

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Estudo de Cobertura para Grandes Vãos utilizando Perfis Tubulares

FLÁVIA MACEDO FURTINI

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Fernando Loureiro Ribeiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Ouro Preto, Setembro de 2005.

F992e Furtini, Flávia Macedo.
Estudo de cobertura para grandes vãos utilizando perfis tubulares [manuscrito]. /
Flávia Macedo Furtini. - 2005.
xviii, 204f.: il. color.; tabs.

Orientador: Prof. Luiz Fernando Loureiro Ribeiro.

Área de concentração: Construção Metálica.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação
em Engenharia Civil.

1. Cobertura (Engenharia) - Teses. 2. Cobertura metálica - Teses.
3. Engenharia de estruturas - Teses. 4. Projetos de engenharia -
Teses

I.Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

***Aos meus pais, José Geraldo e
Maria do Carmo.***

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, por iluminar sempre o meu caminho;

Aos meus pais José Geraldo e Maria do Carmo, meus exemplos de vida e incentivo; aos meus irmãos Andréa e Cristiano pela amizade, companheirismo e alegria em todos os momentos;

À minha família, pela força e carinho; à família Muniz por todo o apoio e acolhimento;

Às minhas queridas Cristiane e Betina, amigas, parceiras e sócias para a vida toda.

À Renata, Domênica e Kneipp, amigos verdadeiros em tão pouco tempo. Obrigada por todos os momentos juntos;

Aos meus colegas de mestrado, em especial a Kátia, Paulo, Ana Amélia, Ana Carolina e Flávio pela amizade e alegria tão constante neste período;

Ao Vinicius pela grande amizade e apoio;

Ao meu orientador Luiz Fernando Loureiro Ribeiro pela confiança e colaboração no desenvolvimento deste trabalho;

Ao departamento de Engenharia Civil da UFOP; aos funcionários da Escola de Minas, em especial a Róvia; aos professores, em especial ao Henor, Ernani, Arlene, Christianne e Ricardo;

À Vallourec & Mannesmann do Brasil, pela oportunidade, apoio e financiamento deste trabalho, em especial aos engenheiros Maurício Dario Filho e Renato Branco;

Ao Afonso Henrique Mascarenhas de Araújo, pela contribuição profissional e pessoal imensa, pela amizade, preocupação, cuidado. Pelas longas horas de conversa e discussões sobre engenharia, arquitetura e vida;

À Engineering, em especial ao David Fratel, Marcelo Hermann e Carlos Britto. Às Empresas BRAFER Construções Metálicas S.A., Açotubo, CompLaser e Techneação;

À Universidade Estadual de Campinas;

E ao Cereno, meu presente maior, minha melhor surpresa, muito obrigada por fazer parte da minha vida.

RESUMO

A racionalização dos métodos construtivos, aliada ao desenvolvimento e utilização freqüentes de elementos pré-fabricados, vem contribuindo para um crescente processo de industrialização nas construções. Neste sentido, a flexibilidade gerada pelo espaço projetado é considerada um importante canal para a viabilização deste processo de construir já que, além de opções de arranjo interno, permite também diversas associações dos materiais construtivos.

A flexibilidade está diretamente relacionada à dimensão dos vãos livres internos que os espaços oferecem. Assim, as estruturas de cobertura para grandes vãos vêm destacando-se no sistema construtivo atual, por permitir espaços amplos e adaptáveis a quaisquer segmentos de mercado, absorvendo suas utilizações e necessidades, sejam elas mutáveis ou não.

O presente trabalho tem por finalidade relatar o processo de desenvolvimento de um sistema estrutural de cobertura para grandes vãos em perfis tubulares sem costura, diferenciado dos demais existentes por se tratar um sistema industrializado. Características pertencentes ao conceito de industrialização como padronização e o controle de qualidade no processo e produto acabam por diferenciar o sistema no mercado nacional.

Considera-se ainda que o sistema de cobertura industrializado constitui um meio eficaz de divulgação e aperfeiçoamento dos processos de manufatura do perfil tubular.

Ao longo do trabalho são apresentadas as etapas do desenvolvimento do sistema, desde as diretrizes para viabilizar a concepção e modulação das peças até os procedimentos para fabricação de um protótipo experimental. Ao final do trabalho, são mostrados alguns exemplos em que o sistema estrutura proposto é utilizado.

Palavras chave: perfil tubular, cobertura, grandes vãos, projeto.

ABSTRACT

The rationalization of the constructive methods, allied to the frequent development and use of pre-manufactured elements, contributes for an increasing process of industrialization in the civil construction. Flexible building spaces are considered one important key in this context since they allow different alternatives of association between the constructive materials and its usability is directly proportional to the free span offered. Thus, large span roofs become distinguished in the current constructive systems by allowing ample and adaptable areas, meeting the requirements of a flexible construction.

The present work describes the phases involved in the design of a large span roof structure using seamless tubular steel profiles. The studied structure differentiates of the existing ones since it is an industrialized product. Its characteristics such as standardization and quality control are inherent to the industrialization concept and consequently one can get a better product being distinguished in the Brazilian civil construction.

The stages of conception of the system since the modulation study until the manufacture procedures are described. In addition, at the end of this work, some examples using the structural system are presented.

