quando não houver coincidência entre os centros de massa, diz-se que o pilar está sujeito à *flexo-compressão*. A medida da distância entre estes dois centros de massa é a chamada *excentricidade do pilar* e representado por  $e$  (Figura 11.4).

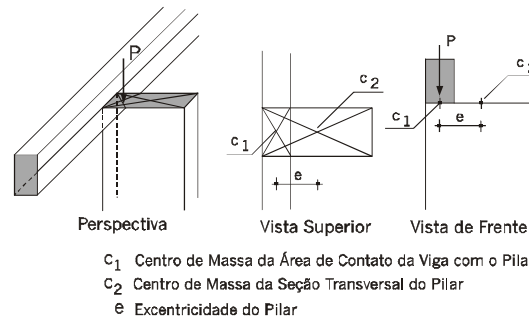


Figura 11.4 - Pilar Sujeito à Flexo-compressão

Nesse caso o pilar terá, necessariamente, que ser dimensionado em função da carga  $P$  e do momento  $M = P \cdot e$ , causado pela excentricidade da viga.

Um pilar pode ainda, estar sujeito a excentricidades na direção  $x$  e  $y$ , conforme as posições das vigas que nele se apoiem.

A excentricidade de um pilar pode também ser acidental, isto é, causada pela não verticalidade do pilar ou posicionamento incorreto da carga ou possíveis erros de construção.

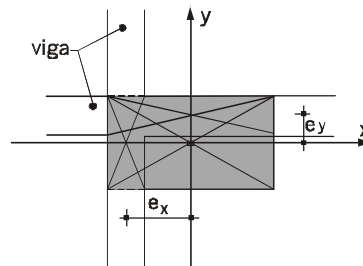


Figura 11.5 - Dupla Excentricidade de Pilar

### 11. 2. 3. Flexão Oblíqua

A flexão é considerada oblíqua ou desviada quando o plano de atuação da sollicitação não coincide com um dos eixos principais da seção. A flexão é portanto, aquela em que o esforço normal (axial) atua de forma excêntrica em relação aos dois eixos principais da seção.

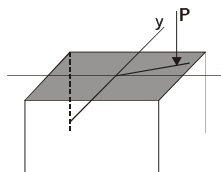


Figura 11. 6 - Excentricidade da Carga

### 11. 3. Flambagem

Ao observar a figura abaixo vê-se que a bengala, sob à ação de uma carga de compressão, em vez de limitar-se a diminuir seu comprimento curva-se, isto é, flamba e ocasionalmente, com o aumento dos esforços, poderá quebrar. A esbeltez dos elementos introduz, portanto, um novo tipo de limitação: a *flambagem*.



Figura 11. 7 - Flambagem por Compressão

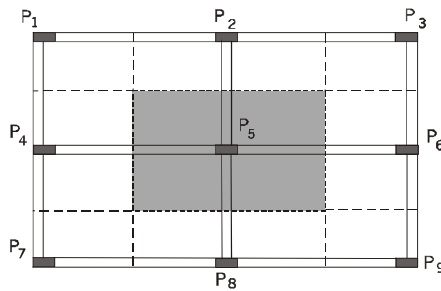
A flambagem do elemento estrutural depende fundamentalmente do material empregado, do seu comprimento, da forma geométrica da seção transversal e de sua vinculação aos extremos. O efeito da flambagem também pode manifestar-se na armadura dos pilares. Quando a carga supera a admissível, o concreto sofre um esmagamento provocando a flambagem das armaduras longitudinais (FUSCO, 1985).

### 11. 4. Pré-dimensionamento dos Pilares

Na etapa correspondente ao anteprojetado, a área do pilar ( $A_p$ ), por pavimento, pode ser obtida pela expressão:

$$A_p = \frac{\text{Área de Influência (m}^2\text{)} \times \text{Taxa de Carga (kgf/m}^2\text{)}}{\text{Resistência de Cálculo do Concreto (kgf/cm}^2\text{)}} \text{ [cm}^2\text{]}$$

A área de influência é obtida através da distância média entre pilares, aferida em planta, conforme a figura 11. 8.



**Figura 11. 8 – Área de Influência do Pilar**

A taxa de carga pode ser adotada como:

- \* Laje de Cobertura – 500 kgf/m<sup>2</sup> = 5 kN/ m<sup>2</sup>
- \* Laje de Piso – 1000 kgf/m<sup>2</sup> = 10 kN/ m<sup>2</sup>
- \* Baldrame – 500 kgf/m<sup>2</sup> = 5 kN/ m<sup>2</sup>

A resistência de cálculo do concreto (fcd) deve ser adotada como 100 kgf/cm<sup>2</sup> (1 kN/ m<sup>2</sup>)

As cargas da cobertura, dos pavimentos e do baldrame acumulam-se para obtenção da carga na fundação (STEFFEN, 1982).

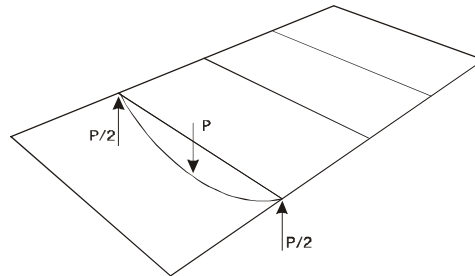
## Capítulo 12

### LAJES

Todos os elementos estruturais considerados até agora têm a propriedade comum de transferir as cargas em uma única direção e denominam-se *estruturas resistentes unidirecionais*, e pode ser representada por meio de uma linha reta ou curva ao longo da qual as tensões são direcionadas (vigas e pilares).

Para cobrir uma determinada área pode-se empregar esses elementos, mas deve-se levar em consideração que esse procedimento é pouco prático e ineficiente, pois a transferência das cargas ocorrem somente em uma direção.

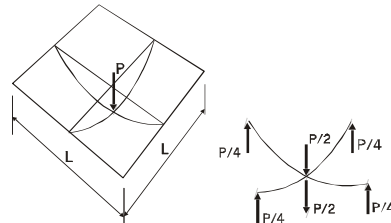
Assim, um sistema formado por vigas paralelas, a carga aplicada a uma delas não é transferida às outras. É pouco prático, porque enquanto uma viga flexiona as outras permanecem estáveis. É ineficiente, porque o sistema não trabalha como um conjunto para suportar a carga. A transferência da carga é sempre segundo uma direção e são absorvidas pelos apoios extremos ao passo que as regiões paralelas às vigas não suportam carga alguma.



**Figura 12. 1 – Sistema Unidirecional**

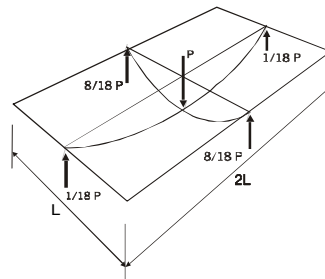
Estas considerações sugerem que do ponto de vista estrutural seria mais eficiente uma “transferência bidirecional de cargas” e isto ocorre quando se têm sistemas formados por lajes e/ou grelhas que são *estruturas resistentes bidirecionais* e atuam em um plano.

Dois vigas biapoiadas, perpendiculares entre si e de igual comprimento, a carga concentrada aplicada na interseção é transferida, bidirecionalmente, aos seus apoios e neste ponto sofrem igual deformação.



**Figura 12. 2 – Sistema Bidirecional com Vigas Iguais**

Portanto, duas vigas perpendiculares entre si e mesmo com comprimentos ou seções diferentes devem sofrer, em sua interseção, deformações iguais. Entretanto, é necessário a aplicação de maiores cargas em vigas mais rígidas do que em vigas mais flexíveis para obter-se as mesmas deformações e a mais rígida absorverá uma maior parte das cargas.



**Figura 12. 3 – Sistema Bidirecional com Vigas Desiguais**

Estes exemplos demonstram que a transmissão de cargas em duas direções é eficiente se as vigas tiverem, praticamente, a mesma rigidez. Se uma delas é mais rígida que a outra, absorverá maior parte da carga e a transmissão produzir-se-á, essencialmente, em uma única direção. A eficiência na transmissão das cargas, quando as vigas possuem comprimentos diferentes, a de maior comprimento deverá ter uma seção consideravelmente mais rígida (maior momento de inércia).

As lajes ou placas possuem um comportamento análogo ao das vigas perpendiculares, pois podem ser consideradas como se fossem formadas por infinitas vigas, perpendiculares entre si e dispostas umas ao lado das outras, formando uma malha.

Portanto, as lajes ou placas são os elementos planos das edificações (horizontais ou inclinadas), de estrutura monolítica e de altura relativamente pequena e que são caracterizadas por duas dimensões: sua largura e seu comprimento, predominantes em relação à sua altura e servem para separar os diversos pisos de um edifício.

### 12. 1. Função

- \* Resistente – suporta e transmite as cargas verticais às vigas e/ou paredes. Contribui também para resistir às forças horizontais provenientes da ação do vento;
- \* Isolante – além do isolamento à umidade, isola térmica e acusticamente os diversos pavimentos.

### 12. 2. Forma

As lajes podem adquirir as mais diversas formas e dimensões dependendo diretamente do projeto arquitetônico. Podem ser retangulares e não retangulares e ainda possuir alguns bordos livres, isto é, sem qualquer tipo de apoio.

### 12. 3. Classificação

As lajes classificam-se em: moldadas no local da obra ou pré-fabricadas.

<b>Moldadas no local</b>	<b>Pré-fabricadas</b>
Maciça	Placas (alveolar)
Mista	Vigas “T”
Nervurada	Vigotas de concreto armado
Grelha	Vigotas de concreto protendido
Cogumelo	Vigotas com armadura treliçada
Plissada	
Dupla	

#### 12. 3. 1. Lajes Moldadas no Local da Obra

##### 12. 3. 1. 1. Laje Maciça

São as lajes constituídas de concreto armado ou protendido. Podem ser consideradas como finas, as lajes com alturas menores ou iguais a 12 cm ( $h \leq 12$ ), e espessas, com alturas maiores que 12 cm ( $h > 12$ ), devendo esta altura manter-se constante em toda a extensão da laje. A altura da laje maciça pode ser pré-dimensionada, a nível de anteprojeto, com grande confiabilidade, da seguinte forma:

$$h \geq \frac{L}{45}$$

L - maior dos menores vãos (em todas as lajes do pavimento escolhem-se os menores vãos e dentre esses, adota-se o maior).

Podem ter vãos relativamente grandes, implicando com isso, no aumento de sua altura e podendo tornar os custos elevados. Deve-se, portanto, optar por outros tipos de lajes.



### 12. 3. 1. 2. Laje Mista

São aquelas constituídas por nervuras, intercaladas com blocos cerâmicos ou de concreto, capazes de resistir aos esforços de compressão oriundos da flexão, quando solidários com as nervuras de concreto (NB-4/80 - NBR 6119/80).

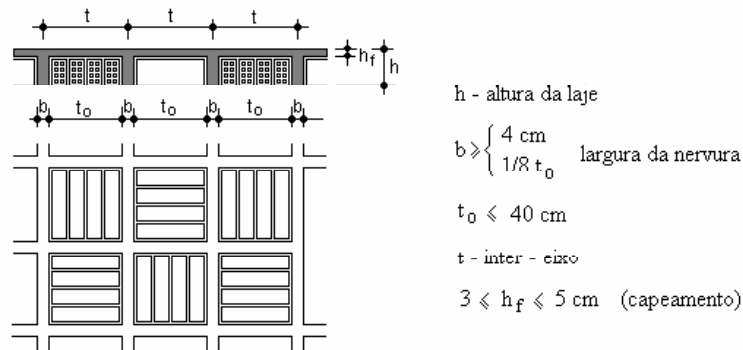


Figura 12. 4 – Laje Mista e/ou Nervurada

Para esse tipo de laje o capeamento não é necessário, pois os esforços de compressão são absorvidos pelas nervuras e pelos blocos intercalados entre as mesmas. Assim, pode-se obter as *lajes translúcidas*, com a colocação de blocos de vidro entre as nervuras.

O pré-dimensionamento dessas lajes, para anteprojetos, é obtido por:

$$h \geq \frac{L}{35} \quad L - \text{maior dos menores vãos}$$

### 12. 3. 1. 3. Laje Nervurada

É aquela cuja zona de tração é constituída por nervuras, entre as quais podem ser colocados elementos inertes de modo a tornar plana a superfície. Como elementos inertes podem ser utilizados os blocos de cerâmica ou de concreto celular, EPS (isopor), e caixas de papelão ou madeira, pois sua única função é preencher os vazios entre as nervuras.

Deve-se observar que para esse tipo de laje o capeamento é obrigatório, pois é ele que vai resistir aos esforços de compressão oriundos da flexão.

Considerando a Figura 12. 4 tem-se:

$$hf \geq 4 \text{ cm (obrigatório)}$$

$$t_0 \leq 100 \text{ cm (distância entre nervuras)}$$

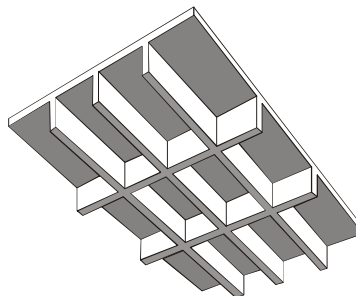
$$b \gg \begin{cases} 4 \text{ cm} \\ t_0/15 \end{cases}$$

Para efeitos de anteprojetado, o pré-dimensionamento dessas lajes é obtido por:

$$h \geq \frac{L}{40} \quad L - \text{maior dos menores vãos}$$

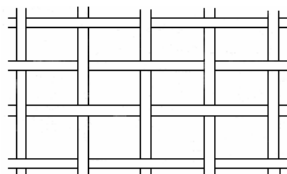
#### 12.3.1.4. Grelha

Quando o inter-eixo ( $t$ ), das lajes nervuradas (Figura 12. 4), for maior que 100 cm ( $t > 100$  cm), esta passa a chamar-se *grelha*. Os vazios entre nervuras não precisam ser preenchidos, conferindo assim, o aspecto de uma grelha.



**Figura 12. 5 – Grelha**

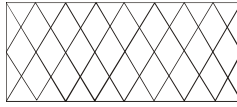
Seu funcionamento torna-se mais eficiente quando as vigas são entrelaçadas, isto é, suas posições relativas invertam-se em cada interseção. Com isto consegue-se cobrir maiores vãos com maior capacidade de carga.



**Figura 12. 6 – Grelha com Vigas Entrelaçadas**

As grelhas não precisam ter suas vigas paralelas aos lado do retângulo base. Pode-se conseguir uma diminuição na altura das lajes, refletindo nos custos totais da edificação, com o emprego de vigas oblíquas.

No caso de áreas retangulares com um lado bem maior que o outro, isto é, quando o quociente da divisão do lado maior pelo menor for maior ou igual a 2 (dois), as vigas com maior comprimento (paralelas ao maior lado) não apresentam função resistente, perdendo-se a ação bidirecional de distribuição das cargas. Com um sistema formado por vigas oblíquas consegue-se comprimentos iguais e, portanto, igual rigidez.

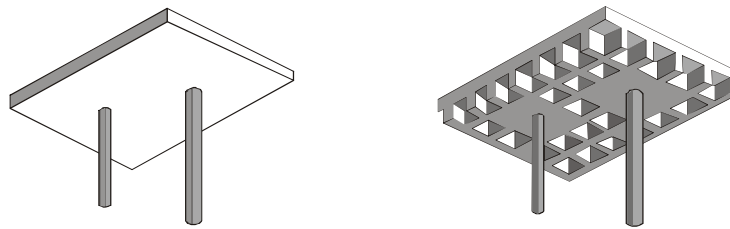


**Figura 12. 7 – Grelha Oblíqua**

As grelhas, portanto, são soluções estruturais notáveis, as quais os arquitetos podem recorrer para a obtenção de tetos onde a beleza e a estética devam predominar, como nos teatros ou nos auditórios.

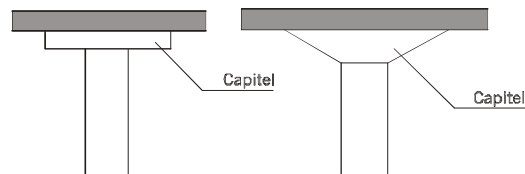
### 12. 3. 1. 5. Laje Cogumelo

As lajes tipo cogumelo são aquelas apoiadas diretamente sobre pilares. Podem ser maciças, de concreto armado ou protendido, ou incorporadas com material inerte, formando lajes nervuradas. Deve-se tomar precauções nas vinculações da laje com os pilares devido ao efeito da punção (tendência do pilar a furar a laje).



**Figura 12. 8 – Lajes Cogumelo**

Estas lajes podem ser providas de “capitel” para combater o problema da punção. O capitel produz um aumento da altura da laje ao redor dos pilares, melhorando seu funcionamento.



**Figura 12. 9 – Tipos de Capitel em Lajes Cogumelo**

As lajes cogumelo, maciças ou nervuradas de concreto armado podem ser pré-dimensionadas da seguinte forma (APOLLO, 1979):

$$h \geq \frac{L}{35} \Rightarrow \text{com capitel}$$

$$h \geq \frac{L}{30} \Rightarrow \text{sem capitel}$$

Atenção especial deve ser dada aos pilares que suportam lajes cogumelo

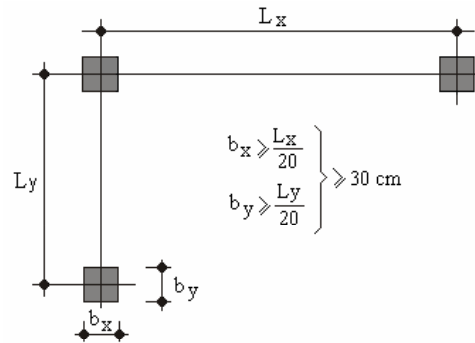


Figura 12. 10 – Dimensões dos Pilares

### 12. 3. 1. 6. Laje Plissada

A eficiência estrutural das lajes pode ser melhorada reforçando-a com nervuras, eliminando assim, parte do material existente na região próxima ao plano neutro, sem tensões. Igual resultado pode ser alcançado executando-se a laje com dobras.

Uma folha de papel segura pela mão não resiste ao seu próprio peso, pois devido a sua pequena espessura não possui propriedades físicas para resistir as tensões de flexão, mas com uma pequena dobra é capaz também de resistir a uma carga adicional.

Essa nova capacidade portante não é obtida aumentando-se a quantidade de material, mas sim, dando-lhe uma forma adequada. A curvatura aumenta a rigidez e o desempenho, pois dispõe parte do material afastado do eixo neutro e passando a funcionar de maneira semelhante a uma viga (Figura 12. 11).

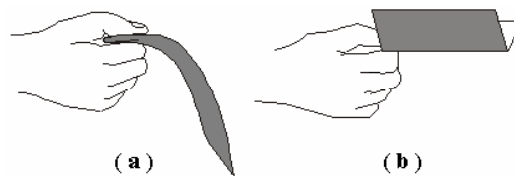
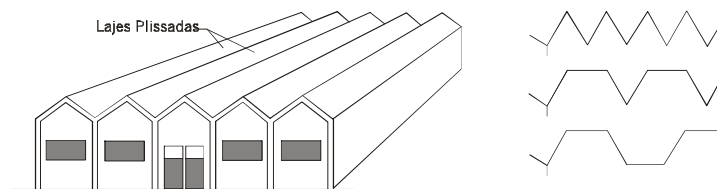


Figura 12. 11 – Dobra em Folha de Papel

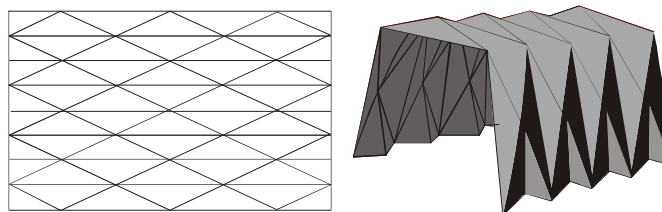
As lajes plissadas são estruturas resistentes pela própria forma e empregadas normalmente em coberturas, podendo adquirir os mais diversos formatos, inclusive circulares. Sua utilização na execução de muros de arrimo também é muito grande, pois sua forma permite resistir, com eficiência, às cargas horizontais (empuxo), provenientes das ações dos aterros ou da água (DI BARTOLO, 1985).



**Figura 12. 12 – Formas de Lajes Plissadas**

Seu funcionamento é uma combinação de viga transversal e longitudinal. Como normalmente seu comprimento é maior que o vão, essas lajes desenvolvem somente ação de viga na direção do vão, isto é, transversalmente.

Experimentos interessantes podem ser executados, simplesmente incentivando a criação e a busca incessante por novas formas arquitetônicas. Ao dobrar-se uma folha de papel nos lugares indicados e fixando-a em uma cartolina, obtém-se uma estrutura eficiente e bela, capaz de resistir a cargas significativas.



**Figura 12. 13 – Estrutura em Papel Dobrado**

### 12. 3. 1. 7. Laje Dupla

São normalmente empregadas para minimizar os efeitos térmicos e acústicos. Cobrem vãos relativamente grandes e possuem grande capacidade de carga. São também conhecidas como “lajes de caixão perdido”, pois as formas internas não são recuperáveis.



**Figura 12. 14 – Laje Dupla**

### 12. 3. 2. Lajes Pré-fabricadas

A função de uma laje não se limita a receber as ações das cargas e transmiti-las aos outros elementos da estrutura (apoios). Uma laje adequadamente projetada deve cumprir outros papéis, que em geral, por serem pouco conhecidos pelos usuários, não são devidamente valorizados.

O fator econômico, normalmente preponderante, por ser esse tipo de laje considerada de menor custo, sobrepõe-se a outros, também com funções de suma importância para o desempenho da edificação, como os isolamentos de origem térmica, acústica, à umidade e de proteção contra incêndio.

A escolha de uma laje deve satisfazer ainda as condições de *monolitismo*, *estabilidade*, *continuidade* e *rigidez* para conferir à estrutura, como um todo, o grau de segurança necessário a toda edificação.

Entende-se por monolitismo de uma laje pré-fabricada, como sendo a sua perfeita aderência dos elementos que compõem a laje com o concreto lançado em obra para execução do capeamento. Apesar de todos os cuidados empregados na concretagem, esta união nem sempre é possível, devido à falta de rugosidade nas faces dos elementos de concreto, surgindo assim, uma espécie de diafragma, formando uma interface entre as vigotas e o concreto do capeamento.

Estudos experimentais efetuados no Laboratório de Sistemas Construtivos – LabSisCo, Setor Estruturas, do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina levaram a essas conclusões.

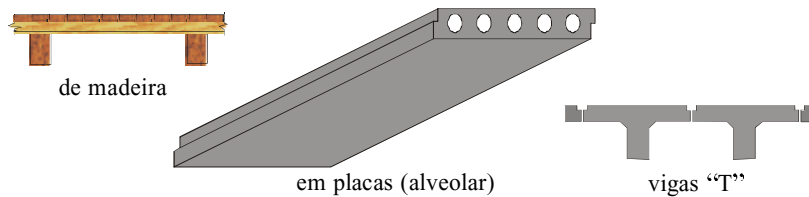
Quanto à estabilidade da estrutura, esta pode ser melhorada, quando se tem melhores condições de ligação da laje pré-fabricada com os elementos da estrutura que a suportam. Essas ligações ou vínculos podem ser: apoios ou engastes, parciais ou totais.

A continuidade entre lajes pré-fabricadas é a capacidade que ela possui de absorver os momentos negativos sobre os apoios, provenientes da continuidade da laje e que são combatidos pela armadura negativa disposta em seu capeamento, podendo com isto, aumentar a rigidez do conjunto laje-viga.

Portanto, ao projetar-se uma edificação, todos esses fatores devem ser levados em consideração, conforme prescrevem as normas, a fim de que as condições de conforto e segurança sejam perfeitamente asseguradas.

As lajes classificam-se ainda, de acordo com sua capacidade resistente, no momento em que são executadas em obra, em resistentes, semi-resistentes e não resistentes.

As lajes resistentes são aquelas em que seus componentes são capazes de resistir, por si sós, as solicitações impostas, isto é, às cargas de serviço a que são submetidas durante a execução da obra, sem necessidade de qualquer tipo de escoramento. Neste caso, encontram-se as lajes de madeira (assoalhos), as lajes pré-fabricadas em placas, do tipo alveolar, e as lajes de concreto armado formadas com vigas "T".



**Figura 12. 15. - Tipos de Lajes Resistentes**

As lajes consideradas semi-resistentes são as que necessitam da colaboração do concreto adicionado em obra para execução do capeamento, que funciona como um elemento de solidarização do conjunto e capaz de resistir aos esforços de compressão oriundos da flexão.

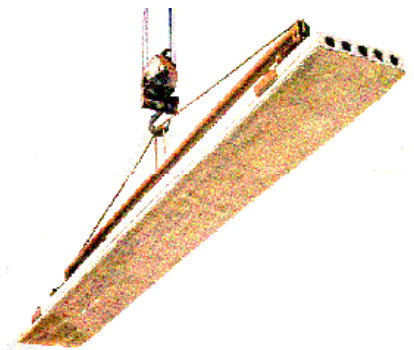
Os elementos que compõem as lajes semi-resistentes são as vigotas, os blocos, o capeamento, a armadura de distribuição de tensões e travamento das vigotas e, eventualmente, a armadura para absorver os momentos negativos.

Lajes não resistentes, são assim denominadas, porque suas características mecânicas, no momento de sua execução são nulas. Neste caso estão as lajes moldadas no local da obra.

#### **12. 3. 2. 1. Laje em Placas (alveolar)**

São lajes em concreto armado ou protendido, apresentando formas das mais variadas, diferenciando-se apenas pela forma dos alvéolos e dos encaixes, dependendo dos fabricantes. A largura e o comprimento variam conforme a necessidade de projeto.

Recebem ainda uma armadura complementar de travamento das placas, dispostas no sentido transversal e uma camada de concreto, o capeamento, para regularização do conjunto.. Possuem grande capacidade de carga e podem alcançar vãos relativamente grandes.



**Figura 12. 16 – Laje em Placa (alveolar)**

### 12. 3. 2. 2. Com Vigas “T”

São formadas por vigas “T” dispostas umas ao lado das outras. Funcionam de maneira idêntica às lajes em placas, alcançando maiores vãos e possuindo maior capacidade de carga. Também necessitam de uma armadura complementar e do capeamento.

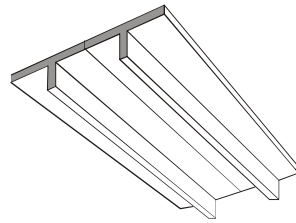


Figura 12. 17 – Lajes em Vigas “T”

### 12. 3. 2. 3. Com Vigotas de Concreto Armado

São lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto armado intercaladas com elementos inertes. Seu funcionamento é unidirecional e equivalente às lajes nervuradas armadas em uma única direção. As vigotas possuem a forma de um “T” invertido cuja altura varia entre 8 a 9 cm e a da laje corresponde a soma das alturas dos blocos com o capeamento.

Os elementos inertes (blocos) podem ter 7, 8, 10 e 12 cm sendo que o capeamento, para lajes de piso é 4 cm, admitindo-se 3 cm para lajes de forro. O comprimento dessas lajes pode chegar a 5,50 m.

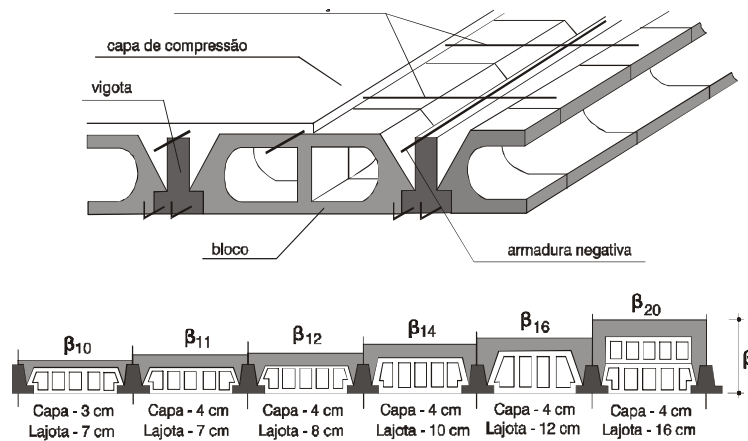


Figura 12. 18 – Laje Pré-fabricada com Vigotas de Concreto Armado



Como vantagens, tem-se lajes mais econômicas e de menor peso, podendo a laje cumprir, na maioria dos casos, as condições de estabilidade exigidas pelas normas. São amplamente utilizadas em edificações habitacionais ou com ocupação semelhante, pois apresentam grande redução de material e mão-de-obra (DI PIETRO, 1993).

#### 12.3.2.4. Com Vigotas de Concreto Protendido

As vigotas de concreto armado podem ser substituídas pelas vigotas de concreto protendido, por apresentarem certas vantagens, quais sejam:

- \* maiores vãos com maior capacidade de carga, podendo chegar a 12 m;
- \* melhor comportamento com relação ao cisalhamento;
- \* menores flechas com grande redução da fissuração excessiva.

A única desvantagem, por assim dizer, é com respeito ao seu maior custo proveniente da necessidade do uso de aços especiais para protensão e as instalações para sua fabricação, em pistas que requerem grandes investimentos iniciais.

A execução dessas vigotas é feita pelo processo da protensão com aderência inicial, que consiste em tracionar a armadura antes do lançamento do concreto. Após o concreto adquirir certa resistência, liberam-se os cabos tracionados proporcionando a pré-compressão do concreto.

#### 12.3.2.5. Vigotas com Armadura em Treliça

Esse sistema é constituído por uma laje nervurada, unidirecional, onde as vigotas treliçadas são intercaladas com elementos inertes. Essas lajes possuem grande capacidade de carga conseguindo vencer vãos relativamente grandes. O modelo estrutural é composto por uma treliça espacial, hiperestática, com banzos paralelos e nós rígidos.

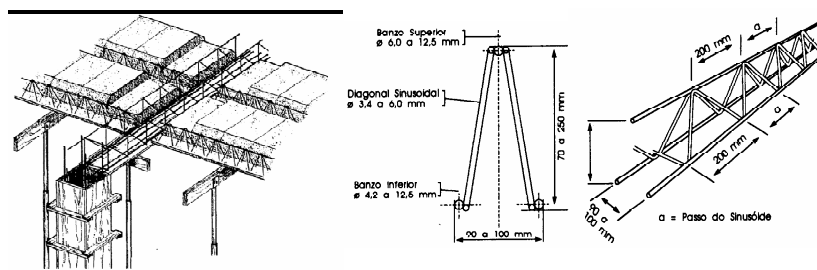


Figura 12.19 – Lajes com Armadura em Treliça

Sua aplicação oferece grandes vantagens, pois podem ser utilizadas para vãos de até 15 m. Apresentam melhores condições de monolitismo e de combate ao cisalhamento.

## 12. 4. Circulação Vertical

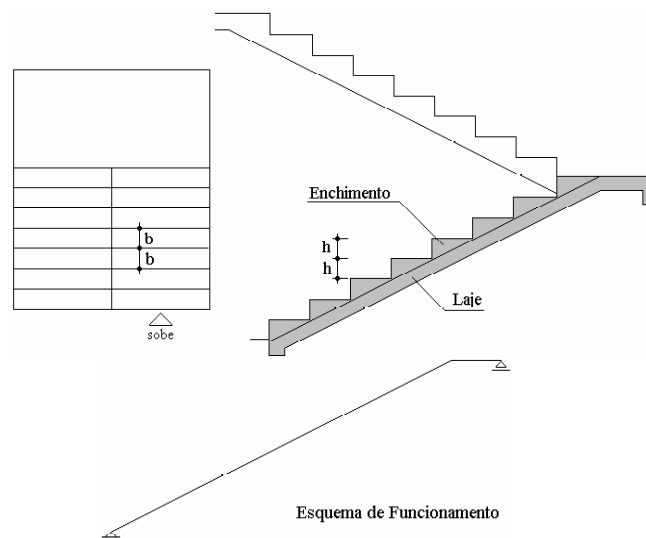
A circulação vertical entre os diversos pavimentos (andares) de uma edificação pode ser realizada por intermédio de escadas, rampas, elevadores, monta-cargas e escadas rolantes. A escolha do elemento de circulação vertical que ligará dois ou mais pisos depende da utilização desses pisos, do tipo de usuários, do número de pessoas, da altura a ser vencida (pé-direito) e da finalidade do elemento de circulação vertical.

O sistema de circulação vertical, constituído pelas escadas e rampas, é regulamentado pela norma brasileira NBR 9077/85.

### 12. 4. 1. Escadas

As escadas, como elementos de composição arquitetônica, devem ter seus degraus adaptados ao passo humano e, sua largura, permitir uma circulação confortável entre os diversos pavimentos.

A relação ideal entre a largura e a altura dos degraus foi estabelecida pelo arquiteto francês Jacques François Blondel, (1705-1774), através do princípio básico: *O esforço para vencer alturas é o dobro do esforço para vencer distâncias horizontais*. Considerando que o passo humano médio normal é de 62 a 64 cm, chega-se a relação mais adequada para a proporção dos degraus (Fórmula de Blondel):  $62 \leq 2h + b \leq 64$  cm.



**Figura 12. 20 – Escada**

Ainda, de acordo com as normas, os degraus não devem ter altura superior a 18 cm, A altura considerada ideal é de 17 cm (degraus de 17 x 29 cm). Em escadas monumentais externas, o degrau ideal é de 16 x 32 cm (FAILLACE, 1991).

Com respeito ao funcionamento, as escadas são dimensionadas de maneira semelhante às lajes, podendo apresentar formas das mais diversas, de acordo com as necessidades e com o desejo criativo dos projetistas.

#### **12. 4. 2. Rampas**

As rampas proporcionam a circulação por meio de planos inclinados, substituindo com vantagens as escadas, quando corretamente dimensionadas. De acordo com as normas, a declividade máxima das rampas externas é 10% e, internamente, admite-se 12,5%. Os pisos devem ser anti-derrapantes com lanços sempre retos, devendo as curvas serem formadas por patamares planos.

Como as rampas ocupando maior área de piso são, obviamente, menos econômicas que as escadas, convém utilizá-las somente quando indispensáveis. Nestas condições, cabe ao projetista estudar convenientemente o projeto evitando os casos em que o emprego de rampas é indispensável.

As rampas, como as escadas, são calculadas e dimensionadas como lajes inclinadas e armadas em uma única direção. Existem casos em que poderão estar em balanço, engastadas em viga de concreto armado.

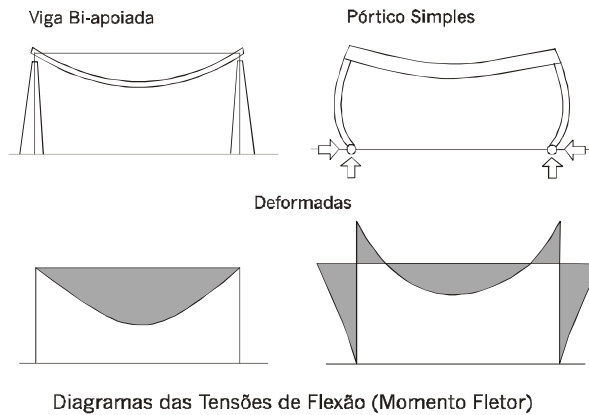
## Capítulo 13

### PÓRTICOS E ARCOS

Os sistemas estruturais compostos por vigas e pilares, vistos até agora, comportam-se de maneira isolada, isto é, a viga absorve as cargas a ela impostas e as transmite aos pilares. Esse sistema não apresenta uma união rígida entre viga e pilares, possibilitando os deslocamentos verticais (rotação) e os horizontais (translação), da viga.

#### 13. 1. Pórtico Simples

O desempenho do sistema viga-pilar modifica-se substancialmente ao introduzir-se um vínculo rígido entre eles. Transforma-se assim, esse sistema até então conhecido, em um novo sistema estrutural: *o pórtico simples*. Sua vinculação com as fundações pode ser através de engastes ou rótulas (bi-engastado ou bi-articulado).



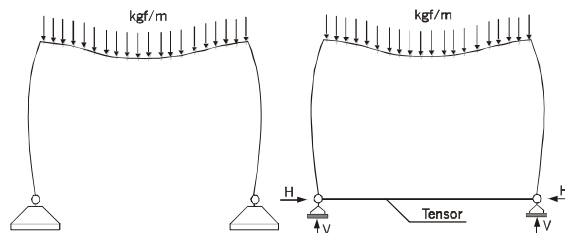
**Figura 13. 1 – Mecanismo de Pórtico e sua Relação com a Viga Bi-apoiada**

Esse novo sistema comporta-se de maneira monolítica, isto é, como um único elemento formado por uma viga e dois pilares. A introdução desse sistema proporciona uma maior rigidez, tornando-o mais eficiente à ação das cargas verticais como das horizontais, permitindo ainda, vencer maiores vãos.

O efeito provocado pela vinculação rígida entre o elemento horizontal e os verticais do pórtico induz de imediato a três conseqüências:

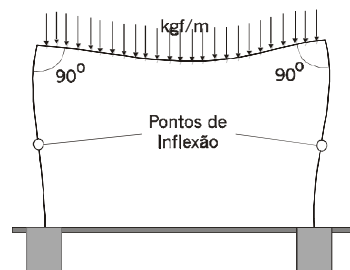
- \* A viga, possuindo extremos elasticamente engastados, torna-se mais rígida podendo resistir melhor às tensões de flexão;
- \* Os pilares estão submetidos, não somente às cargas de compressão transmitidas pela viga, mas também a tensões de flexão devido a sua continuidade com a viga;
- \* Para manter o pórtico em equilíbrio sob a ação de cargas verticais surge uma nova força horizontal, o *empuxo*, que mantém o equilíbrio dos pilares, fazendo-os voltar a posição vertical.

O empuxo é uma tensão típica da ação de pórtico e que pode ser combatida pelas próprias fundações ou por um tirante com a finalidade de evitar os deslocamentos horizontais (empuxo). O tirante tanto pode ser um cabo de aço como uma viga de concreto, onde as armaduras terão que resistir, não só às tensões de flexão como também às de tração impostas pelo empuxo.



**Figura 13. 2 – Empuxo no Pórtico Simples (Articulado)**

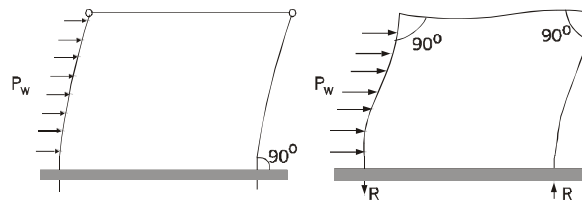
Os pórticos engastados nas fundações e submetidos à ação de cargas verticais apresentam, nos pilares, um ponto de inflexão onde os mesmos funcionam como uma articulação, não desenvolvendo, neste ponto, tensões de flexão.



**Figura 13. 3 – Pórtico Simples Engastado**

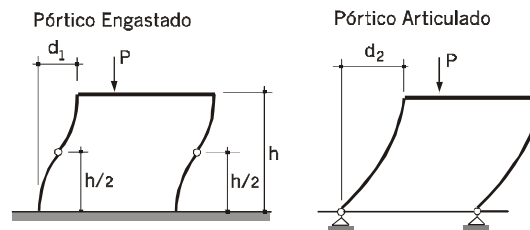
Assim, os pórticos engastados são mais rígidos que os articulados, pois eqüivalem a pórticos com pilares mais curtos e com empuxos também menores, porque é necessário uma força de maior magnitude para que os pilares voltem às suas posições originais.

Os pórticos também apresentam um melhor desempenho a cargas laterais provenientes da ação do vento e que são absorvidas pelos pilares, onde ocorre tração na face exposta ao vento e compressão na face oposta. Essas tensões provocam um momento nos pilares e que são pequenos devido ao seu braço de alavanca com o comprimento igual a seu próprio vão.



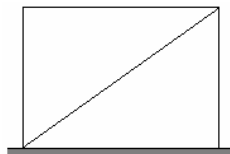
**Figura 13. 4 – Ação do Vento em Sistemas de Viga e Pilares e Pórtico Simples**

O deslocamento lateral ou inclinação que sofre um pórtico, submetido à ação de cargas laterais, também acontece quando ao mesmo é aplicado uma carga assimétrica.



**Figura 13. 5 – Deformação em Pórtico Engastado e Articulado**

A rigidez de um pórtico simples pode ser melhorada introduzindo-se uma barra diagonal sujeita à tração ou compressão. Normalmente, os sistemas estruturais retangulares como os pórticos, por exemplo, são mais flexíveis que os sistemas triangulares (treliças), mas essas pouco satisfazem as exigências funcionais das modernas edificações (HOWARD, 1981).

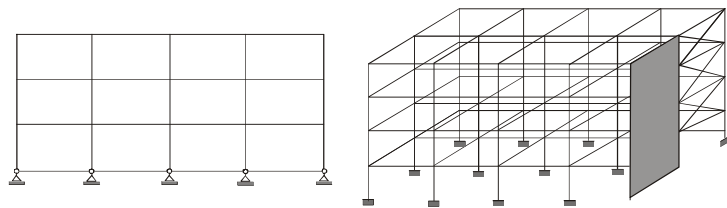


**Figura 13. 6 – Barra de Rigidez**

Ao aplicar-se uma carga horizontal, da esquerda para a direita, a barra diagonal estará sujeita à tração e, da direita para a esquerda, à compressão.

### 13. 2. Pórticos Múltiplos

Quando há necessidade de cobrir vãos relativamente grandes torna-se conveniente a multiplicidade dos pórticos. O aumento do número de pilares multiplica o pórtico horizontalmente e, o aumento da altura, com a colocação de outras vigas multiplica o pórtico verticalmente. Obtém-se assim, os pórticos múltiplos planos. O mesmo procedimento realizado na terceira dimensão conduzirá ao pórtico múltiplo espacial.



**Figura 13. 7 – Pórtico Múltiplo e Espacial**

A continuidade entre viga e pilar apresenta, como visto, inúmeras vantagens que podem ser aproveitadas na execução de pórticos múltiplos que detém o mesmo comportamento estático dos pórticos simples, com a vantagem de desenvolverem maior rigidez de conjunto, devido ao grande número de “nós” (encontro entre vigas e pilares).

Desta forma, os pórticos múltiplos poderão ter menores dimensões que os simples, com exceção dos pilares que quanto mais próximos do pavimento térreo, maiores serão suas seções transversais, devido ao acúmulo das cargas. Da mesma forma possuem grande resistência às cargas horizontais oriundas da ação do vento.

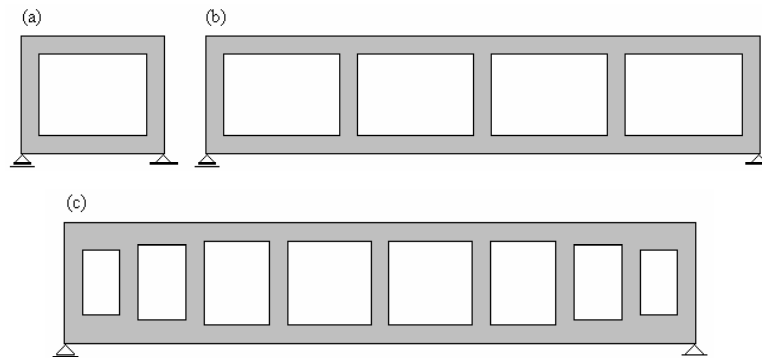
As cargas provenientes da ação do vento, em edificações altas e estreitas, fazem com que os mesmos funcionem como uma estrutura em balanço engastada nas fundações, onde o extremo superior do edifício pode oscilar.

A minoração dessas deformações pode ser obtida pela execução de paredes estruturais ou de vigas diagonais em uma ou duas direções, chamadas de *vigas de contraventamento*, com resultados estáticos excelentes (Figura 13. 7).