Keywords: Hollow sections, large span roof, steel design.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	X
Lista de Tabelas	XVII
Lista de Abreviaturas	XVIII

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Considerações Iniciais	1
1.2 - Objetivos	2
1.3 - Metodologia	3
1.4 - Estrutura da dissertação	3

Capítulo 2 – Coberturas para Grandes Vãos

2.1 - Introdução	5
2.2 - Breve panorama histórico da origem dos grandes vão	8
2.2.1 - Considerações Iniciais	8
2.2.2 - Início do Século XX Até os Dias Atuais	18
2.2.2.1 - Considerações gerais	18
2.2.2.2 - Modelos estruturais	25
2.3 - Edifícios industriais	34
2.3.1 - Sistemas de Cobertura Pré-Fabricada	35
2.3.1.1 – Mercado	37

Capítulo 3 – Elementos Construtivos

3.1 – Introdução	40
3.2 - Sistema de vedação	41
3.2.1 - Telhas metálicas em aço	41
3.2.2- Telhas translúcidas	45
3.3 - Sistema portante	46
3.3.1 - Vigas Secundárias ou Terças	46
3.3.2 - Contraventamentos	50

3.3.3 - Vigas Principais	51
3.3.3.1 - Vigas principais em alma cheia	51
3.3.3.2 - Vigas principais em armações (treliçadas)	52
3.4 - Sistema complementar	53
3.4.1 - Ventilação	53
3.4.2 - Mantas Para Isolamento Térmico	56
3.4.3 - Sistema de Captação de Água Pluvial	57
3.4.4 - Passarelas	58

Capítulo 4 – Diretrizes de Projeto

4.1 - Diretrizes para a modulação	60
4.2 - Parâmetros de classificação	62
4.2.1 - Parâmetros Arquitetônicos	62
4.2.2 - Parâmetros Estruturais	67
4.2.3 - Parâmetros Comerciais	75
4.3 – Diretrizes para o cálculo estrutural	78
4.3.1 - Premissas de cálculo	79
4.3.2 - Desenvolvimento do sistema estrutural	79
4.3.2.1 - Carregamentos e Combinações	80
4.3.2.1.1 - Ações	80
4.3.2.1.2 - Método dos estados limites	84
4.3.2.1.3 - Determinação das ações	86
4.3.2.1.4 - Determinação dos carregamentos	88
4.3.2.1.5 - Determinação das combinações	89
4.3.2.2 - Análise e Dimensionamento da Estrutura	90
4.3.2.2.1 - Generalidades	90
4.3.2.2.2 - Análise numérica	91
4.3.2.2.3 - Comportamento das ligações	91
4.3.2.3 – Detalhamento do Projeto	97

Capítulo 5 – Sistema Padrão V&M do Brasil

5.1 - Introdução	99
5.2 - Características gerais	100
5.3 - Descrição do sistema	105
5.3.1 - Vigas Principais	106
5.3.2 - Vigas Secundárias	108
5.3.3 - Correntes	111

5.3.4 - Contraventamentos	112
5.3.5 - Pilaretes	115
5.3.6 - Ligações	116
5.3.7 - Particularidades do Sistema	118
5.4 - Aspectos arquitetônicos	121
5.4.1 - Sistema de Coleta de Água Pluvial	121
5.4.2 - Sistemas de Iluminação	122
5.4.3 - Sistemas de Ventilação	124

Capítulo 6 – Protótipo

6.1 - Introdução	125
6.2 - Arquitetura	126
6.2.1 - Características Gerais	126
6.2.2 - Sistemas de Fechamento	127
6.3 - Estrutura	135
7.3.1 - Características Gerais	135
7.3.2 - Sistema de Estabilidade da Estrutura	138
7.3.3 - Fundação	138
7.3.4 - Mezanino	139
6.4 - Fabricação	140
6.5 - Montagem	147
6.6 - Análise experimental	152

Capítulo 7 – Ensaio

7.1 - Sugestões de aplicações do sistema	154
7.1.1 – Ginásio de esportes	154
7.1.2 – Unidade escolar – Refeitório / área de convívio	157
7.1.3 – Espaço Multiuso	158
7.1.4 – Terminal Rodoviário	160

Capítulo 8 – Considerações finais

8.1 - Comentários relativos ao presente trabalho	163
8.2 - Sugestões para trabalhos futuros	65

Referências Bibliográficas	167
-----------------------------------	-----

Anexo I	174
----------------	-----

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1: Coliseu de Roma. Concepção artística mostrando o <i>velarium</i> que protegia os espectadores.	8
Figura 2.2: Domus em concreto, Panteão - Roma	8
Figura 2.3: Palácio de Cristal, Londres. Projeto: Joseph Paxton.	10
Figura 2.4: Projeto conceitual de um salão por Viollet-le-Duc, 1863.	11
Figura 2.5: Projeto conceitual para um salão de reuniões por Viollet-le-Duc. 1863	12
Figura 2.6: Estação St. Pancras, Londres. Projeto: William Henry Barlow.	13
Figura 2.7: Estação St. Pancras, Londres. Corte Transversal.	13
Figura 2.8: Galeria das Máquinas, 1889. Projeto: Victor Contamin e Ferdinand Dutert.	14
Figura 2.9: Galeria das Máquinas. Detalhe da Estrutura.	14
Figura 2.10: Galeria das Máquinas. Elevação Interna.	14
Figura 2.11: Iron Bridge Coalbrookdale – Vista da Ponte.	15
Figura 2.12: Ponte Conway, Inglaterra. Seção transversal.	16
Figura 2.13: Ponte Conway, Inglaterra. Vista aérea.	16
Figura 2.14: Ponte Conway, Inglaterra.	16
Figura 2.15: Ponte Firth of Forth em construção, Escócia. Projeto: John Fowler, Benjamin Baker.	17
Figura 2.16: Ponte Firth of Forth, Escócia.	17
Figura 2.17: Ponte Firth of Forth. Detalhe.	17
Figura 2.18: Fábrica George N. Pierce. Projeto: Albert Kahn.	19
Figura 2.19: Fábrica George N. Pierce. Vista interna.	19
Figura 2.20: Fábrica de produtos químicos. Projeto: H. Poelzig.	20
Figura 2.21: Fábrica Fargus. Projeto: Walter Gropius e Meyer.	20
Figura 2.22: Fábrica de Turbinas da AEG, Berlin. Projeto: Peter Behrens.	21
Figura 2.23: Fábrica padronizada da Companhia Austin, Cleveland, EUA.	22
Figura 2.24: Hangar em treliça espacial, para a Força Aérea norte-americana.	23