Quando se une rigidamente as bases dos pilares de um pórtico simples obtém-se um elemento estrutural fechado com capacidade de resistir, com eficiência, tanto às cargas verticais como às horizontais (Figura 13. 8a).

Aumentando o número de quadros tem-se um pórtico múltiplo com vigas contínuas, onde a superior absorve os esforços de compressão e a inferior os de tração. As tensões de cisalhamento são absorvidas pelos elementos verticais. Esse sistema, denominado de *Viga Vierendeel*, em função de seu inventor, um engenheiro belga, é amplamente empregada em estruturas de edifícios e de pontes, onde há necessidade de vencer grandes vãos (Figura 13.8b).

A forma dos painéis da viga Vierendeel é em função das tensões a que está submetida. Como o esforço cortante é maior junto aos apoios, suas dimensões podem ser modificadas nessas regiões a fim de melhorar o desempenho (Figura 13.8c).



**Figura 13.8 – Viga Vierendeel**

### 13.3. Pórtico de Duas Águas

Sujeito à ação de cargas verticais, os três elementos constituintes de um pórtico simples, a viga e os pilares, estão submetidos à flexão e à compressão. As cargas aplicadas à viga provocam compressão nos pilares e estes, por sua vez, tendem a rotacionar nos pontos de engastamento (nós), produzindo flexões.

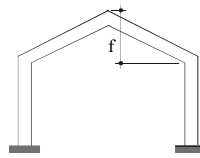
Na viga predominam as tensões de flexão e, nos pilares, a de compressão. Por esse motivo, os elementos constituintes dos pórticos devem apresentar:

- ⇒ as vigas devem ter predominância na altura para melhor absorverem as tensões de flexão;
- ⇒ os pilares devem ter sua maior dimensão no sentido da viga para melhorar seu desempenho com relação ao empuxo e as tensões de flexão a que estarão sujeitos.



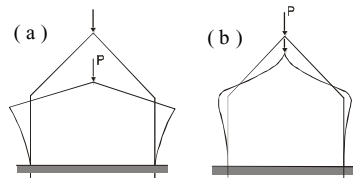
Os pórticos podem ainda, apresentar vigas não horizontais e, desta maneira, serem formados por duas vigas inclinadas, constituindo-se nos *pórticos de duas águas*.

Nesse caso, os pilares estariam sujeitos a esforços horizontais causados pelas vigas e funcionariam como elementos em balanço e, estariam ainda submetidos à compressão causada pelas cargas verticais. Quanto maior for a flecha  $f$ , tanto menores serão as tensões de flexão nos pilares e maiores as de compressão (Figura 13. 9).



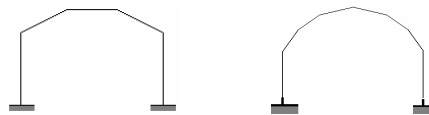
**Figura 13. 9 – Pórtico de Duas Águas**

No pórtico de duas águas, o elemento superior é constituído por duas vigas inclinadas e se estivessem articuladas em seus extremos atuariam como duas barras comprimidas de uma treliça e, os pilares, além de estarem sujeitos à compressão, flexionariam pelo empuxo causado pelas vigas (Figura 13. 10a). Se esses vínculos forem engastes, surgem tensões de flexão nas vigas, de maneira que o pórtico transmite as cargas através de uma combinação de tensões de tração e compressão oriundas da flexão (Figura 13. 10b).



**Figura 13. 10 – Deformação em Pórtico de Duas Águas: Articulado e Engastado**

Os pórticos podem ainda, possuir mais de duas vigas, transformando-se nos *pórticos poligonais* ou *funiculares*. Nesse caso, as tensões de flexão nas vigas diminuiriam em função de apresentarem menores vãos e, conseqüentemente, menores empuxos.



**Figura 13. 11 – Pórtico Poligonal ou Funicular**

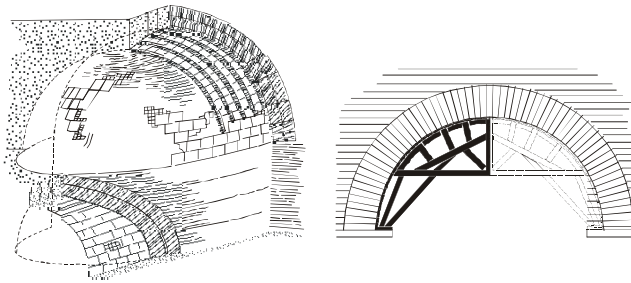
Como foi visto no Capítulo 9, a forma funicular é obtida pendurando-se cargas em um cabo, transformando-o em uma poligonal. Ao inverter-se verticalmente essa posição obtém-se

uma forma que pode ser adotada para execução de um pórtico, conseguindo-se assim, o chamado pórtico funicular.

Quando se aumenta indefinidamente o número de vigas de um pórtico poligonal ou funicular, o limite é o arco.

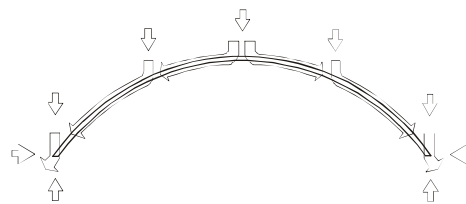
#### 13. 4. Arcos

Os arcos são elementos estruturais notáveis e foram empregados de maneira excepcional durante o império romano. Permitem a execução de grandes vãos, desenvolvendo preponderantemente, tensões de compressão. A construção de arcos em alvenaria de cerâmica argamassada para formação de domos, cúpulas e abóbadas foi uma técnica muito difundida até meados do século XIX, principalmente na edificação de templos e palácios, onde havia necessidade de espaços mais amplos.



**Figura 13. 12 – Arcos Romanos**

Os arcos absorvem as tensões provocadas pelas cargas externas e as transmitem aos apoios através de esforços de compressão, desenvolvendo também tensões de flexão não muito significativas.

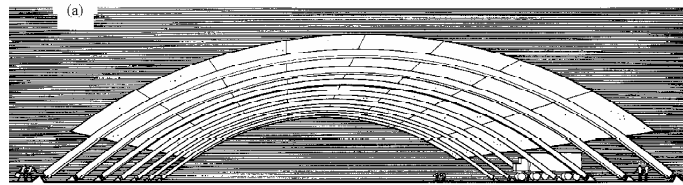


**Figura 13. 13 – Mecanismo de Arco**

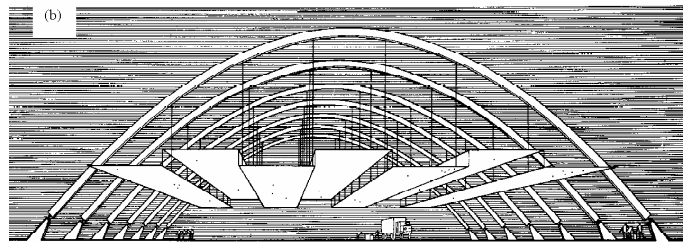
A vinculação dos arcos em seus sistemas de apoio podem ser através de engastes (bi-engastado) ou de articulações (bi-articulado), que permitem a rotação pela ação das cargas ou

das variações de temperatura, apresentando pequenas tensões de flexão (Figura 13. 14a e b). Os engastados são mais rígidos e sensíveis a qualquer tipo de deslocamento da estrutura.

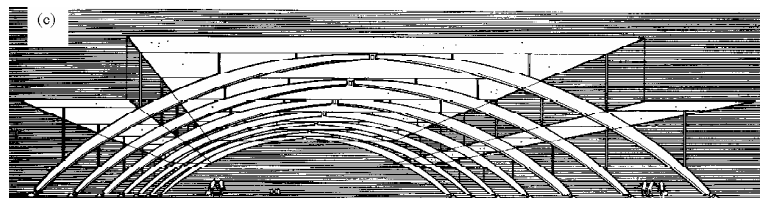
Os problemas provenientes da variação de temperatura e de recalques das fundações podem ser minimizados com a introdução de uma terceira articulação em seu ápice, dando origem ao arco tri-articulado (Figura 13. 14c).



**Arco bi-articulado com curvatura em Catenária**



**Arco bi-articulado com curvatura parabólica**



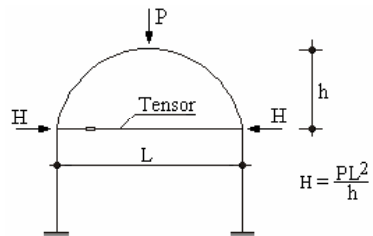
**Arco tri-articulado com curvatura parabólica**

**Figura 13. 14 – Tipos de Arcos**

Os arcos apresentam não só reações verticais, mas também as horizontais (empuxo) que podem ser combatidas por tirantes desde que estejam dispostos adequadamente para não impedir o trânsito.

Para combater as tensões provenientes do empuxo pode-se estabilizar o arco através de um tirante (tensor), colocado em sua base, evitando que o mesmo se abra. Assim, quanto

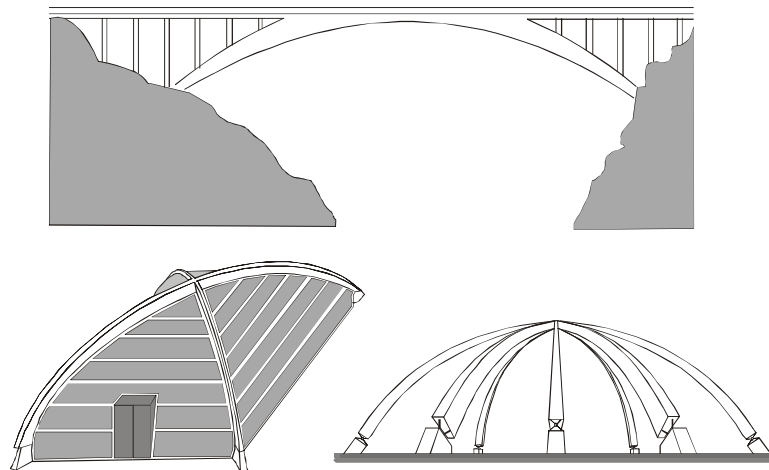
maior for a altura de um arco, menores serão os empuxos. A expressão que conduz a determinação das tensões de empuxo é:



**Figura 13. 15 – Tensões de Empuxo**

A forma dos arcos pode ser das mais variadas, apresentando curvaturas circulares, parabólicas, elípticas e catenárias. Entretanto, a escolha da forma deve ser a que mais se aproxime da forma funicular apresentada pelas cargas de maior magnitude, de maneira a reduzir ao mínimo as tensões de flexão (KEPES, 1987).

A aplicação do sistema estrutural em forma de arco, não só nas edificações, mas também na construção de pontes onde são necessários grandes vãos, é amplamente utilizada. A disposição dos arcos assume, muitas vezes, formas que conduzem a estruturas de grande beleza estética.



**Figura 13. 16 – Aplicações de Arcos**

## Capítulo 14

### MEMBRANAS

Os recipientes que trabalham sob pressão, como os balões, os tubos, as caldeiras, os estômagos, as veias e as artérias são estruturas que funcionam à tração: sofrem esforços de tração multidirecionais.

A função de um elemento submetido à pressão é a de conter um fluido (hermeticidade) e suportar os esforços originados pela pressão interna. A maioria desses esforços são de tração e exercidos em todas as direções, paralelamente à superfície do recipiente. O esforço perpendicular à superfície é tão pequeno que pode ser desprezado.

#### 14. 1. Recipientes Esféricos

Considerando uma estrutura esférica sujeita a uma pressão interna  $p$ , com um raio  $r$  e espessura de parede  $d$ .

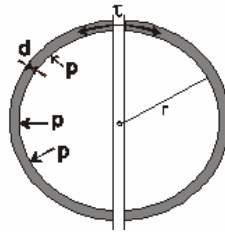


Figura 14. 1 - Recipiente Esférico

Sendo o recipiente cortado em duas partes ao longo de um diâmetro, a resultante de todas as forças originadas pela pressão que atua na face interna de cada uma das metades deve ser igual a soma de todas as forças que estariam atuando sobre a superfície produzida pela seção e cuja área é  $2\pi r d$  (GORDON, 1978).

Por outro lado, a resultante de todas as forças originadas pela pressão que atua sobre a superfície curva interna de uma semi-esfera é igual a pressão que atua sobre um disco plano de mesmo diâmetro cuja superfície é  $\pi r^2$ . Assim obtém-se:

$$\tau = \frac{\text{carga}}{\text{área}} = \frac{\pi r^2 p}{2\pi r d} = \frac{rp}{2d}$$

Logo, a tensão ( $\tau$ ) em todas as direções paralelas à superfície de um recipiente esférico é:

$$\tau = \frac{rp}{2d} = \frac{p}{4}$$

#### 14. 2. Recipientes Cilíndricos

O comportamento dos recipientes cilíndricos é diferente dos esféricos. A tensão ao longo de um cilindro não é igual a tensão tangencial que é exercida no sentido de sua circunferência.

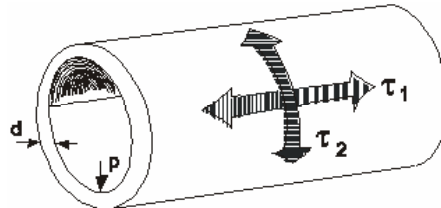


Figura 14. 2 - Tensões em Cilindro

A tensão  $\tau_1$  que atua ao longo da superfície cilíndrica é igual a tensão exercida em um recipiente de forma esférica (NASCH, 1990):

$$\tau_1 = \frac{rp}{2d} = \frac{p}{4} \quad (1)$$

A tensão tangencial  $\tau_2$  é

$$\tau_2 = \frac{rp}{d} = \frac{p}{2} \quad (2)$$

Verifica-se, comparando as expressões 1 e 2, que a tensão tangencial é o dobro da longitudinal. Isso explica que, quando uma salsicha é levada ao fogo e seu conteúdo infla, aumentando de volume até romper a pele, a rachadura ocorre sempre na direção longitudinal, isto é, a pele rompe-se sob o efeito da tensão tangencial e não da longitudinal.

A consequência desse efeito é que, para conter um volume determinado de fluido a certa pressão, necessita-se de maior quantidade de material se for utilizado um recipiente cilíndrico em vez de um esférico.

A teoria estrutural relativa aos recipientes sob pressão também é válida para outros tipos de estruturas como as membranas e os tecidos sujeitos à pressões geradas pelo movimento do ar ou da água: tendas, pára-quadras, velas de barcos, moinhos de vento, tímpanos e também as asas dos morcegos. Em todos esses, as membranas flexíveis devem ser fixadas em base estrutural rígida.



**Figura 14. 3 - Morcego**

Quando submetidas à ação do vento, estas estruturas adotam uma forma semelhante a segmentos de esfera ou cilindro e são válidas as leis aplicadas a recipientes sujeitos à pressão interna.

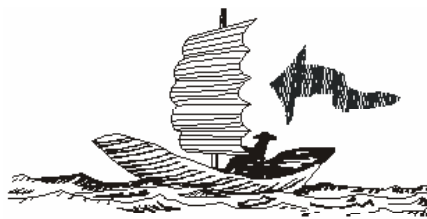
As asas de certos morcegos da Índia, quando abertas, lhes conferem uma envergadura de mais de um metro e estão fixas a uma ossatura fina e leve. A observação desses animais em vôo permitiu verificar-se que durante a fase descendente do bater de asas, a pele (membrana) infla para cima, adotando uma forma semicircular que minimiza os esforços sobre os ossos.

As tensão nas membranas, por unidade de comprimento é o produto da pressão do vento ( $p$ ), pelo raio de curvatura ( $r$ ), da membrana (GRIMSHAW, 1993).

$$\tau = r \cdot p \quad (3)$$

A pressão causada pelo vento aumenta com o quadrado da velocidade. Se o vento é forte, a pressão torna-se muito elevada, aumentando as cargas sobre a estrutura de sustentação. A maneira sensata e econômica de diminuir as cargas provocadas pela ação do vento sobre as velas de uma embarcação, que as transfere aos mastros, sem perder-se muito a eficiência aerodinâmica, é permitir que as mesmas se inflem cada vez mais, diminuindo assim, o seu raio de curvatura que, por conseqüência, diminui a tensão, já que essa é igual a  $pr$ .

Os juncos chineses são exemplos da elegante aplicação desse princípio (BROECK, 1986).



**Figura 14. 4 – Junco Chinês**

### 14. 3. Materiais Flexíveis

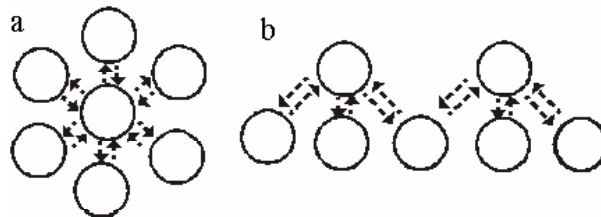
A estrutura das primeiras formas de vida consistia-se de uma membrana flexível, similar, de muitas maneiras, à tensão superficial que se encontra nos líquidos. Admitia-se que essas membranas, por razões fisiológicas, poderiam distender-se sem rompimento e retornar às suas formas normais uma vez cessada a pressão.

De fato, as membranas dos seres vivos atuais podem deformar-se, devido à tração, de 50 a 100% sem causar danos irreversíveis. Nos materiais estruturais empregados na execução de estruturas rígidas, as deformações admissíveis, em geral não ultrapassam 0,1%.

### 14. 4. Tensão Superficial

Tensão superficial é a força que provoca coesão na superfície de um líquido. É uma tensão de contração que tende a minimizar a interface entre líquido e ar ou entre líquidos. As moléculas da superfície são atraídas para o interior do líquido já que a superfície tende a tornar-se a mínima possível. Um exemplo desse fenômeno é encontrado na gota d'água que tende a adotar a forma esférica e cuja relação superfície/volume seja a mais econômica.

O fenômeno que proporciona a coesão de um líquido é a inter-atração de suas moléculas. Dentro de um líquido, cada molécula está rodeada por outras e são atraídas simultaneamente por todos os lados, mantendo seu equilíbrio (Figura 14. 5a).



**Figura 14. 5 - Fenômeno da Coesão nos Líquidos**

Para as moléculas superficiais a única atração é em direção ao interior do líquido (Figura 14. 5b). Esse desequilíbrio gera uma contração na superfície, minimizando-a. A atração intermolecular equilibra-se com as forças de repulsão gerando assim superfícies mínimas. A tensão superficial é uma força constante dentro de certos limites e depende da natureza do líquido. Cada líquido tem sua própria tensão superficial.

A tensão superficial confere a uma gota de mercúrio a forma esférica que equilibra a força de atração gravitacional. A tensão superficial difere da tensão elástica de Hooke em três aspectos (NASCH, 1990):



1. A tensão é constante e não depende da deformação ou extensão da superfície;
2. A superfície de um líquido pode distender-se, quase ilimitadamente, sem romper o que não ocorre nos sólidos;
3. A tensão não depende da área da seção transversal.

São muitas as vantagens da tensão superficial como pele ou invólucro de um microrganismo. Permite extensões importantes e é auto-reparável em caso de ruptura, facilitando a reprodução, já que ao inflar pode romper-se dando lugar a duas gotas.

#### 14. 5. Comportamento das Membranas

Na natureza, nenhuma das paredes celulares funcionam somente sob tensão superficial, mas possuem um comportamento mecânico muito semelhante. Uma das dificuldades implícitas na tensão superficial é a sua constância, não permitindo seu aumento em função da espessura da membrana, limitando assim as dimensões de qualquer recipiente feito dessa forma.

Um exemplo de material que tem as características de tensão superficial, em toda a sua espessura, é a saliva que pode distender-se, quase que infinitamente, sem romper-se. Ainda que a maioria dos tecidos animais não possam distender-se como a saliva, um grande número deles apresentam características semelhantes com deformações em torno de 50% (GORDON, 1989).

Uma membrana que tenha um comportamento análogo à tensão superficial é uma estrutura que funciona sob um único esforço: a tração que ocorre em todas as direções. A única forma de recipiente, sujeito à pressão e compatível com essa condição, é a esfera e suas seções.

Assim, a única possibilidade de se conseguir uma forma alongada (cilíndrica), através das membranas desse tipo, é em forma segmentada, muito comum nos animais como as



larvas.

**Figura 14. 6 - Forma Segmentada das Larvas**

Para as formas tubulares ou cilíndricas, como as veias e as artérias, o material é necessariamente diferente, já que nesse tipo de estrutura a tensão tangencial é o dobro da axial (longitudinal).

As borrachas naturais ou sintéticas são materiais que cumprem esse requisito até uma determinada tensão e a partir da qual muda seu comportamento, sendo incerta a deformação. De fato, um tubo de borracha ao ser inflado deforma-se, surgindo uma protuberância esférica.

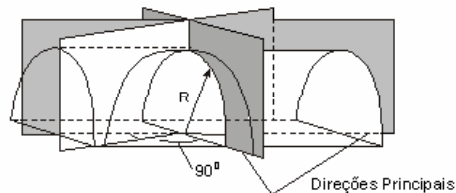


**Figura 14. 7 - Deformação em Estrutura Tubular**

Este comportamento é relativamente raro nos tecidos animais por ser fisiologicamente indesejável. Uma deformação desse tipo em uma veia ou artéria é conhecida na medicina como “aneurisma”.

Portanto, as membranas por serem constituídas de materiais delgados, não podem resistir aos esforços de compressão, flexão ou cisalhamento, mas somente à tração e pode se desenvolver em todas as direções. Essa falta de resistência à maior parte dos estados de tensão, tem proporcionado, através da criatividade humana, meios de utilização das membranas como forma de estruturas, principalmente devido a seu baixo peso.

No caso das formas cilíndricas, um plano paralelo ao eixo corta-o segundo uma reta, indicando a falta de curvatura nessa direção e um plano perpendicular ao eixo apresenta a máxima curvatura do cilindro. Essas duas direções denominam-se direções principais de curvatura.



**Figura 14. 8 - Curvaturas de um Cilindro**

Essas curvaturas entretanto, não são exclusivas do cilindro mas características de toda superfície curva que contém, sempre, curvaturas máximas e mínimas perpendiculares entre si, apresentando tensões completamente diferentes nessas direções e que são chamadas de

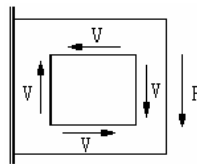
*tensões principais da membrana.* Os elementos orientados segundo essas direções não apresentam tensões de cisalhamento, que alcançam seu valor máximo a 45° em relação às direções principais (BROECK, 1986).

Assim, quando as cargas mudam de posição, as membranas adquirem formas para suportar esse novo carregamento. Uma analogia com um sistema de cabos mostra que os mesmos apresentam uma forma funicular somente em uma direção, ao passo que a membrana é funicular em todas as direções, porque pode distribuir as cargas de maneira bidirecional.

Apesar de ser uma estrutura com resistência bidirecional, não desenvolve tensões apreciáveis de placa (flexão e cisalhamento), pois sua espessura é muito pequena comparada com largura e comprimento. As membranas resistem às cargas por ação de um mecanismo similar a um sistema de cabos e apresenta uma forma semelhante de eficiência estrutural.

Assim, um elemento retangular extraído de uma membrana e que suporta uma carga normal, isto é, uma pressão, apresenta uma deformação curva em duas direções e pode ser considerada como a interseção de dois cabos. Essa característica geométrica da membrana denomina-se *curvatura*.

O caráter resistente bidirecional da membrana permite um segundo mecanismo portante por meio do desenvolvimento de tensões de cisalhamento na superfície da membrana. Ao sustentar-se uma folha de papel por um de seus bordos, verifica-se que ela resiste às cargas que atuam em seu próprio plano por tensões de cisalhamento.



**Figura 14. 9 - Tensão de cisalhamento**

A ação estrutural de uma membrana é melhorada submetendo-a à tração antes da aplicação das cargas. Os bombeiros utilizam uma membrana de forma circular, tencionada através de um aro metálico para socorrer as pessoas que se jogam pelas janelas dos edifícios durante os incêndios. A película delgada absorve o impacto da queda, flexiona elasticamente e em função de sua flexibilidade, salva a quem saltou.

Os guarda-chuvas constituem outro exemplo de membrana tracionada com tensões incorporadas. As nervuras curvas de aço impulsionadas para fora e conectadas à haste , submetem a tela à tração, dando-lhe uma forma que permite resistir às cargas. Dentro de

determinados limites, a membrana de um guarda-chuva pode absorver pressões nos dois sentidos: de baixo para cima ou vice-versa. A armação de aço inverte suas tensões de acordo com a ação do vento, mas a membrana permanece submetida à tração.

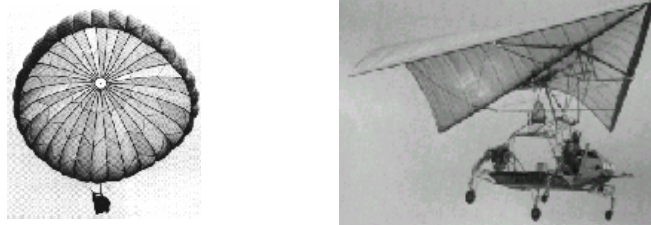


**Figura 14. 10 - Membrana Tencionada de um Guarda-Chuva**

Observa-se que as tensões nas membranas são praticamente de tração e distribuem-se de maneira uniforme por sua espessura, caracterizando uma otimização do material empregado. As deformações devido à tração são pequenas comparadas com as deformações por flexão.

#### **14. 6. Emprego das Membranas**

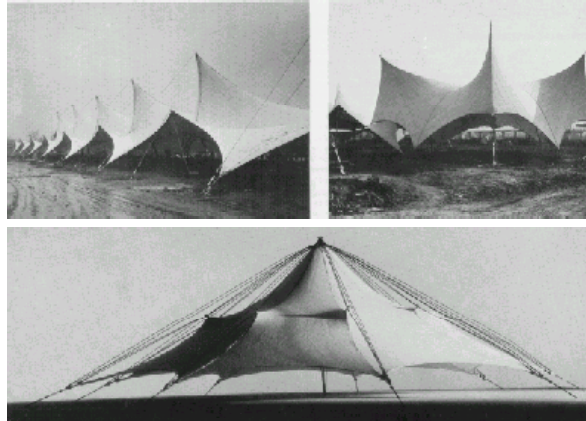
Atualmente, as membranas são empregadas em diversos tipos de estruturas. Os pára-quadras, empregados como meio de transporte tanto civil como militar, apresentam um eficiente desempenho ao que se propõem, devido à pressão gerada em seu interior. A carga transportada é transferida à membrana por meio de um sistema de cabos que reduzem a sua curvatura e, conseqüentemente, as tensões na membrana. Os ultraleves são também formas de transporte que combinam as vantagens dos pára-quadras com a dos planadores clássicos.



**Figura 14. 11 – Pára-quadras e Ultraleve**

No campo da arquitetura, as membranas são amplamente utilizadas nas suas mais diversas formas, caracterizando, muitas vezes, verdadeiras obras de arte. Possibilitam a cobertura de grandes vãos com um relativo baixo custo e reduzido tempo de execução. Suas desvantagens são: vinculação ineficiente (apoios), falta de conforto, tanto térmico como acústico e sua pequena durabilidade.

As figuras a seguir representam um escultórico sistema de membranas executadas por ocasião da feira internacional de Hamburgo, na Alemanha em 1963, representando, as duas primeiras, as ondulações do mar e a seguinte uma tenda (DREW, 1963).



**Figura 14. 12 - Formas Esculturais de Membranas**

#### 14. 7. Estruturas Pneumáticas

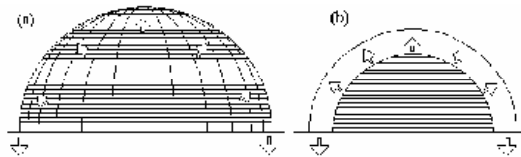
Estruturas pneumáticas são estruturas que mantêm sua forma devido à pressão interna. Os balões de borracha, as câmaras de ar, os botes infláveis, as bolhas de sabão, entre outros, são formas típicas de estruturas pneumáticas.

A natureza tem mostrado exemplos realmente interessantes de estruturas pneumáticas, principalmente no reino animal. Os sapos e certos peixes como o baiacu possuem membranas que se inflam sob pressão do ar.



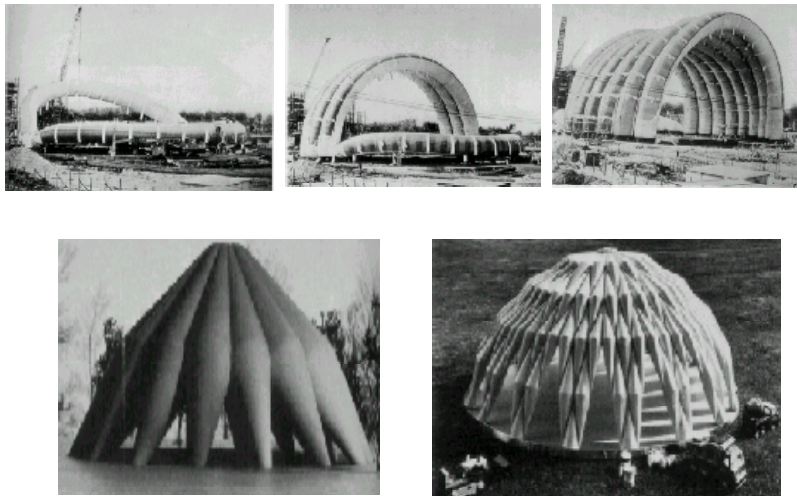
**Figura 14. 13 - Papo Inflado de um Sapo**

Esses tipos estruturais podem ser executados de duas formas distintas: através de um sistema de pressão interna (a) ou pela utilização de membrana com parede dupla (b).



**Figura 14. 14 - Formas de Utilização das Membranas Pneumáticas**

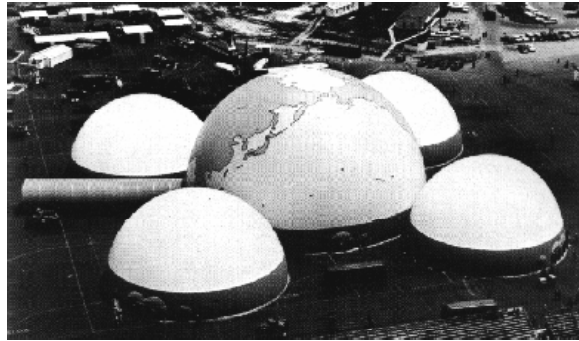
As estruturas pneumáticas sujeitas à pressão interna apresentam certas desvantagens. O gasto com energia é maior, pois o compressor que gera a pressão precisa manter-se ligado e a circulação interna de ar provoca certo desconforto às pessoas. As membranas com paredes duplas, apesar de terem um custo maior, não apresentam esses problemas e são mais versáteis.



**Figura 14. 15 - Expo 70 - Osaka, Japão**

**Figura 14. 16 - Estruturas Pneumáticas de Frei Otto**

As formas esculturais apresentadas pelas estruturas pneumáticas refletem a criatividade humana, demonstrando com excepcional clareza as possibilidades de emprego dessas estruturas revolucionárias no campo arquitetônico.



**Figura 14. 17 - Pentadome, Estados Unidos**

## Capítulo 15

### CASCAS

As estruturas em forma de casca são aquelas que apresentam uma espessura relativamente pequena, comparadas a sua largura e seu comprimento, e sua resistência deve-se a própria forma (item 12.3.1.6), desenvolvidas em função das cargas a que deve suportar, apresentando forma poliédrica, constituída pela combinação de lajes e vigas ou com superfície curva. São encontradas freqüentemente na natureza, como a casca de ovo, dos moluscos, da tartaruga e dos insetos, as quais o homem está tentando analisar para poder reproduzi-las com a eficiência que apresentam, de acordo com suas proporções.

As cascas desenvolvem um complexo estado de tensões que incluem a flexão, esforços normais (tração e/ou compressão), cisalhamento e torção e, de acordo com sua geometria e as condições de carregamento podem, desenvolver tensões de membrana.

#### 15. 1. Cascas Poliédricas

As cascas poliédricas, também conhecidas como lajes plissadas (item 12. 3. 1. 6), apresentam superfícies planas formadas por uma associação de lajes e vigas, formando uma estrutura espacial auto-portante. Seu funcionamento estático compreende o efeito laje, onde as cargas atuam perpendicularmente à superfície da placa e por forças que agem na direção normal ao plano da laje, caracterizando o funcionamento de viga.

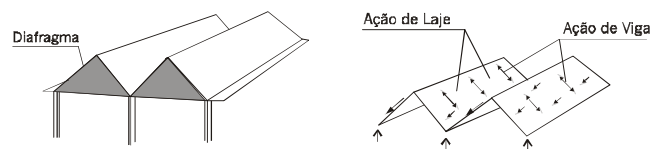
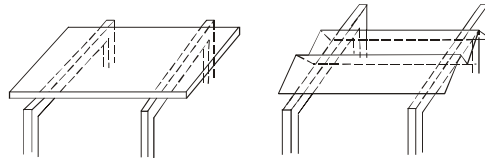


Figura 15. 1 - Funcionamento

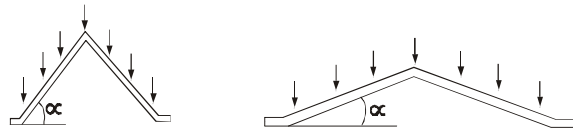
A transmissão das cargas aos apoios pode acontecer de duas maneiras: como pórtico de duas águas ou através de diafragmas colocados nos extremos e, se necessário, em pontos intermediários. A vantagem estrutural apresentada pelas cascas poliédricas é que podem cobrir vãos bem maiores que os sistemas constituídos por laje/viga, pois as dobras aumentam a rigidez e resistência da estrutura.





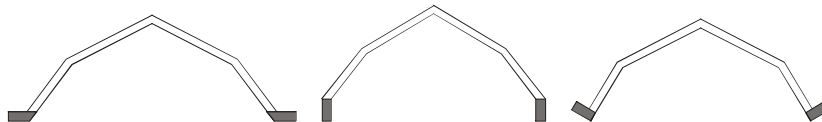
**Figura 15. 2 – Rigidez do Conjunto**

O ângulo de inclinação das lajes tem importância fundamental no seu desempenho. Quanto menor for o ângulo maior será a predominância do efeito laje e, conseqüentemente, menores condições de resistência a grandes vãos. Esse ângulo deverá ser, preferencialmente, maior que  $40^\circ$  e nunca inferior a  $20^\circ$  ( $\alpha \geq 20^\circ$ )



**Figura 15. 3 – Ângulo de Inclinação**

Outro fator importante é manter a forma estrutural, ou seja, preservar a indeformabilidade da seção transversal através de diafragmas ou pórticos intermediários (Figura 15. 1). Para evitar as deformações nas bordas projetam-se vigas de rigidez que podem apresentar diversas posições.

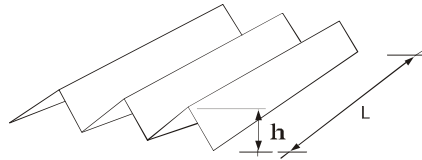


**Figura 15. 4 – Vigas de Rigidez**

As cascas também podem desenvolver-se em duas direções, formando superfícies piramidais ou tronco piramidais cujas bases podem ser qualquer tipo de polígono, proporcionando uma grande flexibilidade ao projeto. Necessitam entretanto, de vigas de rigidez nas bordas para manter a estabilidade e permitir a continuidade do conjunto.

As cascas poliédricas prestam-se, sobremaneira, para construção em concreto armado ou argamassa armada e, como simples orientação, sem jamais instituir como uma norma, pode-se considerar como um pré-dimensionamento das cascas poliédricas (em concreto armado) as seguintes dimensões:

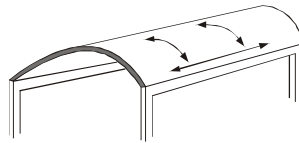
$$\text{Espessura da laje} - 7 \text{ a } 20 \text{ cm} \quad \text{Altura } h = \frac{L}{8}$$



**Figura 15. 5 – Pré-dimensionamento**

## 15. 2. Cascas Cilíndricas

As cascas podem apresentar superfícies curvas e a forma cilíndrica é uma das mais utilizadas. Apresentam uma grande eficiência, pois funcionam como uma associação dos sistemas em arco com os de viga. Pela ação de arco, as tensões são transmitidas às bordas e, pelo efeito de viga, aos apoios.



**Figura 15. 6 - Funcionamento**

As cascas cilíndricas são ideais para construção em concreto armado, podendo ser incorporados ao mesmo, elementos inertes, conferindo o aspecto de laje nervurada ou ainda, serem executadas em argamassa armada.

Para construção em concreto armado empregam-se, normalmente, vigas de 50 cm para vãos até 30 m. Quanto à espessura, pode variar entre 6 e 20 cm e seu comprimento não deve ultrapassar 30 m para evitar problemas de dilatação/compressão. Uma relação aproximada entre as dimensões de uma casca cilíndrica, sem entretanto, considerar como uma regra, é dada pela expressão:

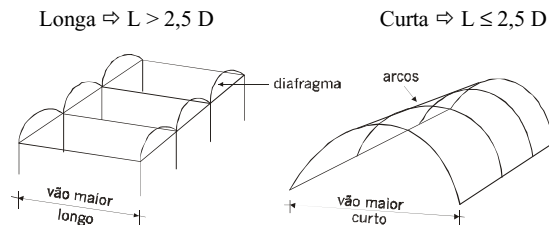
Um diagrama de uma casca cilíndrica em perspectiva, com dimensões indicadas: 'f' para a flecha (altura da curva), 'h' para a altura da viga e 'L' para o vão longitudinal.
 
$$f = \frac{L}{15} + h$$

h - altura da viga  
f - flecha  
L - vão longitudinal

**Figura 15. 7 – Relação Entre as Dimensões**

O funcionamento das cascas cilíndricas dependem diretamente de suas dimensões, largura e comprimento, podendo ser calculadas através de uma analogia com as vigas ou com os arcos. As cascas longas funcionam predominantemente como vigas e nas curtas predominam o efeito de arco (FULLER, 1980).

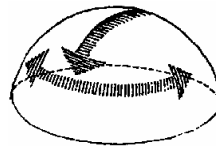
Para fazer a distinção entre um tipo e outro emprega-se a relação: quando o comprimento (L) for maior ou igual a 2,5 vezes o diâmetro (D), a casca cilíndrica é longa e, quando for menor ou igual, é considerada curta.



**Figura 15. 8 – Relação Entre Cascas Cilíndricas**

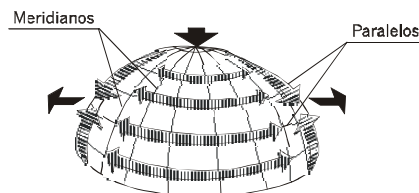
### 15. 3. Cascas Esféricas ou Cúpulas

As cascas esféricas são consideradas como versões tridimensionais do arco, apresentando uma boa estabilidade. As cargas não são transmitidas aos apoios segundo uma única direção, mas também podem dividir-se convenientemente em direção paralela. As cúpulas desenvolvem tensões em dois sentidos permitindo um melhor aproveitamento do material e, conseqüentemente, reduzindo sua espessura.



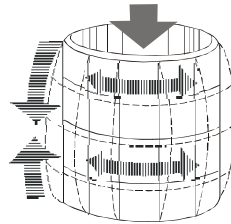
**Figura 15. 9 – Direção das Tensões**

Trabalhando essencialmente à compressão, as cúpulas podem desenvolver tensões de tração, apresentando a inter-relação tração-compressão. Quando sofre tensões de compressão devido a uma carga ou a seu próprio peso, os meridianos – elementos radiais verticais– são comprimidos e tendem a deformar-se transversalmente, para fora, ainda que os elementos horizontais – os paralelos – gerem tensões que evitam as deformações transversais da cúpula.



**Figura 15. 10 – Tensões de Tração e Compressão**

Portanto, em qualquer elemento sujeito à compressão, onde a altura seja menor que cinco vezes a largura, pode-se verificar a existência de seções verticais que desenvolvem tensões de compressão e seções horizontais sujeitas à tração. A estrutura tende a expandir-se transversalmente (flambagem), tracionando as seções horizontais (FULLER, 19890).



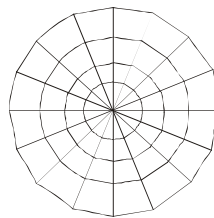
**Figura 15. 11 – Elemento Sujeito à Compressão**

#### 15. 4. Cúpulas Radiais

Com o aparecimento do aço e sua utilização nas construções, associado ao concreto, os sistemas construtivos sofreram uma completa transformação com a criação de elementos estruturais mais leves, mais rígidos e com maior capacidade de resistir às cargas.

As primeiras cúpulas foram construídas com alvenaria de tijolos argamassados, há alguns séculos atrás, e as edificações históricas, como os castelos e as igrejas, que perduram até hoje, são testemunhas desse fato.

No século XIX surgiram as primeiras cúpulas metálicas, construídas através de um sistema reticulado constituído por barras dispostas no sentido dos meridianos e dos paralelos. Esse sistema forma um esquema radial, pois os meridianos partem de um ponto e afastam-se, uns dos outros, à medida que se aproximam do equador.

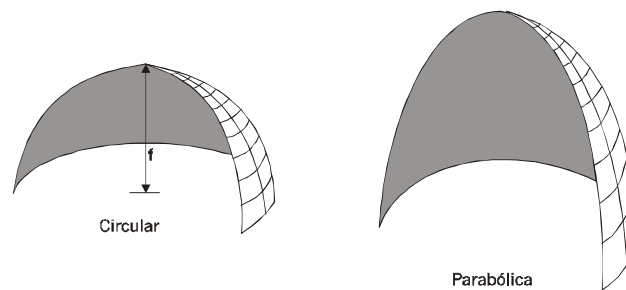


**Figura 15. 12 – Sistema Radial**

Essa disposição radial das cúpulas arquitetônicas, onde o peso próprio é a carga mais importante, aumentando na direção do equador, pois suporta a carga acumulada, provoca nessa região, as maiores tensões, necessitando assim, os maiores cuidados. Na região do pólo (topo), os esforços são praticamente nulos.

Portanto, as cúpulas baseadas no esquema radial (meridianos e paralelos ) concentram a maior parte do material onde é menos necessário (pólo), aumentando o peso próprio e, na região do equador, torna-se desprovida.

Quanto à forma, podem apresentar diversas curvaturas: circulares, elípticas, parabólicas, hiperbólicas, entre outras, ou ainda, gótica ou arábica e, sua eficiência, depende da curvatura e da flecha, isto é, da distância entre o pólo e a linha do equador. É fundamental conhecer-se os tipos de cúpulas a serem utilizadas, pois a função matemática que as define fornece uma perfeita caracterização da superfície em todos os seus pontos.



**Figura 15. 13. Curvatura de Cúpulas**

Na natureza encontram-se soluções interessantes de cúpulas, com formas geométricas adequadas à distribuição das tensões. O casco das tartarugas, independentemente da espécie, possuem uma forma elíptica e são divididos em módulos maiores na parte superior e menores e mais numerosos na base, formando um cinturão periférico de amarração, minimizando as tensões de empuxo e apresentando uma melhor distribuição dos esforços (STEVENS, 1988).



**Figura 15. 14 – Geometria Elíptica do Casco das Tartarugas**

## **Capítulo 16**

### **O PROJETO ESTRUTURAL**

As áreas de conhecimento relativas ao ambiente construído são, entre outras, a arquitetura, as engenharias civil, elétrica, sanitária e de produção, a ciência dos materiais, a análise estrutural e a administração, através do gerenciamento.

A tecnologia aplicada às edificações é aquela que considera todos os fatores inerentes ao projeto e à construção, levando em consideração os recursos humanos, os materiais e os equipamentos disponíveis. Este ciclo deve ser dinâmico e contínuo, pois a tecnologia não é um fim e sim um meio, buscando os melhores resultados possíveis com maior economia de tempo e recursos.

O universo que envolve a engenharia das estruturas é bem restrito no que diz respeito aos materiais empregados e suas técnicas de execução, de relativo domínio e com normalização suficiente.