Figura 2.25: Sistema Mero.	23
Figura 2.26: Sistema Mero	23
Figura 2.27: Formas básicas para pavilhões de grandes vãos. A: Pavilhão Extrudado. B: Estruturas Especiais.	24
Figura 2.28: Centro de Artes Visuais Sainsbury, Inglaterra 1978. Pavilhão Extrudado.	24
Figura 2.29: Centro de Artes Visuais Sainsbury. Isométrica.	24
Figura 2.30: Palácio do Trabalho de Turim, Itália, 1961. (a) Planta. (b) Vista.	25
Figura 2.31: Edifício Berliner Bogen, Hamburgo, Alemanha 2002.	26
Figura 2.32: Exemplos de grelhas.	27
Figura 2.33: Pórticos (a) Simples Deslocáveis, (b) Simples Indeslocáveis, c) Múltiplo deslocável e d) Múltiplo Indeslocável.	28
Figura 2.34: Efeito de 2ª ordem.	28
Figura 2.35: Alguns contraventamentos utilizados em pórticos: a) Travamento em “X”; b) Travamento em “K”; c) Travamento em “Y”.	28
Figura 2.36: Contraventamento em a) “X” e b) “Y”, executados com perfis tubulares no galpão da Açotubo em Guarulhos, São Paulo.	29
Figura 2.37: Aeroporto de Stansted, Inglaterra, 1991. Projeto: Sir Norman Foster.	29
Figura 2.38: Casca de dupla curvatura. (a) Módulo básico. (b) Associação dos módulos.	30
Figura 2.39: Aeroporto Internacional de Denver, 1994.	30
Figura 2.40: Aeroporto Internacional de Denver, 1994. Vista Interna.	31
Figura 2.41: Igreja Batista em Fortaleza.	31
Figura 2.42: Esquema de estruturas pneumáticas.	32
Figura 2.43: Aplicações da treliça plana no edifício sede da V&M do Brasil, em Belo Horizonte, MG.	33
Figura 2.44: Aplicações da treliça espacial. Centro de Eventos Expominas, em Belo Horizonte, MG	33
Figura 2.45: Estrutura de cobertura em viga treliçada plana pré-fabricada. Concessionária de veículos em Belo Horizonte, MG.	36
Figura 2.46: Comparação entre a permeabilidade visual do perfil tubular de seção circular e outros tipos de seção.	37
Figura 2.47: Estado de conservação da cobertura em treliça, realizada com cantoneiras e perfis tipo caixão.	37
Figura 2.48: Esquema de modulação do sistema.	39
Figura 2.49: Sistema de Cobertura do Hipermercado Extra, BH, MG.	39

Capítulo 3

Figura 3.1: Perfis usuais em telhas	42
-------------------------------------	----

Figura 3.2: Telhas metálicas	42
Figura 3.3: Fixação das telhas na estrutura.	43
Figura 3.4: Seqüência de montagem das telhas metálicas.	43
Figura 3.5: Processo de zipagem da telha.	44
Figura 3.6: Perfilação da chapa in loco.	44
Figura 3.7: Cobertura em telha zipada.	44
Figura 3.8: Exemplos de detalhes para a fixação das telhas.	44
Figura 3.9: Exemplos de telhas isotérmicas.	45
Figura 3.10: Iluminação zenital. Galpão da Açotubo, Guarulhos/SP.	46
Figura 3.11: Terças treliçadas de seção transversal triangular.	47
Figura 3.12: Estrutura biapoiada.	48
Figura 3.13: “Joists” em treliça, com apoios na viga principal. Sistema de Cobertura do Hipermercado Extra, BH. - MG.	48
Figura 3.14: Estruturas contínuas, onde a continuidade se dá pela adição de mãos francesas ou união das cordas.	48
Figura 3.15: Estruturas Engastadas.	48
Figura 3.16: Cordas paralelas.	48
Figura 3.17: Corda superior Inclínada.	49
Figura 3.18: Cordas arqueadas.	49
Figura 3.19: Tipo de perfis utilizados nos banzos.	49
Figura 3.20: Tipo de perfis utilizados nas diagonais e montantes.	49
Figura 3.21: Ligação dos tirantes em terças de perfil aberto.	50
Figura 3.22: Contraventamentos horizontais em estruturas tubulares. Sede da Açotubo em Guarulhos, SP.	51
Figura 3.23: Viga em alma cheia com seção transversal “I”, altura variável.	51
Figura 3.24: Viga de seção composta.	52
Figura 3.25: Tipos de seções utilizadas em treliças.	53
Figura 3.26: Sistema de ventilação natural, efeito “chaminé”.	54
Figura 3.27: Tipo de lanternim curvo.	55
Figura 3.28: Exemplos de aberturas para a entrada de ar.	55
Figura 3.29: Manta em lã de vidro.	56
Figura 3.30: Lâmina de alumínio.	56
Figura 3.31: Exemplos de seções de calhas.	58
Figura 3.32: Passarela metálica em chapa expandida sobre cobertura.	58
Figura 3.33: Tipos de materiais empregados nas passarelas.	59