Na arquitetura não existem fronteiras. Está diretamente ligada à criatividade humana, aliada às técnicas relativas aos materiais e à construção. Sua intervenção no espaço, feita de maneira inadequada e sem obediência às normas relativas ao meio ambiente, pode causar desastres ecológicos, muitas vezes irreversíveis. A intervenção racional, aliada ao bom senso, tomando o espaço construído um componente do seu entorno, faz parte da formação básica do arquiteto (ARCANGELI, 1976).

#### **16. 1. Etapas do Projeto Arquitetônico**

A elaboração de um projeto arquitetônico compreende as seguintes fases: estudo preliminar, anteprojeto, projeto e detalhamento. É na fase do anteprojeto que o arquiteto tem necessidade da aplicação de todo o conhecimento estrutural, avaliando entre as alternativas possíveis, o sistema construtivo mais adequado aos objetivos do projeto.

É nesta etapa que as decisões devem ser analisadas e discutidas. A consulta a um especialista não pode ser descartada. Pode-se ainda antever os problemas que poderão surgir quando da elaboração dos projetos complementares e verificar as implicações das medidas adotadas com respeito à relação custo/benefício (ARDUINI, 1991).

O arranjo estrutural, que nada mais é do que o lançamento da estrutura em relação ao projeto arquitetônico, consiste no posicionamento dos apoios (pilares), de tal forma a proporcionar o cumprimento dos requisitos básicos, adequando-os à edificação. Esta tarefa tem sido um dos pontos mais apaixonantes que os arquitetos precisam resolver ao projetarem o espaço construído.

## **16. 2. Concepção Estrutural Básica**

Toda e qualquer edificação, para que possa cumprir as finalidades a que se destina, deve possuir um conjunto de partes resistentes. Este conjunto é o que se entende por estrutura da edificação.

Na formação dessa estrutura pode-se considerar, como elementos básicos, as lajes, as vigas, os pilares e as fundações, que devem ser combinados em diferentes arranjos, levando-se em consideração a forma arquitetônica. Para a concepção desse arranjo estrutural é necessário conhecer o comportamento de cada um desses elementos.

Assim, as lajes absorvem as cargas a elas impostas e as transmitem aos seus apoios, normalmente as vigas. Por sua vez, as vigas absorvem as cargas das lajes, de paredes e de outras vigas que podem apoiar-se sobre ela, transmitindo-as aos pilares que as levam às fundações.

Existem certas regras também consideradas básicas para a composição do arranjo estrutural de uma edificação:

1. Estabelecer a posição dos pilares de modo a permitir um perfeito equilíbrio da edificação. Nos edifícios com vários andares, inicia-se pelo pavimento tipo;
2. Os pilares devem ser posicionados, preferencialmente, no encontro de paredes;
3. Fixados os pilares, verifica-se se estas posições podem ser mantidas nos outros pavimentos. Se possível, esses andares terão estruturas independentes, apoiadas em pilares cujas posições coincidem com as do pavimento tipo. Quando os pilares projetados não podem ter sua posição mantida nos outros pavimentos, é necessário estudar novas posições para que possam satisfazer às plantas de todos os pavimentos. Caso isto não aconteça, a alternativa é a execução de uma viga de transição, isto é, viga que serve de apoio ao pilar;
4. A distância entre pilares não deve, preferencialmente, ser inferior a 3,00 m e nem superior a 6,00 m, pois assim as vigas poderiam ter alturas não compatíveis com o pé-direito da edificação.

Estas regras para o posicionamento dos pilares não são rígidas, podendo ser adaptadas às mais diversas condições do projeto arquitetônico.

Além disso deve-se efetuar uma cuidadosa verificação do posicionamento dos pilares nos pavimentos destinados às garagens, para que os mesmos não prejudiquem a circulação dos veículos e permitam o maior número de vagas possível.

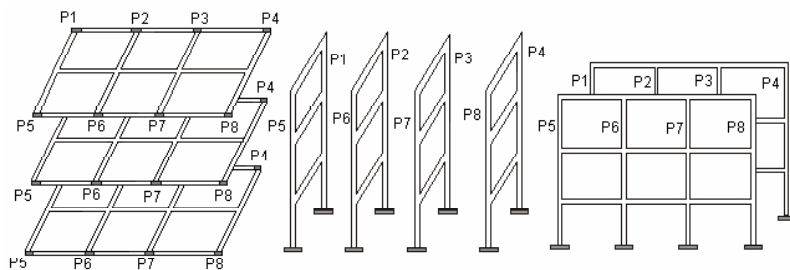
A concepção do arranjo estrutural ideal, muitas vezes, transforma-se em verdadeiro quebra-cabeças que o projetista tem que resolver da melhor maneira possível. Não deixa de ser uma arte aliada a um certo grau de experiência.

De um modo geral, as estruturas podem ser concebidas como se fossem formadas por dois conjuntos de elementos estruturais planos: os horizontais, formados pelas lajes e vigas e os verticais, pelos pilares. Esta decomposição artificial, de uma estrutura tridimensional, em elementos bi-dimensionais, pode ser efetuada para facilitar o seu cálculo e dimensionamento. As lajes, vigas e pilares podem ser calculados como elementos isolados, levando-se em consideração a vinculação existente entre eles.

Por outro lado, as estruturas também podem ser consideradas como um conjunto único, isto é, como se as vigas e pilares formassem um único elemento estrutural, o pórtico. Tratada deste modo, a estrutura apresenta algumas vantagens, como o aumento de sua rigidez, permitindo maiores vãos com maior capacidade de carga.

De modo geral, deve-se fazer a idealização completa de todo o arranjo estrutural da edificação para ter-se uma noção básica de todos os fundamentos e uma visualização do seu funcionamento (FUSCO, 1985).

Esta idealização da estrutura, levando-se em conta todas as variáveis que influem no seu dimensionamento é o objetivo da concepção estrutural e que deve ser constantemente avaliada pelos profissionais envolvidos na área, arquitetos e engenheiros.



**Figura 16. 1 - Elementos Estruturais Planos**



Para o dimensionamento da estrutura, a consideração dos elementos estruturais como um todo, nem sempre é a mais conveniente em virtude do excessivo trabalho que demanda tal empreitada. Pode-se, por conseguinte, decompor a estrutura em seus elementos estruturais mais simples: lajes, vigas e pilares.

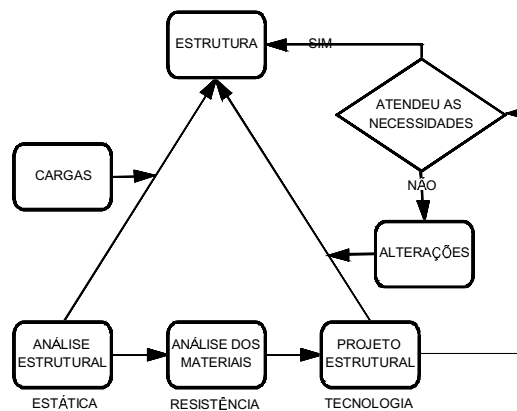
### 16. 3. Análise Estrutural

A análise estrutural é um ramo das ciências físicas que diz respeito à verificação do comportamento da estrutura sob determinadas condições de projeto, avaliando ainda, os efeitos ocasionados às estruturas quando sujeitas a um conjunto de ações. Este comportamento nada mais é do que sua tendência a deformar-se, vibrar, flambar ou fluir dependendo das condições a que estão sujeitas.

Os resultados desta análise são empregados para a determinação da forma geométrica dos elementos estruturais e a verificação de sua adequação ao suporte das cargas a que estarão submetidos e para os quais foram projetados.

A engenharia de estruturas trata a matéria sobre três princípios básicos: a análise estrutural, a análise dos materiais e o projeto estrutural, isto é, a disposição dos apoios de modo a obter-se um equilíbrio estável, não permitindo que a estrutura sofra deslocamentos ou rotações que comprometam sua estabilidade. A disposição dos pilares, isto é, o arranjo estrutural, é fundamental na obtenção desses requisitos básicos, tão necessários às edificações.

Todos estes princípios, apesar de estarem inter-relacionados, são distintos e estudados separadamente. Sua seqüência no projeto estrutural é ilustrado pela figura 16. 2.

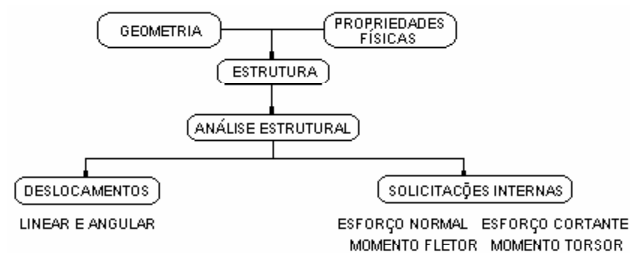


**Figura 16. 2 - Fases do Dimensionamento das Estruturas**

Enquanto a análise estrutural emprega os princípios da estática, a análise dos materiais tem o objetivo de verificar sua resistência através da mecânica dos sólidos e da teoria da elasticidade.

O projeto da estrutura deverá assegurar que nenhum elemento apresente esforços que excedam aos limites permitidos. Para que se consiga isto, se necessário, modifica-se o projeto fazendo com que a análise se repita continuamente, conforme o ciclo mostrado na figura 16. 2, até que não seja necessário qualquer tipo de modificação.

O objetivo é projetar uma estrutura, e a análise estrutural é uma das ferramentas para alcançar tal finalidade. Independentemente do método de análise, o resultado deverá ser único, dependendo somente das condições iniciais. A figura 16. 3 ilustra as etapas a serem cumpridas para a análise precisa de uma estrutura.



**Figura 16. 3 - Análise Estrutural**

A estrutura é definida por um conjunto baseado na sua geometria e por suas propriedades físicas, que são o Módulo de Elasticidade, a Área e o Momento de Inércia dos elementos, e a avaliação das solicitações externas consiste na determinação das cargas atuantes.

A análise estrutural nada tem a ver com a seleção de dados iniciais nem com a interpretação dos resultados finais. A estrutura a ser analisada e as solicitações externas que atuam sobre ela devem estar definidas de forma precisa. Os resultados consistem em avaliar os deslocamentos de certos pontos, chamados nós e na determinação das solicitações internas.

O conhecimento de cada uma destas etapas conduz a outra, sendo que os resultados são utilizados no projeto estrutural. A análise estrutural pode ser efetuada nas estruturas correntes de duas maneiras: considerando a estrutura como um todo, em forma de pórtico ou desdobrando-a em seus elementos básicos, as lajes, as vigas e os pilares. Tem por finalidade determinar os efeitos existentes nos elementos estruturais quando submetidos a um conjunto de ações.

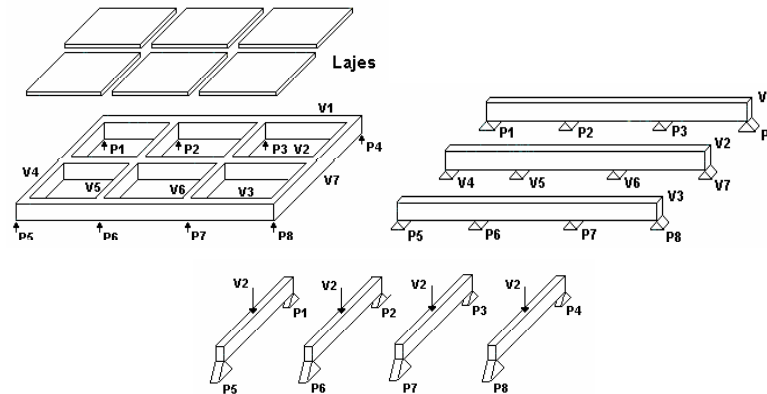


Figura 16. 4 - Simplificação das Formas Estruturais

#### 16. 4. Elementos Estruturais Básicos

Como foi dito, a análise das estruturas correntes pode ser simplificada pelo desdobramento da mesma em seus elementos básicos: laje, viga e pilar. Esses elementos podem ser analisados separadamente e de maneira eficaz sem necessidade de novos desmembramentos. Têm comportamentos bem caracterizados e servem de primeiro passo para a análise das estruturas idealizadas, que são de natureza tridimensional e com graus de complexidade maiores que os elementos estruturais simples, ilustrados nas figuras a seguir:

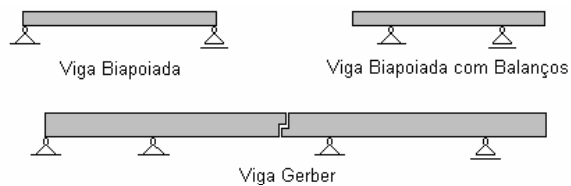


Figura 16. 5 - Vigas Isostáticas

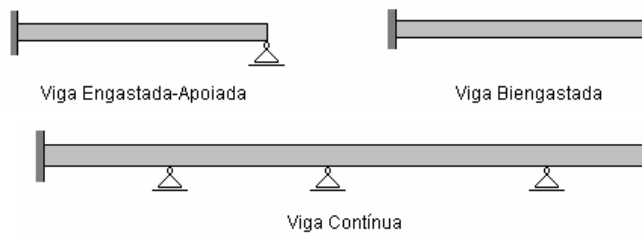


Figura 16. 6 - Vigas Hiperestáticas

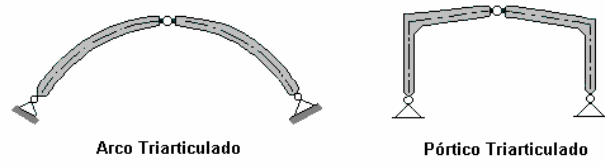


Figura 16.7 - Arco e Pórtico Isostático



Figura 16.8 - Arcos Hiperestáticos

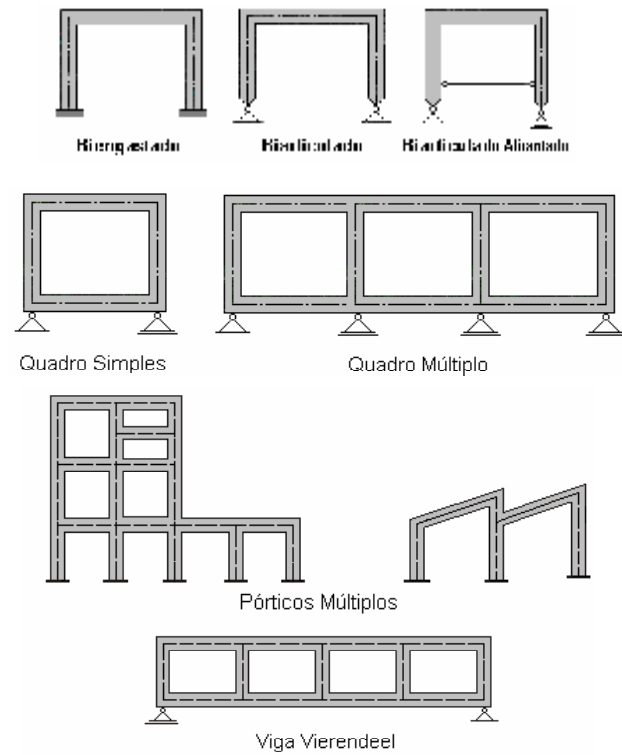


Figura 16.9 - Pórticos Hiperestáticos

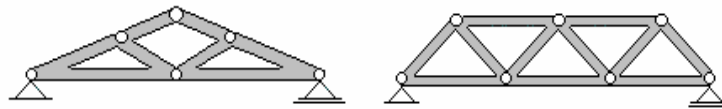


Figura 16. 10 - Treliças Isostáticas

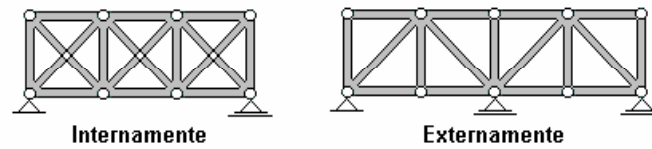


Figura 16. 11 - Treliças Hiperestáticas

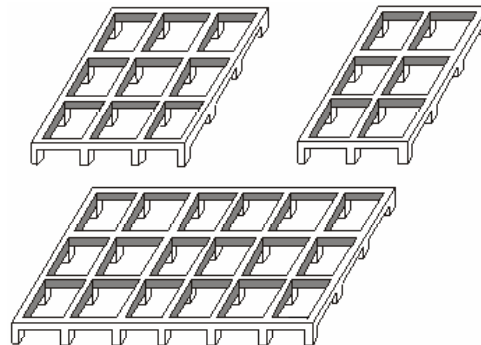


Figura 16. 12 – Grelhas

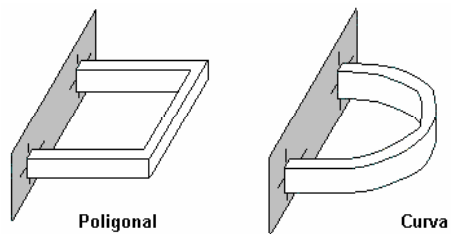


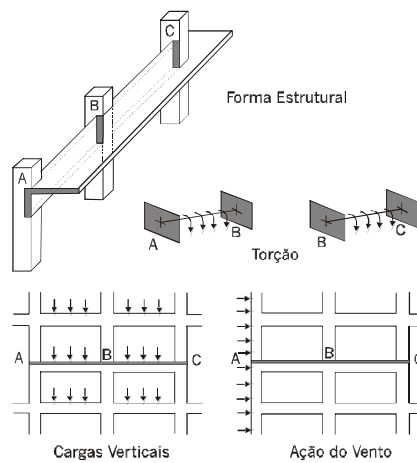
Figura 16. 13 - Viga Balcão

### 16. 5. Síntese Estrutural

A análise dos elementos estruturais é um instrumento que permite a verificação de todas as implicações que as forças externas (cargas) exercem sobre a estrutura. Permite ainda, a determinação dos efeitos causados às estruturas e que poderão ser nocivos e comprometedores à vida útil da edificação.

Ao desdobrar-se a estrutura em seus elementos mais simples, para a efetivação dessa análise, deve-se levar em consideração que determinados elementos estruturais podem estar sujeitos à esforços simultâneos e que devem ser assimilados para permitir sua eficácia.

A figura 16.14 mostra uma viga com dois vãos (tramos) AB e BC e que pode apresentar um comportamento sujeito a esforços simultâneos: flexão e cisalhamento devido às cargas verticais da edificação, esforços de torção causados pela marquise em balanço e cargas horizontais devidas à ação do vento, sendo que a avaliação da segurança dessa viga é feita pela análise da combinação desses esforços.



**Figura 16. 14 - Solicitações em Viga**

A síntese estrutural, portanto, é realizada pela superposição e compatibilização dos comportamentos decorrentes das diversas formas estruturais (FUSCO, 1985).

### 16. 6. Ligações Estruturais

Como foi mencionado, os elementos estruturais, apesar de possuírem funções distintas, estão interligados entre si. As lajes absorvem as cargas e as transmitem às vigas. Estas, por sua vez, absorvem as cargas das lajes e as transmitem aos pilares, que têm a função de lavá-las às fundações.

Essas ligações entre elementos estruturais são chamados de vínculos e têm a função de restringir e/ou impedir os movimentos dos elementos estruturais. Esses movimentos são: os deslocamentos, horizontal e vertical (movimentos lineares) e a rotação ou giro (movimento

angular) e caracterizam-se por reações que impedem ou restringem esses movimentos, como foi visto anteriormente.

Entretanto, deve-se levar em consideração que se as forças aplicadas forem de grande monta, os vínculos poderão romper-se, não pelo tipo de esforço, mas sim pela sua intensidade.

Toda estrutura deve ser fixada a uma infra-estrutura que lhe dê sustentação. Esta infra-estrutura é constituída pelas fundações da edificação.

As fundações são elementos estruturais que estão em contato direto com o solo e que impedem os movimentos nos pontos de ligação estrutura/base. As forças vinculares que aparecem nesses pontos são as chamadas reações de apoio e têm o caráter de forças externas à estrutura, quando se considera a estrutura separada da infra-estrutura.

Para a concepção do sistema estrutural é necessário definir os tipos de vínculos com que cada um dos pilares será ligado à respectiva infra-estrutura e, de maneira análoga, é necessário definir os tipos de ligações que serão utilizados entre os diversos elementos estruturais adotados na criação da estrutura.

## **16. 7. Métodos de Projeto de Estruturas**

### **16. 7. 1. Evolução dos Métodos de Projeto**

A garantia da integridade das edificações sempre foi motivo de preocupações para os arquitetos e engenheiros. Enquanto as construções eram de porte relativamente pequeno, não havia grandes dificuldades em garantir a sua segurança. Os construtores limitavam-se a copiar as obras anteriormente construídas, introduzindo-lhes eventualmente, pequenas modificações.

Com a revolução industrial, no século XIX, surgiram novos materiais de construção, como o concreto armado, onde não havia modelos a serem seguidos, sendo necessário portanto, um completo estudo a respeito. No início do século XX, surge o trabalho de autoria de Mörch com uma publicação sobre a teoria e a prática do concreto armado. No Brasil, em 1933, foi publicado o primeiro regulamento referente ao projeto de estruturas de concreto armado, que serviu de estímulo à criação da Associação Brasileira de Normas Técnicas. A NB-1 foi a primeira norma editada pela ABNT, Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado.

Ao longo da primeira metade do século XX consolidou-se o Método Comparativo de Projeto de Estruturas tomando a forma do Método das Tensões Admissíveis. Trata-se de um

método de caráter normalmente determinista e que necessita de modelos pré-existentes para que possa ser aplicado.

Na segunda metade do século, surgiu o Método Racional, tomando a forma de Método Probabilístico dos Estados Limites, que se encontra em fase de consolidação para o projeto de estruturas de concreto armado.

### 16. 7. 2. Método Comparativo e Método Racional

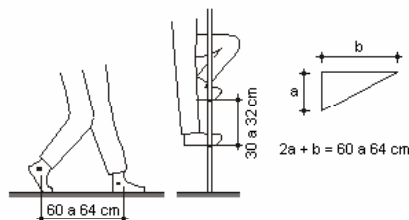
O Método Comparativo de Projeto de Estruturas consiste em estabelecer-se os critérios de projeto a partir da obrigação de que qualquer novo sistema estrutural deva ter forma e parâmetros de desempenho equivalentes às formas e aos parâmetros de desempenho previamente estabelecidos como admissíveis, para o tipo de edificação a ser executada.