Figura 3.34: Estados avançados de corrosão em passarelas metálicas.	59
---	----

Capítulo 4

Figura 4.1: Centros de distribuição.	63
Figura 4.2: Módulo típico e módulo típico com plataforma para embarque e desembarque.	63
Figura 4.3: Distribuição das vagas no estacionamento (Terças com vãos de 15m).	65
Figura 4.4: Distribuição das vagas no estacionamento (Terças com vãos de 16m).	65
Figura 4.5: Esquema para telha biapoiada.	66
Figura 4.6: Esquema para telha contínua.	67
Figura 4.7: Deformações em vigas biapoiadas e pórticos.	70
Figura 4.8: Restrições ao uso de pilares metálicos em estrutura de apoio da cobertura metálica.	71
Figura 4.9: Pontos positivos que levam à aquisição de um sistema de cobertura metálica.	76
Figura 4.10: Pontos negativos que não levam à aquisição de um sistema de cobertura metálica.	76
Figura 4.11: Variações da força normal com o tempo.	87
Figura 4.12: Superposição das ações.	87
Figura 4.13: Colapso na chapa.	92
Figura 4.14: Colapso na solda.	92
Figura 4.15: Fratura lamelar na face superior do tubo.	92
Figura 4.16: Puncionamento por cisalhamento na face superior do tubo.	92
Figura 4.17: Colapso na parede lateral do banzo.	92
Figura 4.18: Modos de colapso em ligações soldadas nos perfis tubulares de seção circular.	94
Figura 4.19: Exemplos de ligações diretas entre perfis tubulares de seção circular.	95
Figura 4.20: Ligação com chapa de gusset. Montagem de estrutura em perfil tubular na Fábrica da Brafer, Araucária/PR.	96
Figura 4.21: Ligação entre flanges.	97
Figura 4.22: Reforço do nó na treliça tubular.	98

Capítulo 5

Figura 5.1: Utilização dos perfis tubulares em grandes coberturas: Vantagens e desvantagens.	100
--	-----

Figura 5.2: Nó de treliça espacial. Detalhe da cobertura do Centro de Eventos Expominas, em Belo Horizonte, MG	101
Figura 5.3: Comparação entre os tipos de treliças mais usuais, quanto à quantidade de peças.	102
Figura 5.4: “Gap” da terça.	103
Figura 5.5: “Gap” da treliça principal.	103
Figura 5.6: Ligação direta entre tubos através do corte “boca de lobo”. Fábrica Açotubo - SP	103
Figura 5.7: Procedimento usual para a execução manual do corte “Boca de Lobo”.	104
Figura 5.8: Quadradora de tubos – V&M do Brasil, Belo Horizonte – MG.	105
Figura 5.9: Sistema perfilador cabeça turca – V&M do Brasil, BH - MG.	105
Figura 5.10: Detalhamento da viga padrão principal.	107
Figura 5.11: Viga treliçada central de 10 metros.	107
Figura 5.12: Viga treliçada principal.	108
Figura 5.13: Chapas de ligação soldadas no pilar, detalhe de fixação das terças.	108
Figura 5.14: Elevação da terça de 7,5m.	109
Figura 5.15: Elevação da terça completa de 15m.	109
Figura 5.16: Esquema de forças em uma treliça simples.	110
Figura 5.17: Fixação das terças pelo banzo inferior.	111
Figura 5.18: Fixação dos tirantes flexíveis nos banzos das terças.	112
Figura 5.19: Contraventamento no plano do banzo superior, para estrutura composta por dois módulos.	113
Figura 5.20: Contraventamento no plano do banzo inferior.	114
Figura 5.21: Detalhe da ligação A.	114
Figura 5.22: Pilarete para uso em pilares metálicos.	115
Figura 5.23: Pilarete para uso em pilares de concreto.	116
Figura 5.24: Ligações entre as peças e entre os elementos estruturais. Montagem da estrutura na empresa Brafer.	117
Figura 5.25: Ligação soldada entre as peças. Montagem da estrutura na Empresa Brafer.	117
Figura 5.26: Chapa circular de ligação entre os banzos da viga principal e chapa de ligação da diagonal da terça. Empresa Brafer.	117
Figura 5.27: Rasgo na extremidade da peça para ligação com chapa de gusset.	118
Figura 5.28: Ligação com chapa de gusset.	118
Figura 5.29: Tipos de pilaretes no sistema padrão.	118
Figura 5.30: Pilarete de extremidade.	119
Figura 5.31: Posicionamento das terças.	119

Figura 5.32: Platibanda em concreto.	120
Figura 5.33: Detalhe para calha externa.	122
Figura 5.34: Iluminação zenital.	123
Figura 5.35: Detalhe iluminação zenital.	123
Figura 5.36: Sistema de ventilação natural.	124

Capítulo 6

Figura 6.1: Local de implantação do protótipo.	126
Figura 6.2: Implantação do laboratório.	127
Figura 6.3: Perspectiva esquemática da implantação.	127
Figura 6.4: Esquema do encaixe dos painéis metálicos.	128
Figura 6.5: Disposição dos pilares no projeto do protótipo.	129
Figura 6.6: Pilar auxiliar – 1ª opção.	130
Figura 6.7: Pilar auxiliar – 2ª opção.	131
Figura 6.8: Detalhe da fixação dos painéis no pilar tipo 1.	132
Figura 6.9: Detalhe da fixação dos painéis no pilar tipo 2.	132
Figura 6.10: Interface do painel com o pilar.	133
Figura 6.11: Elevação conjunto pilar / alvenaria, sede da Açotubo, Guarulhos.	134
Figura 6.12: Detalhe da conexão entre o pilar tubular de seção circular e a alvenaria.	134
Figura 6.13: Sistema de fixação da telha zipada.	134
Figura 6.14: Planta de cobertura do protótipo – Banzo superior.	135
Figura 6.15: Vigas principais e terças.	136
Figura 6.16: Apoio da estrutura de cobertura.	137
Figura 6.17: Posicionamento dos tubulões e das estacas.	138
Figura 6.18: Detalhe do baldrame.	139
Figura 6.19: Viga mista com laje pré-moldada.	140
Figura 6.20: Tipos de cortes realizados pela máquina a laser.	141
Figura 6.21: Corte para encaixe tipo “boca-de-lobo” em diagonal da terça.	142
Figura 6.22: Máquina de corte a plasma.	143
Figura 6.23: Tipos de corte da máquina a plasma.	143
Figura 6.24: Exemplos de cortes efetuados pela máquina a plasma. Empresa Açotubo	144

Figura 6.25: Solda ponteadada na pré-montagem.	146
Figura 6.26: Elevação Viga padrão Principal.	146
Figura 6.27: Solda de penetração total.	146
Figura 6.28: Seqüência de montagem do conjunto viga principal / pilarete.	148
Figura 6.29: Montagem viga principal.	148
Figura 6.30: Sentido de montagem.	148
Figura 6.31: Início da primeira etapa da montagem.	149
Figura 6.32: Montagem das terças.	150
Figura 6.33: Travamento das terças.	151
Figura 6.34: Fixação das correntes.	151
Figura 6.35: Detalhe da montagem do contraventamento.	151
Figura 6.36: Ajustes finais das ligações das mãos francesas.	152

Capítulo 7

Figura 7.1: Ginásio de esportes tipo 1.	155
Figura 7.2: Elevações do ginásio de esportes tipo 1.	155
Figura 7.3: Ginásio de esportes tipo 5.	156
Figura 7.4: Elevações do ginásio de esportes tipo 5.	156
Figura 7.5: Perspectiva geral da implantação.	158
Figura 7.6: Vistas da estrutura.	158
Figura 7.7: Perspectivas espaço multiuso.	159
Figura 7.8: Estudo para terminal rodoviário – planta.	160
Figura 7.9: Dimensões e módulos usados.	161
Figura 7.10: Perspectiva do acesso principal.	161
Figura 7.11: Perspectiva geral do terminal rodoviário.	162
Figura 7.12: Elevações Frontal e Posterior do terminal rodoviário.	162

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 2.1: Fábricas com capacidade acima de 10000 t / ano.	38
---	----

Capítulo 4

Tabela 4.1: Vantagens e desvantagens na utilização de pilares metálicos ou em concreto.	70
Tabela 4.2: Dimensões padrão no transporte ferroviário.	77
Tabela 4.3: Dimensões padrão no transporte rodoviário.	77

Capítulo 6

Tabela 6.1: Especificação técnica da máquina a laser.	142
Tabela 6.2: Especificação técnica da máquina a plasma.	144

LISTA DE ABREVIATURAS

AP	Água pluvial
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacture
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CNC	Computer Numeric Control
FEC	Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
MITERP	Manual de implantação de terminais rodoviários de passageiros
SAE	Society of Automotive Engineers
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
V&M	Vallourec & Mannesmann
VMJ	Vallourec & Mannesmann Joist
VP	Viga Principal

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A engenharia de edificações no Brasil vem acompanhando as inovações tecnológicas mundiais em quase todos os seus aspectos. As novas tecnologias ganham cada vez mais espaço no contexto técnico nacional, cujo desenvolvimento gera um impacto significativo na execução das obras.

Com a introdução no mercado de novos sistemas pré-fabricados e a racionalização dos métodos construtivos, percebe-se que o desenvolvimento da industrialização nas construções é crescente. Neste sentido, os espaços denominados flexíveis tornaram-se um importante canal para a concretização desta forma de construir, já que permitem diversas possibilidades de união entre os vários materiais existentes.

A partir desta contextualização, as estruturas de cobertura para grandes vãos vêm destacando-se entre os elementos construtivos, por permitir espaços amplos e adaptáveis a quaisquer segmentos de mercado, absorvendo suas utilizações e necessidades, sejam elas mutáveis ou não.

No entanto, observa-se que no mercado nacional, é escassa a oferta de soluções para sistemas de coberturas industrializadas, conhecidas comercialmente como pré-engenhadas. A maioria das empresas fornecedoras de sistemas de cobertura para grandes vãos desenvolve projetos exclusivos para cada edificação construída, o que reduz a produtividade do setor de engenharia e do processo fabril (devido à não

padronização do seu produto), aumentando o prazo de entrega em obra e gerando maiores custos no contexto global.

Considera-se ainda que atualmente, o sistema construtivo baseia-se na maneira de associação dos elementos, principalmente no setor industrial e comércio, o que viabiliza a adoção de materiais pré-fabricados industrializados, de forma a agilizar o empreendimento e o retorno dos investimentos realizados.

1.2. OBJETIVOS

Em função dos parâmetros mencionados, esta dissertação de mestrado tem por finalidade relatar o processo de desenvolvimento de um projeto de estruturas de cobertura para grandes vãos em perfis tubulares sem costura, concebido pela Vallourec & Mannesmann do Brasil (V&M). Através deste processo, procurou-se documentar e participar das fases de concepção do sistema, de modo a estabelecer-se um completo painel de todas as considerações e etapas necessárias para a obtenção de um produto industrializado economicamente viável e de fácil adaptabilidade a diferentes finalidades.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho buscou-se envolver todos os aspectos a serem considerados em um espaço configurado por estas estruturas, a partir da conceituação dos parâmetros básicos para a modulação do sistema e das diretrizes para os projetos e detalhamento das peças e conexões. Incluiu ainda a relação dos diversos elementos que estabelecem a interface com a estrutura a ser concebida, bem como dos procedimentos e recomendações relativos ao seu bom desempenho.