Um exemplo extremamente simples pode ilustrar essa idéia: quais as dimensões que devem ser dadas aos degraus de uma escada?

Através do Método Comparativo de Projeto, o problema começaria a ser resolvido indagando-se qual o tipo de escada e qual o tipo da edificação. Se fosse de caráter suntuoso, dever-se-ia adotar as mesmas soluções encontradas em outras obras suntuosas, sem a preocupação de verificar a segurança dos usuários e se são obrigados a dar dois passos no mesmo degrau ou se, por qualquer outra razão, provocam desconforto. Esta é a característica do Método Comparativo o qual não leva em consideração as razões básicas para a tomada de decisões, simplesmente é executado o que já foi feito anteriormente.

Já o Método Racional baseia seus critérios de projeto no conhecimento profundo do comportamento dos sistemas estruturais considerados. Pelo Método Racional, o mesmo problema da escadaria seria resolvido indagando-se: quais as características de uma boa escada?

Este método constata experimentalmente que, ao andar na horizontal, o ser humano adulto dá passos de 60 a 64 cm de comprimento. Por outro lado, as escadas verticais com degraus afastados de 30 a 32 cm seriam as mais cômodas. Destas observações decorre a regra racional de dimensionamento dos degraus.





### Figura 16. 15 - Critérios de Projeto

Na engenharia estrutural, o Método Comparativo é bem ilustrado pelo Método das Tensões Admissíveis. Este método ainda é amplamente empregado e, somente agora, procura-se de maneira generalizada, substituí-lo pelo Método dos Estados Limites.

#### 16. 7. 3. Método das Tensões Admissíveis

O Método das Tensões Admissíveis é um método de dimensionamento de estruturas que, para garantir a segurança, exige a condição de que, em serviço, a máxima tensão atuante não ultrapasse um determinado valor, considerado como admissível. No caso de solicitações normais, como na flexão das vigas, esta condição seria:  $\tau_{m\acute{a}xima} \leq \tau_{admiss\acute{i}vel}$

É importante ressaltar que os primeiros valores das tensões admissíveis foram normalizados em função da prática corrente de projeto na época. Não se pensava estabelecer o valor da tensão admissível ( $\tau_{admiss\acute{i}vel}$ ), em função de ensaio de resistência e de margens de segurança previamente fixadas. No caso das vigas de madeira, as tensões admissíveis eram estabelecidas em função da espécie utilizada e de suas dimensões. Analogamente, no início dos estudos sobre concreto armado, Mörsh sugeria as tensões admissíveis em função do agregado e do volume de água de amassamento. Não se cogitava de qualquer ensaio mecânico para esta definição.

Ao longo do tempo, as tensões admissíveis foram sendo alteradas, com pequenos e cautelosos aumentos, justificados apenas pelo fato de que os novos valores já estariam consagrados pela prática corrente. Como exemplo, nas décadas de 40 e 50, a tensão admissível à tração nos aços comuns evoluiu de 120 MPa a 150 MPa e a tensão admissível à compressão do concreto nos pilares de 4 MPa a 6 MPa (ARDUINI, 1991).

Esta mudança foi o primeiro passo em direção a uma definição mais precisa da segurança das estruturas, a ser conseguida com o Método dos Estados Limites.

#### 16. 7. 4. Método dos Estados Limites

O Método dos Estados Limites considera que a segurança das estruturas deve ser verificada em todas as situações que possam trazer riscos para a integridade da própria estrutura ou para a utilização normal da edificação. Assim, são definidos os Estados Limites da seguinte forma: “*Estados Limites de uma estrutura são os estados a partir dos quais ela apresenta desempenhos inadequados às finalidades da edificação*” (ABNT, 1982).

Os estados limites que devem ser considerados nos projetos estruturais dependem dos tipos de materiais empregados na sua execução e ainda, devem ser normalizados. Esses estados limites podem ser: Estado Limite Último e Estado Limite de Utilização.

#### **16. 7. 4. 1. Estado Limite Último**

Estado Limite Último é o estado em que, pela sua simples ocorrência determina a paralisação, no todo ou em parte, do uso da edificação. É portanto, o estado de interrupção do funcionamento. O Estado Limite Último, nos projetos estruturais, é caracterizado por:

1. Perda de equilíbrio, total ou parcial, admitindo-se a estrutura como corpo rígido;
2. Ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais;
3. Transformação da ruptura, no todo ou em parte, em sistema hipostático;
4. Instabilidade por deformação;
5. Instabilidade dinâmica.

A segurança das estruturas prende-se à possibilidade de ocorrência de Estados Limites Últimos.

#### **16. 7. 4. 2. Estado Limite de Utilização**

Estado Limite de Utilização é o estado que, pela sua simples ocorrência, repetição ou duração causam efeitos estruturais que não respeitam as condições específicas para a utilização normal da edificação ou que são indícios de comprometimento da sua durabilidade.

Os Estados Limites de Utilização são estabelecidos em função de critérios estéticos ligados à deformação e à fissuração excessivas da estrutura. Decorrem também, de ações cujas combinações podem ter três diferentes ordens de grandeza de permanência na estrutura:

1. Combinações Quase Permanentes - são as que podem atuar durante grande parte da vida útil da estrutura. Estas combinações quase permanentes devem ser consideradas sempre que forem importantes os efeitos da deformação lenta do concreto;
2. Combinações Frequentes - são as repetitivas, isto é, repetem-se muitas vezes durante a vida útil da estrutura, da ordem de  $10^5$  vezes em 50 anos ou que tenham duração total igual a uma parte não desprezível desse período, da ordem de 5%. Estas combinações são consideradas na verificação da fissuração dos elementos estruturais. As ações nelas incluídas atuam na estrutura por um certo período, contado diretamente ou através do número de repetições de sua ocorrência e que pode ser significativo quando se tem em vista a exposição da armadura ao ambiente externo.

3. Combinações Raras - são combinações que podem atuar no máximo algumas horas durante o período de vida da estrutura. Estas combinações podem acarretar no aparecimento de Estados Limites de Utilização, mesmo que atuem apenas uma única vez. É o caso da formação de fissuras em estrutura de concreto aparente, por exemplo.

Os Estados Limites de Utilização, durante a vida útil da edificação, são caracterizados por:

- \* Deformações excessivas que afetam a utilização normal da edificação ou seu aspecto estético. Nas edificações destinadas à habitação ou ocupação semelhante, além dos efeitos na própria estrutura, as deformações provocam fissuras ou trincas nas alvenarias e nos materiais de revestimento, podendo comprometer o funcionamento das esquadrias;
- \* Danos ligeiros ou localizados, que comprometem o aspecto estético da edificação ou a durabilidade da estrutura. São causados pela fissuração decorrente da baixa resistência à tração do concreto;
- \* Vibrações de amplitude excessiva podem comprometer o conforto habitacional ou a eficiência do desempenho de equipamentos industriais.

## Capítulo 17

### APLICAÇÃO DA PROPOSTA E RESULTADOS OBTIDOS

#### 17. 1. Métodos e Técnicas

Para a aplicação desta proposta de ensino/aprendizado, isto é, o emprego de modelos qualitativos para o ensino de estruturas, foram utilizadas duas turmas da disciplina obrigatória de Experimentação II (Turmas A e B) do curso de Arquitetura e Urbanismo e uma turma da disciplina optativa Análise Qualitativa das Estruturas, do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina e tendo cada uma 3 (três) horas/aulas semanais, durante os semestres 97/2 a 99/2, apresentando a seguinte distribuição de alunos por turma:

**Tabela 17. 1 – Número de Alunos por Semestre**

Semestre	Arquitetura		Engenharia Civil
	Número de Alunos		
	Turma A	Turma B	Turma Única
97/2	25	23	21
98/1	24	26	25
98/2	25	22	26
99/1	24	25	28
99/2	23	24	27

Para estas disciplinas foi adotado o mesmo programa de ensino definido por sua ementa (Anexo 2). No curso de Arquitetura, para a turma A, utilizou-se o método tradicional de ensino de estruturas, puramente teórico, empregando-se o quadro negro e, para ilustração de fenômenos mais complexos, slides e transparências. Na turma B, o ensino contou, além de todos os recursos convencionais empregados na turma A, com a utilização dos modelos qualitativos desenvolvidos em laboratório. Para o curso de Engenharia Civil foram utilizados os mesmos recursos empregados para a Turma B da Arquitetura

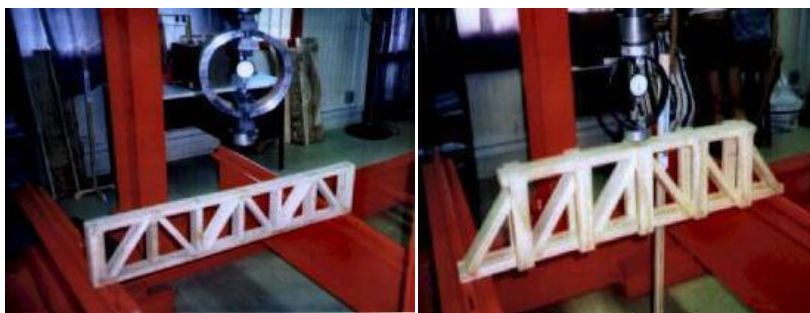
Cabe ressaltar que, para a disciplina de Experimentação II, a seleção dos alunos por turma é de livre escolha dos acadêmicos do curso de Arquitetura e Urbanismo, que optam pela turma que melhor satisfizer suas expectativas. A disciplina optativa: Análise Qualitativa das Estruturas, da Engenharia Civil, também é uma opção do aluno.

Numa primeira etapa, os modelos utilizados para visualização dos fenômenos estruturais mais comuns, tais como: tração, compressão, cisalhamento, flexão e outras formas de deformações, foram apresentados em sala, durante as aulas expositivas para ilustrar as explicações sobre a matéria lecionada.

A segunda etapa constituiu-se na criação e confecção de modelos pelos próprios alunos. Foi instituído um concurso entre as equipes a fim de criar um clima de competição e estimular a criatividade.

Esses modelos, dentre os mais significativos, foram sobre treliças planas, pórticos simples e cúpulas. O ensaio permitiu uma visualização dos esforços que ocorrem nos elementos que compõem a estrutura - as barras. Com a aplicação da carga é possível perceber, quais os elementos que estão sujeitas à tração e/ou compressão. As figuras a seguir ilustram algumas dessas experiências.

As estruturas constituídas por treliças foram elaboradas dentro de certos parâmetros, não sendo permitido uma altura superior à 30 cm nem comprimento maior que 120 cm. As barras, com dimensões máximas de 2,5 x 5,0 cm deveriam ser confeccionadas em madeira tipo “Pinus Elliottis”. Foram submetidas ao ensaio de flexão para verificação do comportamento estrutural e resistência mecânica.



**Figura 17. 1 – Treliças Planas**

*Foi possível, numa avaliação visual, perceber por exemplo, que as barras tracionadas soltaram-se dos nós, e as comprimidas, apresentaram esforços caracterizados pelos deslocamentos dos nós.*

As estruturas em pórtico deveriam também, ser construídas dentro de certos critérios a fim de proporcionar uma uniformização dos trabalhos. Não poderiam exceder 80 cm de comprimento e a altura das vigas não ultrapassar 20 cm. Poderiam ser elaborados com elementos maciços ou treliçados, em madeira (pinus) e, suas bases, engastadas ou articuladas em bases rígidas.



**Figura 17. 2 - Pórticos**

*No caso dos pórticos, buscava-se verificar a rigidez e a integridade da forma. Com a aplicação da carga foi possível visualizar as deformações ocorridas nos pilares e os empuxos provocados nos mesmos.*

Outros modelos representativos são as cúpulas. Elaboradas com os mesmos critérios que as estruturas anteriores. A base, com um diâmetro que não poderia ultrapassar 40 cm e uma altura máxima de 30 cm.

Essas estruturas são excelentes para testar a criatividade dos alunos além de uma noção, mesmo que intuitiva, da sua resistência. Normalmente são elaboradas em forma de treliças, apresentando os mais diversos desenhos.

Para a avaliação das cúpulas foi levado em consideração, não só a sua resistência mecânica, mas também a criatividade.

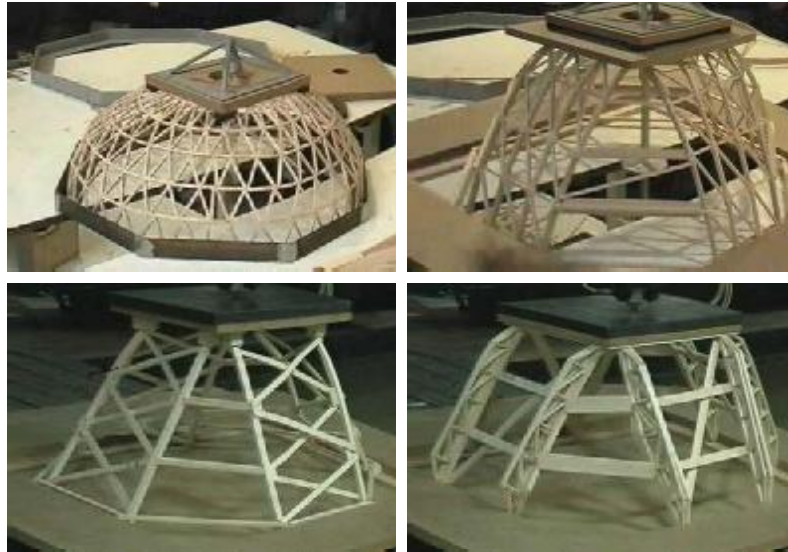


Figura 17.3 - Cúpulas

*Numa análise visual, foi possível correlacionar a forma com a resistência mecânica. As cúpulas em treliças apresentam uma rigidez variável em função da forma das mesmas.*

## 17.2. Resultados Obtidos

A avaliação da disciplina de Experimentação II do curso de Arquitetura foi efetuada através de 3 (três) testes, aplicados durante o semestre letivo e abrangendo o conteúdo ministrado nos períodos correspondentes. Estas provas foram realizadas, simultaneamente, com as duas turmas, com perguntas objetivas e exatamente iguais. O resultado está representado no gráfico abaixo que mostra a média semestral das notas obtidas em cada turma.

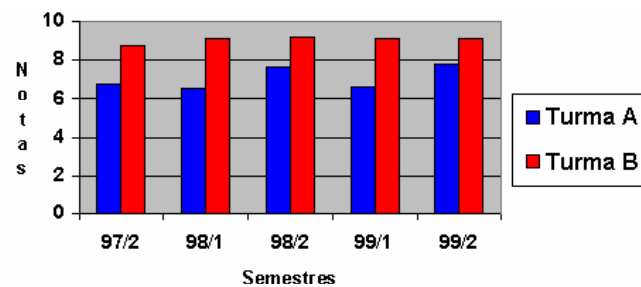


Gráfico 17.1 – Média Semestral das Notas de Experimentação II

Observa-se que, através dos resultados apresentados pela Turma B, com o emprego da metodologia proposta, obteve-se um bom desempenho pois as médias das notas obtidas foram nitidamente superiores as da Turma A. O gráfico 17. 2 representa esta superioridade.



**Gráfico 17. 2 – Média Geral das Notas de Experimentação II no Período 97/2 a 99/2**

Para o curso de Engenharia Civil, a avaliação foi efetuada através de trabalhos práticos e apresentação de um relatório final sobre a disciplina, avaliando seu conteúdo, a nova metodologia empregada, o professor e a melhoria da compreensão e fixação dos conceitos teóricos sobre o comportamento das estruturas. Procurou-se ainda, formular algumas perguntas com relação aos objetivos específicos definidos por esta tese.

A introdução desta nova metodologia na Engenharia Civil veio de encontro aos anseios dos alunos, fazendo com que os mesmos passassem a compreender com mais clareza, os fenômenos que ocorrem com os elementos estruturais quando sujeitos aos mais diversos tipos de carregamento.

Inicialmente a disciplina Análise Qualitativa das Estruturas, oferecida à Engenharia Civil, possuía como pré-requisito a disciplina Estabilidade das Construções I perdurando assim por três semestres. Atualmente o pré-requisito é Cálculo C possibilitando, como é seu objetivo principal, que os alunos das primeiras fases possam cursá-la, antes das disciplinas que fazem parte do tronco das estruturas, fazendo com que as mesmas sejam melhor compreendidas, pois a visualização dos efeitos geram uma maior clareza e fixação dos conceitos teóricos.

Ao final do semestre, no curso de Engenharia Civil foi pedido um relatório, de natureza aberta, em que os alunos se manifestaram livremente, sem necessidade de se identificarem. Através dos relatórios apresentados chegou-se às conclusões, com respeito aos objetivos específicos desta tese, enumerados e quantificados na Tabela 17. 2.



Tabela 17. 2 – Grau de Satisfação dos Alunos

<b>Engenharia Civil</b>		
<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Número de Alunos nos 5 Semestres</b>	<b>De acordo com os objetivos (%)</b>
Elevar o nível de compreensão e fixação dos conceitos teóricos	127	97
Estabelecer uma relação mais clara e direta entre teoria e a prática	127	91
Ampliar o contato do aluno com a prática de laboratório	127	73
Proporcionar uma formação científica e integração multidisciplinar	127	94
Participar do processo de criação e construção de modelos físicos reduzidos	127	86

Por serem de natureza aberta, os resultados podem ser considerados bastante satisfatórios, verificando-se que os objetivos foram alcançados e que a metodologia empregada no ensino de estruturas foi eficaz.

### 17. 3. Discussão dos Resultados

Pelas avaliações dos alunos do curso de Arquitetura, verificadas durante esses cinco semestres, pode-se afirmar que o emprego de modelos didáticos para o ensino de estruturas foi determinante para a compreensão e fixação dos conceitos teóricos sobre o comportamento das estruturas sujeitas aos mais diversos tipos de esforços.

Este processo de ensino/aprendizado estabeleceu uma compreensão mais clara e direta da relação entre a teoria e a prática no campo das estruturas, elevando o nível de fixação dos conhecimentos, além de ampliar o contato do aluno com a prática de laboratório, pela confecção e avaliação de modelos qualitativos.

A prática de laboratório faz com que o aluno construa o seu conhecimento, aprenda porque faz, reflita sobre o produto que obtém e depure as suas idéias e ações, proporcionando ainda, uma integração entre as disciplinas que envolvem a área estrutural - resistência, estabilidade, concreto, aço e madeira, entre outras.

Como os modelos tridimensionais permitem uma maior e melhor visualização dos efeitos, proporciona a qualquer pessoa, mesmo sem um conhecimento prévio, interpretar esses fenômenos. Permitem ainda, intuitivamente, uma previsão dos comportamentos que poderão ocorrer na estrutura de uma edificação.

O laboratório é ainda o meio que confere uma formação científica e possibilita o incentivo à pesquisa, tornando-se um espaço onde a participação ativa dos alunos no processo de concepção, construção e ensaio de modelos físicos, provoca a disputa entre equipes, enriquecendo os trabalhos apresentados.

Assim, com respeito aos 127 (cento e vinte e sete) alunos da disciplina Análise Qualitativa das Estruturas oferecida à Engenharia Civil durante os últimos 5 (cinco) semestres, através da análise dos relatórios apresentados pode-se, com respeito aos objetivos específicos propostos, constatar que:

1. Na disciplina procura apresentar os conteúdos de uma forma agradável, onde o assunto sobre estruturas é tratado qualitativamente, sem cobranças específicas, levando o aluno a desinibir-se, diminuindo a tradicional apatia e o medo para questionamentos;
2. A frequência às aulas, motivada pelas novidades apresentadas pela disciplina e a “ânsia do saber” foi praticamente de 100%;
3. A maioria dos alunos (97%) passou a compreender, com maior clareza, os conceitos teóricos, vistos em Estabilidade e Concreto, após cursarem a disciplina;
4. A disciplina favoreceu a integração entre as demais disciplinas pertencentes ao tronco das estruturas, melhorando e fixando os conceitos (94%);
5. O contato dos alunos com o laboratório de estruturas favoreceu, através da prática laboratorial, o incentivo à pesquisa estabelecendo uma relação mais clara e direta entre a teoria e a prática.

Destas constatações depreende-se que a metodologia empregada foi eficaz e proporcionou um grau de satisfação elevado nos alunos de engenharia civil.

## **Capítulo 18**

### **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

#### **18. 1. O Construtivismo na Formação de Arquitetos e de Engenheiros**

Na abordagem construcionista existem basicamente três protagonistas: o aluno, o professor e o meio social. A utilização dessa abordagem ao ensino de estruturas para os cursos de arquitetura e de engenharia implica criar condições e situações que levem o aluno a descrever, executar, refletir e depurar suas idéias.

Assim, a maior alteração deve ser com relação ao papel do professor, que executa a descrição da resolução do problema e fornece ao aluno um elementos para o desenvolvimento de suas idéias. O papel que o professor desempenha deve ser substituído pela implementação de projetos. O aluno deve descrever o seu projeto e implementá-lo de modo que o resultado possa ser utilizado em um processo de reflexão sobre o mesmo e, conseqüentemente, sobre os conhecimentos envolvidos no projeto.

#### **18. 2. A Implementação do Ensino**

No ambiente construcionista de formação, o projeto tem a finalidade de propiciar a construção do conhecimento através do ciclo “descrição-execução-reflexão-depuração”. Além disso, o projeto permite a implantação de uma aprendizagem bastante semelhante à metodologia baseada na execução de modelos.

Primeiro, a ênfase do curso de arquitetura e engenharia passa a ser centrada na escolha, pelo aluno, de projetos que ele deve implementar e não mais em disciplinas teórico-práticas que constituem pré-requisitos para a oportunidade de realizar um trabalho no fim do curso.