A utilização de perfis tubulares estruturais sem costura na área da engenharia de edificações no país é relativamente recente, foi introduzido no mercado pela Vallourec & Mannesmann Tubes do Brasil em 2000. Desta forma, além de suprir a carência e possibilitar a divulgação deste tipo de perfil em um mercado em ascensão, o desenvolvimento de um sistema industrializado em perfil tubular tem por finalidade introduzir melhorias nos processos de projeto (principalmente detalhamento de ligações) e fabricação das peças, através da padronização requerida neste tipo de sistema.

1.3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, inicialmente realizou-se uma ampla pesquisa bibliográfica em dissertações, teses, periódicos e publicações especializadas, no intuito de ampliar os conhecimentos acerca dos perfis tubulares, dos processos de projeto que envolvem este tipo de perfil e dos procedimentos e equipamentos existentes para a sua manufatura. Verificou-se também a situação atual dos sistemas construtivos para grandes vãos no mercado brasileiro, além dos diversos materiais pré-fabricados e industrializados existentes.

Durante todo o período de desenvolvimento, manteve-se o contato direto com as empresas V&M do Brasil, Engipar SP e Unicamp, responsáveis pela concepção do sistema, o que possibilitou a coleta de dados relativos à estrutura e elementos construtivos complementares, bem como participar de forma mais efetiva neste processo de concepção. É importante citar que este processo foi extremamente dinâmico e envolveu diversos profissionais relacionados ao tema entre fabricantes, gerenciadores, arquitetos e engenheiros, tornando-o completo em todos os sentidos.

A etapa seguinte refere-se ao processo de fabricação do sistema estrutural V&M, posteriormente montado no campus da Unicamp em Campinas/SP, para a realização de análise experimental. Além de visitas às fábricas responsáveis pela manufatura das peças e elementos estruturais tubulares do protótipo, realizou-se o acompanhamento dos procedimentos de montagem, preparo e efetivação dos ensaios.

A partir das informações e observações coletadas procedeu-se à fase final de organização dos dados e redação da dissertação.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está organizado em oito capítulos e um anexo.

No capítulo II são apresentadas considerações a respeito do termo “grandes vãos”, a partir do conceito de flexibilização dos espaços e dos edifícios. Trata-se da introdução ao termo, a partir do panorama histórico das edificações de grandes vãos com início na revolução industrial.

O capítulo III destina-se a relacionar os elementos construtivos que compõem os sistemas de cobertura, agrupados em conjuntos de acordo com as semelhanças no comportamento e com o caminho natural dos carregamentos.

O capítulo IV aborda as diretrizes adotadas para a definição da modulação do sistema estrutural de cobertura V&M, agrupadas e classificadas neste trabalho como arquitetônicos, estruturais e comerciais. Apresentam-se também as diretrizes e métodos adotados na análise numérica de sistemas estruturais em geral, bem como parâmetros para o dimensionamento e configuração de ligações entre perfis tubulares.

A descrição do sistema V&M e de seus elementos é apresentada no capítulo V, destacando-se as justificativas da configuração adotada e os sistemas construtivos complementares à cobertura.

No capítulo VI faz-se o relato de etapas referentes ao desenvolvimento do protótipo, desde aspectos do projeto arquitetônico até aos procedimentos de fabricação e montagem.

O capítulo VII apresenta sugestões de aplicação da estrutura de cobertura como forma de se comprovar as possibilidades do sistema.

As considerações finais do trabalho são apresentadas no capítulo VIII.

O anexo I relaciona os roteiros dos questionários previstos para serem aplicados com os fabricantes, gerenciadores, clientes e projetistas em estruturas metálicas de cobertura para grandes vãos.

CAPÍTULO 2

COBERTURAS PARA GRANDES VÃOS

2.1. INTRODUÇÃO

No campo das construções metálicas, é freqüente a utilização do termo “grandes vãos” como uma das possibilidades e vantagens das estruturas fabricadas em aço se comparadas aos demais materiais. Entretanto, o que é um grande vão?

O significado, já bastante conhecido deste termo, é aquele que se resume a grandes espaços entre os apoios. A estrutura metálica favorece as edificações em que maiores distâncias entre apoios são necessárias, bem como pilares e vigas com seções transversais reduzidas, devido à maior resistência do material aos esforços a que são submetidos.

O questionamento ao significado do termo surge quando se conclui que os grandes espaços não são somente necessários para acomodação de elementos ou conjunto de elementos de grande porte, ou ainda para transpor grandes obstáculos. Um terceiro conceito do tema, o qual é o objetivo deste trabalho, é a flexibilização dos espaços construídos.

Segundo DORFMAN (2001), uma das principais tendências no desenvolvimento das técnicas de edificação ao longo do século XX foi a contínua busca pela flexibilidade, nos processos construtivos e nos edifícios produzidos. Esta tendência acentuou-se a partir da segunda metade do século, em que a velocidade das mudanças na economia e na forma de vida da sociedade urbana exigiu edificações e técnicas de produção

diferenciadas e instáveis.

O conceito de flexibilidade no contexto das edificações é definido então pela capacidade de estruturas construídas, equipamentos, materiais e processos construtivos em atender a exigências, circunstâncias de produção e utilização mutáveis, sem variações significativas na quantidade de recursos necessários à sua produção ou utilização.