Segundo, os cursos devem criar oportunidades para o aluno “fazer arquitetura ou engenharia” e não “ser ensinado sobre arquitetura ou engenharia”. Desde o início, o curso deve oferecer oportunidades para que o aluno crie e tenha autonomia para definir e implementar projetos, como acontece no dia-a-dia do engenheiro e do arquiteto.

Finalmente, a implementação de projetos deverá propiciar ao aluno o desenvolvimento do pensamento racional: aprender a buscar as informações necessárias para a implementação desses projetos (aprender a aprender); ser crítico em relação aos resultados obtidos e desenvolver a noção do processo de depuração de idéias e ações como o motor propulsor da aprendizagem.

O projeto a ser implementado pelo aluno pode ser desde uma atividade de execução de um modelo, até a montagem de um objeto real. É fundamental que ele possa ser implementado, que seja de interesse do aluno e que seja visto como um desafio dosado, segundo as suas possibilidades. Assim, o professor tem um importante papel na definição do projeto e de como será visto mais adiante.

A implementação do projeto pode utilizar recursos como computadores, maquetes, etc. e a contribuição de profissionais especialistas (técnicos e professores da faculdade ou engenheiros e arquitetos que atuem na área do projeto em questão), que auxiliam o aluno no desenvolvimento do seu trabalho em diferentes níveis de complexidade.

A análise da implementação dos projetos permite observar os conceitos envolvidos e o grau de complexidade dos mesmos, possibilitando identificar o que o aluno conhece em termos do currículo mínimo estipulado. Pode acontecer casos em que a implementação de projetos não seja suficiente para cobrir todos os tópicos que compõem esse currículo mínimo. Nesse caso, o professor ministraria o assunto através de métodos convencionais, ou identificaria, juntamente com o aluno, outras atividades que permitissem a aquisição de conceitos que o estudante ainda não tivesse tido a chance de adquirir.

Assim, os cursos de arquitetura e de engenharia, desde o primeiro ano, devem ser baseado em disciplinas que levem o aluno a definir projetos e o auxiliem no processo de implementação dos mesmos. As primeiras disciplinas desses cursos devem criar condições para o aluno ter contato com a implementação de projetos específicos, definidos pelo professor ou pelo próprio aluno. Com base nesses projetos o aluno tem a chance de, primeiro, entrar em contato com a idéia da construção do conhecimento através do ciclo “descrição-execução-reflexão-depuração”. Segundo, conhecer profissionais, empresas e indústrias que trabalhem com abordagens e atividades semelhantes. Terceiro, fornecer temas que poderão ser abordados por diferentes disciplinas cuja finalidade é a de aprofundar os aspectos do projeto em questão.

Esses novos conhecimentos deveriam suscitar novos projetos mais sofisticados, exigindo conhecimentos mais profundos e assim por diante. À medida que o curso se desenvolve, o nível de sofisticação da descrição das atividades ou de especificação das mesmas é incrementado. As implementações de novos projetos podem ser minimizadas ou ser realizadas em colaboração com empresas que atuem especificamente no ramo.

### **18. 3. O papel do Professor**

Como já foi mencionado, o papel do professor é o de facilitar ou mediar o processo de descrição, execução, reflexão e depuração que o aluno realiza. Em síntese, o professor deve auxiliar o aluno a explicitar o projeto escolhido, incentivar diferentes níveis de descrição, conhecer o aluno, trabalhar os diferentes aspectos da reflexão, facilitar a depuração, utilizar e incentivar as relações sociais e servir como modelo de aprendiz.

Para o professor a descrição do projeto tem o papel de servir como um “contrato de trabalho” que será de fundamental importância quando o professor precisar auxiliar na depuração e/ou avaliar o desempenho do aluno. Se o aluno não explicita o problema em questão, é difícil detectar quando aconteceu algo imprevisto.

Nesse caso, o professor não tem condições de auxiliar o aluno no processo de depuração da solução do problema. O “contrato” estabelecido permite avaliar o desempenho do aluno: a comparação entre o que foi proposto e o realizado possibilita avaliar o progresso do aluno e se ele cumpriu ou não aquilo a que se propôs realizar; por outro lado, o processo de descrever o projeto é, praticamente, meio caminho da solução e tem um papel importante no processo de construção do conhecimento e do desenvolvimento de técnicas de resolução de problema.

Entretanto, a descrição do projeto pode ser trabalhada de duas maneiras diferentes: usando-se diferentes mídias e notações ou uma variedade de descrições através da mesma mídia ou notação. Essa última atividade tem como objetivo permitir ao aluno tomar contato com diferentes níveis de descrição do projeto e levá-lo a alterar o seu ponto de vista e visualizar o projeto sob um outro enfoque. Além disso, a nova descrição propicia a chance de usar ou adquirir novos conceitos ou técnicas.

No entanto, para que o professor seja capaz de intervir produtivamente junto ao aluno, ele deve ter um bom conhecimento sobre esse aluno. Por exemplo, o conhecimento da capacidade do aluno facilita a adequação do projeto a ser implementado e determina o nível de explicação que o professor utiliza.

Se o projeto proposto pelo aluno está além ou aquém das suas possibilidades, quer pelo tipo de conceito ou pelo tipo de conhecimento envolvido, o professor pode auxiliá-lo na redefinição do projeto. O conhecimento da capacidade do aluno facilita, também, a maneira como o professor deve relacionar-se com ele sob o ponto de vista intelectual: a complexidade de novos desafios, de novos problemas e, mesmo, o nível de diálogo.

Com relação às reflexões, é equivocado pensar que o fato de o aluno estar diante do resultado da implementação do projeto seja suficiente para que as abstrações reflexivas ocorram. Isso pode ser verdade ou não. A reflexão sobre as ações do aluno deve ser incentivada pelo professor criando-se assim, condições para que a atividade de implementação do projeto propicie o desenvolvimento dos conceitos e do pensamento racional.

No nível das abstrações reflexivas, o professor pode dispor de uma série de atividades para possibilitar as abstrações reflexivas por parte do aluno. Por exemplo: sugerir a apresentação da solução de um determinado projeto para um outro colega ou para a classe. Trabalhar em equipe, criar situações de conflito ou solicitar ao aluno que explicita os conceitos e estratégias usadas.

A função da reflexão é levar o aluno a depurar suas idéias e ações. Para tanto, o professor deve incentivar a depuração e levá-lo a entender que o imprevisto é salutar. Se algo não acontece de acordo com o planejado, o aluno não deve ser punido ou o "bug" não deve ser escondido, mas sim eliminado. Para que isso ocorra o projeto deve ser discutido, analisado e dissecado a fim de que seja possível identificar as causas do imprevisto e aí sim, tomar as devidas providências para eliminá-lo.

Finalmente, o professor deve usar o ambiente de aprendizado e a sua função nesse ambiente como objeto de estudo. Para tanto, o professor pode utilizar uma série de recursos para facilitar essa meta-análise. Por exemplo, tentar descrever e documentar o seu papel e a sua função no ambiente de aprendizagem. Colocar esse "projeto" em prática e observar os resultados em termos da efetividade da interação, do relacionamento com o aluno e com a classe e do que sente sobre o que está fazendo: é agradável, é gratificante? Se algo não corresponde às expectativas, então depurar e repetir o ciclo novamente. O exercício de usar o ambiente de aprendizagem e a performance do professor como objeto de estudo tem dupla finalidade:

Primeiro, prover o professor de meios para poder depurar sua performance e propiciar condições para a construção do conhecimento sobre o que significa ser um professor efetivo nesse ambiente.

Portanto, esse tipo de conhecimento é bastante pessoal, subjetivo e não existe uma receita de como o professor deve atuar nesse novo ambiente de aprendizagem, devendo criar situações para auxiliá-lo no desenvolvimento desse conhecimento.

Segundo, o professor passa a ser um modelo de aprendiz. Quando o professor se coloca na posição de um aprendiz e pratica atitudes que ele incentiva em seus alunos, ele serve de modelo. O professor não só diz o que o aluno deve fazer, mas vivencia e compartilha com eles a metodologia que está preconizando. Essa postura contribui para a coerência do ambiente de aprendizado, onde todos, em diferentes níveis, são aprendizes.

Essa coerência, por sua vez, contribui para o enriquecimento do ambiente de aprendizado e para o desenvolvimento da confiança e do respeito mútuo. Além disso, para fortalecer a idéia de que para aprender é necessário se colocar na posição de aprendiz e praticar - não recitar - as idéias do pensamento racional.

Em síntese, o professor terá a função de administrar o processo de construção do conhecimento pelo aluno, ao invés de ser o agente que ensina e que é responsável pela “entrega” da informação. O ato de aprender deve ser esforço do aluno e produto das ações que ele realiza e não do esforço do professor que se esmera na passagem da informação de maneira didática e disciplinada.

No entanto, essa nova função do professor é, no mínimo, desconcertante. O professor perde o controle do processo educacional, deixa de ser o “dono da verdade” e se torna um constante aprendiz. Porém, essa nova função é o que é esperado de qualquer profissional que queira sobreviver na sociedade do futuro. Essa postura vale tanto para os profissionais executivos, arquitetos e engenheiros, quanto para os formadores desses profissionais.

#### **18. 4. O papel do Contexto Social**

O ambiente de aprendizagem constitui um contexto social. O aluno não está isolado e interagindo somente com seu projeto. Ele tem os colegas e o professor. Além do ambiente de aprendizagem da escola, o aluno, certamente, dispõe de uma outra rede social, formada por especialistas das empresas. A própria Universidade está inserida em uma comunidade que enriquece o contexto social e que pode ser utilizado como fonte de projetos a serem resolvidos. Os projetos a serem implementados devem ser significativos para os alunos. A comunidade pode funcionar como geradora de projetos contextuais para serem implementados. Se isso acontece, o aluno se sentirá muito mais útil e parte integrante dessa comunidade.

Assim, em um determinado ponto do curso o aluno deve sair a campo e identificar, na comunidade, os problemas presentes e transformá-los em projetos que devem ser implementados. À medida que o projeto vai sendo implementado, as possíveis soluções serão apresentadas à comunidade. O “feedback” fornecido passa a ser objeto de reflexão e os resultados depurados, atingindo um nível mais próximo da solução ideal. Finalmente, o produto, resultado da implementação do projeto, é entregue à comunidade.

Além disso, a comunidade pode ser fonte de suporte intelectual e afetivo e colaborar com o aluno na resolução do projeto. No ambiente de aprendizagem, colega ou um grupo de colegas, pode servir como fonte de conhecimento, assumindo certas funções do professor, como as mencionadas acima. Na comunidade, eventualmente, existem especialistas que podem auxiliar o processo de resolução do projeto. Portanto, o aluno pode aprender com a comunidade bem como auxiliá-la a identificar problemas, resolvê-los e devolver a solução dos mesmos à comunidade.

O relacionamento social facilita também, o confronto de opiniões entre os elementos da comunidade, e a resolução desses confrontos auxiliam o desenvolvimento cognitivo e afetivo. Os conflitos surgem como fruto da simplicidade de pontos de vista parciais e de idéias e têm a função de servir como detonadores do processo reflexivo. Assim, nessa comunidade, cada um passa a ser o “executor” da idéia do outro e ser o provedor do “feedback” para que as idéias possam ser depuradas. A explicitação das idéias e os confrontos que isso provoca têm a finalidade de prover os meios para a reflexão e contribuir para as transformações mentais dos elementos da comunidade.

Portanto, as questões sociais têm a finalidade de propiciar outros aspectos da produção racional como o trabalho em equipe; os “círculos de qualidade”, a resolução de problemas contextuais demandados pelo “cliente”, ao invés de “empurrados ao cliente” como na produção em massa e a depuração constante de uma idéia ou produto baseada na satisfação de um cliente real e não na satisfação dos desejos do professor.

#### **18. 5. O Pensamento Futuro**

O objetivo desse trabalho foi o de responder a questão de como formar o conhecimento estrutural nos cursos de arquitetura e de engenharia através do processo de fazer engenharia ou arquitetura, ao invés de ensinar sobre engenharia ou arquitetura. Para que isso seja possível é necessário a criação de um ambiente de aprendizagem baseado na resolução de projetos e, portanto, a implantação de um novo paradigma educacional.



Paradigma que promove a aprendizagem ao invés do ensino, que coloque o controle do processo de aprendizagem nas mãos do aprendiz, e que entenda a educação, não somente como a transferência de conhecimento, mas como um processo de construção do conhecimento pelo aluno, como produto do seu próprio engajamento intelectual ou do aluno como um todo. O que está sendo proposto é uma nova abordagem educacional que muda o paradigma pedagógico do instrucionismo para o construcionismo.

Uma abordagem construcionista, felizmente, não é totalmente inédita na Universidade. O modelo educacional que mais se aproxima dessa abordagem é a formação médica. Ainda que esse curso disponha de uma série de disciplinas consideradas básicas (pré-requisito), o contato do aluno com as várias especialidades da medicina é feita através da interação dele com os pacientes. As pessoas enfermas que freqüentam o Hospital Universitário passam a ser o objeto de estudo e portanto, possibilitam ao aluno colocar em prática os conhecimentos de que dispõem ou buscar novos conhecimentos.

Entretanto, isso não acontece simplesmente obrigando o aluno a freqüentar o hospital. Paralelamente ao trabalho prático, o aluno dispõe de cursos específicos e de um suporte intensivo de professores e técnicos que facilitam o processo de aquisição de conhecimento e, em alguns casos, servem como modelo profissional.

A formação do arquiteto e do engenheiro deveria beneficiar-se desse modelo de formação, o do médico e, se possível, inovar no sentido de reestruturar as disciplinas básicas aplicadas no sentido de permitir que o formando tenha a oportunidade, o mais cedo possível, de fazer arquitetura ou engenharia, ou seja, identificar e resolver problemas. Os problemas apresentados na forma de projetos que o aluno escolhe, juntamente com o professor, permitem a identificação de temas que serão tratados pelas diversas disciplinas. Portanto, é preciso alterar o paradigma educacional ao invés de empurrar-se a produção (ou o conhecimento), como acontece na produção em massa.

O contexto do projeto demanda um determinado assunto que é tratado pelas disciplinas. Essa abordagem implica, também, que os pré-requisitos não são mais empilhados na cabeça do aluno esperando-se que eles sejam utilizados em um futuro que pode não acontecer. A demanda de um determinado conhecimento significa que ele deve estar disponível e pode ser assimilado quando surge a necessidade de aplicação. Esse é o conceito do “just in time knowledge” e para que isso possa ser implantado o aluno deve ter acesso aos diferentes bancos de informação e acesso a especialistas que têm a função de auxiliar o aluno no processo de implementação do seu projeto.

Um outro aspecto positivo do pensamento racional é a capacidade do aluno de ser crítico e utilizar a constante reflexão e depuração para atingir níveis cada vez mais sofisticados de ações e idéias. O trabalho em equipe e a possibilidade de trabalhar com a comunidade proporcionam ao aluno uma rede de pessoas e especialistas que o auxiliam no processo de reflexão e depuração, permitindo o desenvolvimento de conceitos e de novas estratégias.

A abordagem construcionista aplicada à formação do arquiteto e do engenheiro significa a aplicação dos conceitos da produção racional na criação de ambientes onde o aluno, o mais cedo possível, comece a fazer arquitetura e engenharia. O aluno traz para esse ambiente de aprendizagem o conhecimento de que dispõe e, através da prática de fazer arquitetura e engenharia, vai adquirindo conhecimentos e vivenciando o que significa ser um arquiteto ou um engenheiro. Ele tem a chance de ser criativo, crítico, trabalhar em grupo, aprender a aprender e adquirir conhecimentos específicos bem como do paradigma racional. Ele adquire as técnicas desse paradigma, porque, vivendo essas técnicas e, ao concluir o curso, o aluno está em sintonia com o tipo de profissional que a indústria e a empresa demandam.

Hoje, o aluno formado segundo o paradigma da produção em massa, quando contratado por uma empresa, tem que dedicar grande parte do seu tempo na assimilação de um novo paradigma. Esse tempo deveria ser gasto na sua atuação profissional efetiva e não na sua "reformação". Não é necessário muito esforço para entender que se está produzindo profissionais obsoletos.

Isso significa que se não for alterado o paradigma de formação dos nossos profissionais, é possível que se tenha de enfrentar enérgicas acusações provenientes do mercado de trabalho, mostrando certamente, que a Universidade emprega um processo de formação já em desuso. Assim, se essas alterações não forem feitas pelo amor, serão pela dor.

#### **18. 6. A Integração Profissional**

O diálogo entre os arquitetos e os engenheiros é praticamente impossível, pois não existe um vocabulário comum a ambos. Os engenheiros, com uma formação extremamente técnica, apresentam características próprias. Seus conhecimentos são calcados nas ciências físicas e matemáticas, ao passo que os arquitetos, quem sabe os últimos humanistas de nosso tempo, devem estar familiarizados com o planejamento, a estética, a sociologia e a economia.

O exercício da arquitetura e da engenharia no Brasil atravessa uma crise cuja amplitude não tem precedentes, originária principalmente na situação do mercado de trabalho onde a demanda por novos empregos diminui de maneira assustadora.

Enquanto cai a oferta de emprego, dezenas de escolas de arquitetura e engenharia, muitas delas improvisadas e quem sabe, aventureiras, diplomam anualmente milhares de novos profissionais, sem o preparo adequado que a sociedade espera e necessita desses profissionais, inchando o mercado de trabalho, já saturado em algumas regiões.

É necessário lembrar que é mais difícil ser um bom arquiteto do que um bom técnico ou apenas um bom artista. Para o artista, existem as escolas de belas artes e, para os técnicos, existem as escolas de engenharia. Para se formar um arquiteto há necessidade de reunir uma variedade muito grande de conhecimentos: a arte e a técnica, alimentados por uma parcela de talento e criatividade.

Para o arquiteto comum, talvez não seja importante ser um especialista em estruturas, pois este não é seu objetivo. Sua meta é ser um grande arquiteto. Com a educação do sentimento estrutural dos arquitetos é possível proporcionar-se uma melhor compreensão dos sistemas estruturais, contribuindo para soluções mais adequadas.

O desenvolvimento da análise estrutural deve-se aos novos e criativos projetos arquitetônicos e o diálogo entre o arquiteto e o engenheiro se faz necessário para que as arestas sejam aparadas. Quando passam a entender-se, surge, automaticamente, uma grande admiração entre ambos, pois o que falta a um sobra ao outro.

O avanço da arquitetura moderna deve-se aos novos recursos que o cálculo estrutural e a tecnologia lhe colocam à disposição. A prova disto é que todo país com um desenvolvimento arquitetônico avançado é também um grande centro em cálculo estrutural.

Salienta-se que este progresso poderá ser bem maior se for conduzido pelos professores das escolas de arquitetura e engenharia, unificando os pontos de vista entre correntes artísticas e técnico-científicas, atualmente tão separadas.

Excepcionalmente, surgem gênios capazes de criar e compor a arquitetura e a estrutura: Nervi, Candela, Le Corbusier, Torroja, Lúcio Costa ou Niemeyer entre outros, destacam-se pela imponência de suas obras. Surpreendentemente, não se sabe, a priori, se são arquitetos ou engenheiros, pois são excepcionais tanto na arte como na técnica. Não se pode pretender que o aluno normal seja um gênio e nem que o ensino seja estruturado para os excepcionais, porque atualmente as grandes obras são planejadas por uma equipe, a mais entrosada possível.

O aluno, ao sair da escola, deve estar apto a fazer parte de uma equipe, primeiramente como membro, para mais tarde, quando tiver adquirido, pelo esforço e dedicação, a experiência e a cultura necessárias, poder tornar-se um líder.

#### **18. 7. O Ensino**

A função mais importante do professor não é, simplesmente, formar profissionais competentes, mas sim pessoas dotadas de pensamentos livres que possam criar, evoluir e serem capazes de intervir e modificar a realidade. Nesse processo de ensino/aprendizagem, deve-se incentivar a curiosidade e o interesse que só serão alcançados pela constante resolução de problemas que é a motivação central da aprendizagem.

A sensibilidade do professor em ver seus alunos, não como meros espectadores, mas reconhecer suas individualidades e capacidades pessoais aproveitando esta multiplicidade de personalidades em benefício do grupo, através dos conflitos, das discussões e das críticas geradas em torno de um problema, são as fontes fundamentais do aprendizado.

Os alunos de arquitetura e engenharia, normalmente gostam de matérias técnicas, pois sabem que são extremamente necessárias à sua formação. Sentem, porém, muitas vezes, dificuldades em entender essas disciplinas porque as informações sobre os assuntos são transmitidas de maneira totalmente expositiva, sem qualquer entrosamento com a realidade.

O ensino de estruturas nos cursos de arquitetura são baseados, fundamentalmente, nos currículos das escolas de engenharia e, os professores que ministram essas aulas são, na sua maioria, engenheiros que não possuem a qualificação necessária para o ministério dessas aulas de forma puramente qualitativa, no início do curso. Sabe-se, entretanto, que a memória visual do ser humano é a que mais predomina, dentre os atributos associados à inteligência, razão pela qual, os modelos didáticos para o ensino de estruturas são fundamentais para que os conceitos que os envolvem, sejam melhor compreendidos e fixados.

A consciência de que não existem receitas didáticas eficientes e acabadas, pois cada aula apresenta suas próprias características fazem com que o professor escolha, não uma, mas várias técnicas, mesclando-as de maneira que seja atendido o principal objetivo do ensino que é a facilitação da aprendizagem. Equivocadamente, pensa-se que a resolução de problemas estruturais é exclusividade de engenheiros ou de alguns arquitetos iluminados.

Assim, confirma-se que o método proposto atingiu seus objetivos. Tanto é que no curso de engenharia civil da UFSC, o colegiado modificou a grade curricular, adaptando a disciplina de modo a surtir mais efeito, isto é, fazendo com este assunto fosse tratado logo no

início do curso. Considerando ainda, os resultados obtidos entre os alunos da engenharia civil, pode-se afirmar que:

1. A natureza construtivista desta metodologia de ensino levou o aluno a adquirir, paulatinamente, confiança, segurança e compreensão dos conceitos formulados sobre a teoria das estruturas;
2. Verificou-se que a metodologia de ensino baseada no construtivismo, onde o aluno constrói seu conhecimento, aprende porque faz, reflete sobre o produto que obtém e depura as idéias e ações é importante e fundamental para a sua formação.