Os edifícios e/ou técnicas construtivas que não se adaptarem a essas novas exigências e condições de uso tendem à obsolescência, que pode ser entendida como uma perda dos recursos investidos em seu desenvolvimento.

DORFMAN (2001) defende ainda que a condição de um espaço construído em acolher diferentes funções, fluxos de pessoas e objetos em variadas formas de organização, bem como a possibilidade de alterar tais formas de organização ao longo do tempo é inversamente proporcional à densidade de obstáculos físicos irremovíveis que fazem parte deste espaço. Em outras palavras, ao se considerar um edifício como elemento destinado a abrigar um número de pessoas e suas determinadas funções, a sua flexibilidade é diretamente proporcional à dimensão dos vãos livres que seus espaços internos oferecem.

Desta forma, uma segunda abordagem para o conceito de flexibilidade do espaço construído seria a flexibilização nas relações entre os elementos construtivos que compõem uma edificação, em particular aqueles pré-fabricados e industrializados. Para o entendimento destes termos, recorre-se à definição de industrialização e pré-fabricação.

O termo industrialização está associado aos conceitos de organização e repetição. A organização é definida como planejamento da produção, o que inclui a pesquisa sobre o produto a ser fabricado para a sua industrialização, controle, comercialização e distribuição. Nesse sentido, a fase de projeto é essencial e insubstituível e não deve ser considerada isolada das demais etapas (BRUNA 2002).

A repetição, a princípio, ocorre através da reprodução de modelos por meio de moldes e prensas, representando o conceito de produção em série. Pode caracterizar também, através da introdução de mecanismos de automação, uma constante interação de modelos operativos com diversos conteúdos de informação, possibilitando a variedade dos objetos produzidos.

Segundo OLIVERI apud BRUNA (2002), o termo pré-fabricação é definido como a fabricação industrial fora do canteiro, de partes das construções capazes de serem utilizadas mediante posteriores ações de montagem. A pré-fabricação de um elemento construtivo da edificação pode ser considerada uma fase de industrialização e não está necessariamente associada à produção em série. Um elemento pode ser produzido em uma quantidade qualquer, com um fim específico e não ser considerado como uma produção industrial. Pode-se dizer que o que vem ocorrendo na construção civil atual é a união de vários elementos construtivos pré-fabricados, resultando em uma montagem na obra.

A industrialização de elementos construtivos destinados ao mercado atualmente é conhecida por industrialização aberta ou ciclo aberto. Este surgiu em oposição ao ciclo fechado, que consistia em sistemas construtivos cujos diferentes componentes, sendo desenvolvidos e produzidos por uma única empresa, não eram intercambiáveis ou compatíveis com os componentes de outros sistemas. Ou seja, as empresas pré-fabricavam os elementos construtivos em função do próprio consumo (DORFMAN, 2001). O fracasso da aplicação destes princípios ocorreu por diversos motivos, entre os quais um dos mais apontados foi a pouca adaptabilidade a condições variáveis de produção e de comercialização, ou seja, pouca flexibilidade.

Assim, os elementos produzidos no contexto de ciclo aberto possibilitam combinações entre si em uma grande variedade de modos, gerando diversos tipos de edificações. São definidos como industrialização de catálogo, pois obriga o fabricante a estabelecer um catálogo e possivelmente um estoque, contendo as características dos elementos como resistência, peso, dimensões e tolerâncias de fabricação (BRUNA, 2002).

Para tal, deve-se estabelecer alguns critérios universais, um acordo dimensional e qualitativo daquilo que se pretende produzir e que sejam aceitos por todos os profissionais envolvidos no processo. Desta necessidade, surge o conceito de Coordenação Modular, cujo objetivo é organizar as dimensões das construções, de maneira a reduzir a variedade de tamanhos dos componentes produzidos e possibilitar a utilização em campo sem modificações ou cortes. Este conceito é abordado de forma generalizada no capítulo 4.

A partir dessas premissas, um sistema construtivo atual concentra-se nas relações entre os elementos, ou seja, na maneira de associar os diversos materiais em variadas possibilidades, de forma a produzir uma melhor arquitetura, mais flexível e capacitada

a adequar-se à complexidade da vida social urbana contemporânea.

2.2. BREVE PANORAMA HISTÓRICO DA ORIGEM DOS GRANDES VÃOS

2.2.1. Considerações iniciais

A história da arquitetura privilegiou certas edificações pela inovação e sensacionalismo causados. As estruturas de grandes vãos, que de acordo com SILVA (1986) representavam uma prova evidente da audácia e da inteligência humana, foram elementos imprescindíveis, balizadores de uma nova arquitetura.

Alguns fatos marcaram a evolução destes sistemas no período entre as primeiras tentativas de realizá-las até o início do século XIX. Exemplo destas ocorrências é a enorme cobertura em toldo, denominada *Velarium*, que protegia os espectadores no Coliseu (figura 2.1) ou o domo maciço em concreto (figura 2.2), de 43 m de diâmetro sobre o Panteão em Roma.



Figura 2.1: Coliseu de Roma. Concepção artística mostrando o *velarium* que protegia os espectadores.

Fonte: FILEY apud ESTÉVEZ, 2002.

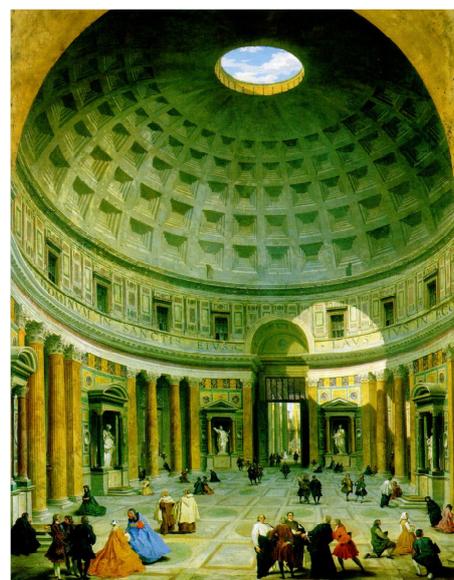


Figura 2.2: Domus em concreto, Panteão – Roma.