Preende-se que este trabalho contribua para a melhoria do ensino de estruturas, além de provocar debates e discussões sobre o assunto, pois só assim pode-se melhorar e engrandecer ensino no Brasil.

#### **18. 8. Dificuldades e Limitações**

As dificuldades encontradas na elaboração deste trabalho, são originárias, principalmente, pelas seguintes razões:

1. Falta de uma bibliografia especializada sobre o tema proposto;
2. Disponibilidade de dedicação integral ao laboratório de modelos é prejudicada pelo número excessivo de aulas;
3. A metodologia é aplicada em alunos de segunda fase do curso de arquitetura, ainda sem uma definição precisa de seus interesses;
4. A amostragem deverá ser mais abrangente, aplicando a metodologia também no curso de engenharia;
5. A falta de recursos para a elaboração dos modelos é fator limitante deste trabalho;
6. A falta de bolsistas ou monitores prejudicam a continuidade dos trabalhos;
7. Dificuldade em intercâmbio com instituições nacionais ou estrangeiras.

#### **18. 9. Recomendações**

Existe uma carência muito grande de metodologias que visem otimizar as diversas formas de ensino. Compete à universidade criar mecanismos para essa otimização e apresentá-los à comunidade acadêmica que, em última instância, é que decidirá se a solução proposta é de seu interesse.

A metodologia de ensino de estruturas através de modelos físicos qualitativos não é uma idéia definitiva e acabada. A dinâmica das discussões e o aperfeiçoamento das técnicas tomarão o ensino/aprendizado rico e eficiente.

A edição de livros sobre estruturas com linguagem mais acessível e adequada aos estudantes, onde os conceitos sejam apresentados através de uma linguagem didática é uma necessidade das mais urgentes.

Espera-se que este trabalho sirva de roteiro para outros, pois um assunto complexo como o ensino e aprendizado de estruturas proposto, não poderá ser definitivo.

“Eu não encontrei toda a verdade, mas isto não importa; o que importa é que alguém continue procurando sempre”.

Charles Darwin

## 19. Referências Bibliográficas

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado. Rio de Janeiro, NB-1 (ABNT, 1982 - NBR 6118/82).
- ABNT – Projeto e Execução de Lajes Mistas. Rio de Janeiro, NB-4 (ABNT, 1980 - NBR 6119/80).
- ABNT - Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações. Rio de Janeiro, NB-5 (ABNT, 1980 - NBR 6120/80).
- APOLO, Gerónimo L. Forjados y Losas de Piso: Forjados Unidireccionales. . Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1989.
- ARCANGELI, Attilio. La Struttura nell' Architettura Moderna. Sansoni Edizioni Scientifiche, Itálica, 1976.
- ARDUINI, Ana M. V. Algumas Diretrizes para a Elaboração de um Projeto de Estruturas em Concreto Armado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1991 (Dissertação de Mestrado).
- BENEVOLO, Leonardo. História da Arquitetura Moderna. Perspectiva, São Paulo, 1976.
- BOMBARDELLI, C. Ossa Lunghe: Elementi Naturali Resistenti a Flessione. Acciaio, Milão, 1982.
- BROECK, F. Vanden. Las Estructuras en la Naturaleza y en la Técnica. Universidad Autonoma Metropolitana, México, 1986.
- CONTINI, Edgard. Design and Structure. Progressive Architecture, New York, 1988.
- COWAN, Henry J.; GERO, J. S.; DING, G. D. Models in Architecture. Elsevier Publishing Company, Londres, 1988.
- DI BARTOLO C. Superfici Strutturate: Strutture Resistenti per Forma. CRSN, Itália, 1985.
- DI PIETRO, João Eduardo. Projeto, Execução e Produção de Lajes com Vigotas Pré-fabricadas de Concreto. Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, 1993 (Dissertação de Mestrado).
- DOCZI, György. O Poder dos Limites: Harmonias e Proporções na Natureza. Editora Mercúrio, São Paulo, 1990.

- DREW, Philip. *La Significación Cambiante de la Arquitectura*. Gustavo Gili, Espanha, 1963.
- DRUCKER, P. F. *Post Capitalist Society*. Harper Colins, New York, 1993.
- ENGEL, Heinrich. *Sistemas de Estruturas*. Editora. Hemus, São Paulo, 1987.
- FAILLACE, Raul Rego. *Escadas e Saídas de Emergência*. Editora Sagra, Porto Alegre, 1991.
- FULLER, B. R. *Conceptualidad de las Estructuras Fundamentales en la Estructura en la Arte y en la Ciencia*. Novaro, México, 1980.
- FUSCO, Péricles B. *Estruturas de Concreto*. Escola Politécnica da USP. 1985.
- GARGARIAN, G. *Industrialized Education and Lean Thinking: a Gedanken Experiment*. Cambridge, USA, 1992.
- GORDON, James Edward. *Structures, or Why Things Don't Fall Down*. Penguin Books, Ltd., Londres, 1989.
- GRAEFF, Edgar. *Arte e Técnica na Formação do Arquiteto*. Studio Nobel, São Paulo, 1995.
- GRIMSHAW, Nicholas. *Structure, Space and Skin*. Rowan Moore Editor, Londres, 1993.
- HILSON, Barry. *Basic Structural Behaviour from Models*. Crosby Lockwood, Londres, 1992.
- HOLGATE, A. *The Art in Structural Design*. Clarendon Press, Oxford, 1986.
- HOSSDORF, Heinz. *Model Analysis of Structure*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1984.
- HOWARD, Seymour. *Structural Forms*. Architectural Record, New York, 1981.
- KEPES, Gyorgy. *La Structure dans les Arts et dans le Sciences*. Connaissance, Bélgica, 1987.
- KUHN, T. *The Structure of Scientific Revolution*. Chicago University, Chicago Press, 1982.
- LIN, T. Y. e STORESBURY, S. D. *Conceitos e Sistemas Estruturais para Arquitetos e Engenheiros*. Edições Cotec, Belo Horizonte, 1987.
- MAINSTONE, Rowland J. *Development in Structural Form*. Penguin Books, Nova Iorque, 1983.
- MAKOWSKI, Z. S. *Estruturas Espaciales de Acero*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1982.
- MARCELLINO, Narbal A. *Conhecimento Estrutural na Formação do Arquiteto*. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFSC, 1988 (Monografia).



- MCKENZIE, I. W. Developing Structural Understanding in Young Engineers. University of Paisley, Inglaterra, 1993.
- MIMRAM, M. Structures et Formes, Dunod, Paris, 1983.
- NASCH, William. Resistência dos Materiais. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1990.
- PIAGET, J. Recherches sur L'abstraction Réfléchissante: Études d'épistemologie génétique. PUF, Paris, 1977.
- REBELLO, Yopanan C. F. Contribuição ao Ensino de Estrutura nas Escolas de Arquitetura. FAU-USP, São Paulo, 1993 (Dissertação de Mestrado).
- ROLAND, Conrad. Frei Otto Estructuras. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1978.
- SALVADORI, Mario. Estructuras para Arquitectos. Editora La Isla, Buenos Aires, 1987.
- SALVADORI, Mario. Why Buildings Stand Up. W. W. Norton & Co., Nova Iorque, 1990.
- SANTOS, José Amaro. Sobre a Concepção, o Projeto, a Execução e a Utilização de Modelos Físicos Qualitativos na Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 1983 (dissertação de mestrado).
- SEKLER, E. F. La Estructura en el Arte y en la Ciencia. Novaro, México, 1980.
- SIEGEL, Curt. Structure and Form in Modern Architecture. Krieger Publishing, USA, 1985.
- SILVA, Daiçon Maciel da. Estruturas: Uma Abordagem Arquitetônica. Editora Sagra Luzzatto, Porto Alegre, 1997.
- SILVA, Elvan. Uma Introdução ao Projeto Arquitetônico. Ed. da Universidade, UFRGS, Porto Alegre, 1983.
- SNYDER, J. C. Introdução a Arquitetura. Editora Campus, São Paulo, 1984.
- STEFFEN, Júlio C. Prática de Sistemas Estruturais. Unisinos, São Leopoldo, RS, 1982.
- STEVENS, S. P. Les Formes dans la Nature. Seuil, Paris, 1988.
- STUCCHI, Fernando R. A Intuição e a Criatividade na Concepção de Grandes Estruturas. Escola Politécnica da USP, 1997 (Tese de Livre Docência).
- TIMOSHENKO, S. P. Resistência dos Materiais. Ed. Livros Técnicos, Rio de Janeiro, 1982.
- THOMPSON, W. D. Crescita e Forma. Editora Boringhieri, Itália, 1989.

VALENTE, José Armando. Ensinando Engenharia Através do Fazer Engenharia. NIED, UNICAMP, 1995.

VASCONCELOS, Augusto C. Estruturas Arquitetônicas. Studio Nobel Ltda, São Paulo, 1991.

WILLIAMS, C. H. Los Origenes de la Forma. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1984.

## 20. Bibliografia Complementar

- ABEA - Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura. In: Primeiro Encontro de Professores de Estrutura para Escolas de Arquitetura. FAUUSP, São Paulo, 1984.
- ABREU, Maria Célia de. O Professor Universitário em Aula. MG Editores Associados, São Paulo, 1990.
- ALMEIDA, H. S. Um Estudo do Vínculo Tecnológico entre Pesquisa, Engenharia, Fabricação e Consumo. São Paulo, USP, 1981.
- ANGER, Fred. Construcción Laminar. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1984.
- BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. Rio de Janeiro, Livros Técnicos, 1979.
- BENDER, Richard. Una visión de la Construcción Industrializada. Espanha, Ed. Gustavo Gili, 1987.
- BION, W. R. Volviendo a Pensar. Editora Paidós, Buenos Aires, 1985.
- BRINGHENTI, Idone. O Ensino na Escola Politécnica da USP - Fundamentos para o Ensino de Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.
- BRUCK, Nelson L. M. As Dicas na Edificação. Luzzatto Editores, Porto Alegre, 1987.
- BRUNA, P. J. V. Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento. São Paulo, Editora Perspectiva, 1976.
- CAMPANARI, F. A. Teoria das Estruturas. Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1985.
- COWAN, Henry J. Architectural Structures. American Elsevier Publishing Company, New York, 1986.
- EIFLER, Adriane M. Recursos Didáticos para o Ensino de Análise Estrutural. UFRS, 1990 (Dissertação de Mestrado).
- FRASER, D. J. Conceptual Design and Preliminary Analysis of Structure. Pitman, USA, 1981.
- FREIRE, P. Pedagogy of the Oppressed. Seabury Press, New York, 1980.
- GROPIUS, Walter. Bauhaus: Nova Arquitetura. Editora Perspectiva, São Paulo, 1982.
- HITCHCOC, Henry R. World Architecture. Hamlyn Publishing Group, Londres, 1981.

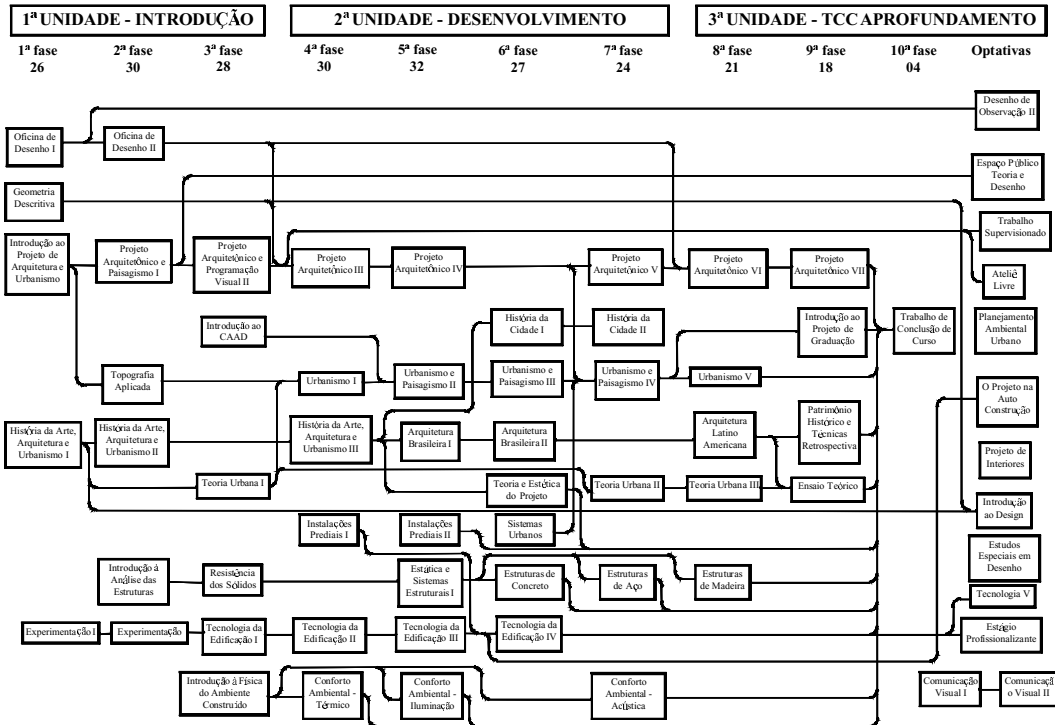
- LEONHARDT, Fritz. Construções de Concreto. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 1984.
- LORIGGIO, Plácido. Sistemas Estruturais. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 1975 (Dissertação de Mestrado).
- MACAULAY, David. A Cidade: Planificação e Construção de uma Cidade Romana. Lisboa, Publicações Don Quixote, 1978.
- MARTUCCI, Ricardo. Sistemas Estruturais. São Paulo, Editora. Atlas, 1971.
- MASCARÓ, Juan Luis. O Custo das Decisões Arquitetônicas. São Paulo, Editora Nobel, 1985.
- MONTOYA, P. J. Hormigon Armado. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1987.
- NASCH, William. Resistência dos Materiais. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1990.
- PARICIO, Ignacio. La Construcción de la Arquitectura: la Estructura. Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya, Espanha, 1994.
- PATTON, W. J. Materiais de Construção. São Paulo, Editora Universitária, 1978.
- PEREIRA, Luiz T. V. e BAZZO, Walter A. Ensino de Engenharia - Na Busca do Seu Aprimoramento. Editora da UFSC, Florianópolis, 1997.
- PETRIGNANI, A. Tecnologia de la Arquitectura. Espanha, Ed. Gustavo Gili, 1987.
- PFEIL, Walter. Concreto Armado. Rio de Janeiro, Ed. Livros Técnicos, 1989.
- PIPPARD, A. J. S. Experimental Study of Structures. E. Arnold & Co, Londres, 1974.
- POLILLO, Adolpho. Concreto Armado. São Paulo, Ed. Nobel, 1981.
- POPPER, K. O Realismo e o Objetivo da Ciência. Ed. Don Quixote, Lisboa, 1987.
- RAGON, Michel. Historie Mondiale de l'Architecture et de l'Urbanisme. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1979.
- ROCHA, Aderson M. Concreto Armado. São Paulo, Ed. Nobel, 1990.
- ROLAND, Conrad. Frei Otto Estructuras. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1978.
- ROSSO, Teodoro. Métodos Artesanais e Métodos Industriais, FAU-USP, 1980.
- ROSSO, Teodoro. Teoria e Prática da Coordenação Modular. FAU/USP, 1976.
- SCHMITT, H. Tratado de Construcción. Espanha, Ed. Gustavo Gili, 1989.
- SNYDER, J. C. Introdução a Arquitetura. Editora Campus, São Paulo, 1984.

- SUSSEKIND, J. C. Curso de Análise Estructural. São Paulo, Ed. Globo, 1991.
- THOMPSON, W. D'Arcy. Crescita e Forma. Boringhieri, Turim, Itália, 1979.
- TORROJA, Eduardo. Razon y Ser de los Tipos Estructurales. Instituto Eduardo Torroja de la Construcion y del Cemento, Impression Artes Graficas MAG, Madri, 1978.
- UEAtc - Union Européenne pour L'agrément Technique dans la Constrution. Directivas Comuns para a Homologação de Pavimentos não Tradicionais de Betão Armado ou Pré-esforçado. Portugal, 1982.
- ZANETTINI, Siegbert. O Ensino de Projeto na Área de Edificação. FAU-USP, São Paulo, 1980 (dissertação de mestrado).

**21. Trabalhos apresentados e publicados em anais de congressos oriundos desta tese**

1. **O Conhecimento Qualitativo das Estruturas.** XXVI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE 98 – Universidade São Judas Tadeu, São Paulo/SP, Outubro/1998.
2. **O Ensino de Estruturas no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.** Congresso Nacional da Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura, Universidade Estadual de Londrina, Paraná, Dezembro/1999.
3. **Análise Qualitativa das Estruturas: Uma Ferramenta de Ensino.** XXVII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE 99 – Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal, Outubro/1999.
4. **O Instrucionismo e o Construcionismo no Ensino de Estruturas.** XXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE 2000 – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Outubro/2000

## **ANEXOS**





**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DE TECNOLOGIA DO DAU/UFSC****ARQ 5641 - EXPERIMENTAÇÃO I - 60 Horas/Aula - 1ª Fase**

Compreensão do funcionamento das estruturas através da elaboração e análise de modelos. Sistemas estruturais. Cargas nas estruturas. Estados básicos de tensão. Materiais estruturais. Vínculos. Vigas e pilares, solicitações internas. Noções de pré-dimensionamento.

**ARQ 5642 - EXPERIMENTAÇÃO II - 45 Horas/Aula - 2ª Fase**

Pré-requisito: ARQ 5641

Análise qualitativa do funcionamento das estruturas através de observações e experiências para lajes planas e/ou plissadas, lajes duplas, escadas, grelhas, cascas, cúpulas, membranas, pórticos planos e espaciais, treliças planas e espaciais, pré-moldados, noções de pré-dimensionamento; Introdução ao projeto de estruturas.

**ARQ 5640 - INTRODUÇÃO A ANÁLISE DE ESTRUTURAS - 75 Horas/Aula - 2ª Fase**

Estudo de funções e gráficos. Noções sobre limites e continuidade. Derivadas de função de uma variável (definição, importância e aplicações em cálculo de estruturas). Integral definida e indefinida (definição, importância e aplicações em cálculo de áreas, momento fletor, momento de inércia e estruturas). Cálculo de forças axiais, esforços cortantes e momentos fletores em elementos estruturais.

**ARQ 5661 - TECNOLOGIA DA EDIFICAÇÃO I - 60 Horas/Aula - 3ª Fase**

Pré-requisito: ARQ 5642

Importância da tecnologia na formação do arquiteto. A técnica do edifício e a história. Visão geral dos diferentes tipos de edificação. Normalização. Noções dos sistemas construtivos. Sistemas construtivos em função do solo.

**ARQ 5662 - TECNOLOGIA DA EDIFICAÇÃO II - 60 Horas/Aula - 4ª Fase**

Pré-requisito: ARQ 5661

Materiais, equipamentos, técnicas construtivas, discriminações e quantificação em serviços preliminares, fundações e estruturas.

ARQ 5663 - **TECNOLOGIA DA EDIFICAÇÃO III** - 60 Horas/Aula - 5ª Fase

Pré-requisito: ARQ 5662

Materiais, equipamentos, técnicas construtivas, discriminações e quantificação em coberturas, impermeabilizações e vedações.

ARQ 5664 - **TECNOLOGIA DA EDIFICAÇÃO IV** - 60 Horas/Aula - 6ª Fase

Pré-requisito: ARQ 5663 e ECV 5622

Materiais, equipamentos, técnicas construtivas em instalações e acabamentos, discriminações, quantificação, custos, orçamentos e cronogramas de obras.

ARQ 5675 - **TECNOLOGIA V** - 60 Horas/Aula - Optativa

Pré-requisito: ARQ 5664

Tópicos especiais da construção.

ECV 5645 - **RESISTÊNCIA DOS SÓLIDOS** - 75 Horas Aula - 3ª Fase

Pré-requisito: ARQ 5640

Conceitos fundamentais. Análise de tensões e deformações. Solicitações simples: tração, compressão, flexão reta e oblíqua, torção e cisalhamento. Solicitações compostas. Princípios de linhas elásticas e flambagem.

ECV 5647 - **ESTÁTICA E SISTEMAS ESTRUTURAIS** - 60 Horas/Aula - 5ª Fase

Pré-requisito: ECV 5645

Generalidades sobre estruturas: cargas, materiais e vínculos. Cabos: geometria, esforços, deslocamento e estabilização. Arcos: funiculares, bi-articulados, tri-articulados e engastado. Treliças: esforços, deformações. Vigas: isoladas e contínuas, vigas-parede, consolos curtos, viga balcão. Pórticos: simples e múltiplos, viga Vierendeel. Grelhas: retangular, enviesada e múltiplas. Placas: esforços, retangulares, poligonais e circulares.

ECV 5648 - **ESTRUTURAS DE CONCRETO** - 75 Horas/Aula - 6ª Fase

Pré-requisito: ECV 5647

Generalidades. Propriedades do concreto. Aço e concreto armado. Classificações das estruturas de concreto armado. Definição de cargas e esforços solicitantes. Flexão simples de cisalhamento. Lages maciças, mistas, nervuradas e cogumelos. Escadas. Vigas isoladas e contínuas. Compressão, tração e flexão composta. Pilares e tirantes. Torção.

ECV 5649 - **ESTRUTURAS DE AÇO** - 30 Horas/Aula - 7ª Fase

Pré-requisito: ECV 5647

Generalidades. Propriedades. Tração. Compressão simples. Flexo-compressão normal e oblíqua. Ligações. Ação do vento nas estruturas.

ECV 5650 - **ESTRUTURAS DE MADEIRA** - 30 Horas/Aula - 8ª Fase

Pré-requisito: ECV 5647

Análise da estrutura interna do material. Ortotropia do comportamento mecânico da madeira. Tração, compressão e cisalhamento paralelo às fibras. Compressão e tração transversal e inclinada às fibras. Flexão simples. Solicitação de peças múltiplas. Ligações.