Fonte: <http://www.hostgold.com.br> Acesso em agosto 2005.

Entretanto, é a partir do início da Revolução Industrial, por volta da metade do século XVIII, que surgem os primeiros avanços significativos relativos às técnicas de edificação, que viabilizariam a construção de edifícios em que o conceito de flexibilidade estivesse desenvolvido. Estes avanços ocorreram devido à possibilidade de utilização das estruturas em ferro e aço nas edificações, capazes de permitir a

execução de edifícios dotados de grandes coberturas, livres de apoios ou de quaisquer outros obstáculos físicos fixos (DORFMAN, 2001).

Na realidade, o ferro (juntamente com o vidro), era considerado um material construtivo há muitos séculos, mas foi considerado novo a partir do momento em que os progressos industriais permitiram sua produção em grande quantidade e estenderam a sua aplicação à maioria dos edifícios. Até então, o ferro havia sido utilizado como elemento complementar (um reforço), como tirantes ou anéis de ligação entre pedras nas construções (BRUNA, 2002).

De acordo com SILVA (1986), o surgimento do ferro como novo material de construção foi considerado na época como uma conquista tecnológica notável e, simultaneamente às técnicas para a produção do ferro, desenvolveram-se também os processos de elaboração e conformação desse material.

Esta nova forma de construir surgiu em tipologias como fábricas, estações ferroviárias e pavilhões de exposição, em que as novidades dos respectivos programas decorriam das imposições da era industrial. Segundo RAJA (1993), não seria na arquitetura monumental e nem na arquitetura privada, ambas tradicionalistas, que o ferro contribuiria com as soluções estruturais mais puras e simples.

Em meados do século XVIII, apesar do pequeno desenvolvimento da indústria do ferro naquele momento, este material já era utilizado nas fábricas de algodão em pilares e vigas de cobertura, de forma a atender a preocupações relativas à segurança dos elementos estruturais, antes constituídos de madeira.

As características do ferro fundido, quando comparadas às da madeira, mostraram-se favoráveis devido à relação entre peso próprio e dimensões das peças e os vãos vencidos (DORFMAN, 2001). Além do mais, a escassez de madeira que assolava a Europa desde o início do século XVIII favorecia a competitividade econômica do ferro fundido. O avanço técnico-industrial e dos transportes permitia que os elementos feitos desse material chegassem aos canteiros de obra a custos unitários decrescentes.

Surgiu, então, um conjunto de fatores favoráveis ao uso do ferro fundido nas edificações, o que beneficiou a evolução da execução de edificações funcionalmente mais flexíveis, devido ao progressivo aumento de estruturas com vãos livres economicamente e tecnicamente viáveis.

Um aspecto indissociável da difusão de sistemas metálicos na execução de grandes

vãos de cobertura foi a consolidação do conceito da estrutura portante, independente das paredes internas e das fachadas das construções. Até o começo do século XIX, as paredes externas das edificações eram muito espessas, pois funcionavam como uma alvenaria autoportante e ocupavam uma parte significativa do pavimento térreo. Conforme a altura dos edifícios aumentava, as paredes poderiam ficar extremamente espessas nesse pavimento, o que diminuía a sua área útil e inviabilizava a construção de outros andares.

O Palácio de Cristal, de 1851 (figura 2.3), surge como um majestoso exemplo desta nova forma de arquitetura, que surpreendeu pela grandiosidade do espaço interno criado. Não somente graças à dimensão dos vãos, mas também pelo uso abundante do vidro e reduzida seção dos perfis de ferro fundido. A arquitetura do ferro, segundo SILVA (1986), tinha um esqueleto que poderia ser fechado com qualquer material e, com isso, o espaço ganhou fluidez, foi inundado pela luz solar e libertou-se das grossas muralhas. Pela segunda vez na história da arquitetura (a primeira na arquitetura gótica), a rigidez do espaço interno era quebrada.

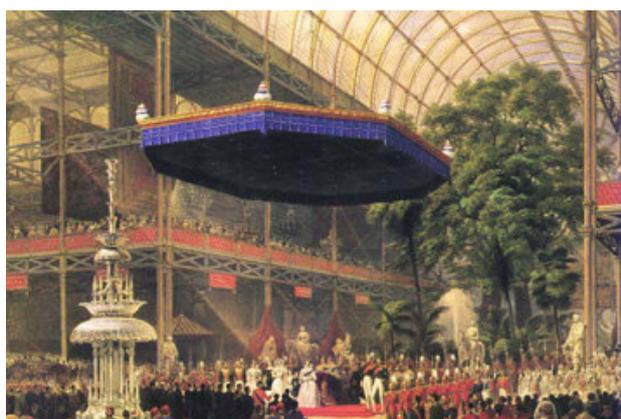


Figura 2.3: Palácio de Cristal, Londres. Projeto: Joseph Paxton.
Fonte: <http://www.buffalogardens.com> Acesso em agosto 2005.

Segundo BRUNA (2002), foram as grandes coberturas para as estações ferroviárias e

pavilhões de exposição industriais que revelaram toda a potencialidade da pré-fabricação como um método construtivo e responsável pela crescente relação entre arquitetura e indústria. Neste ponto, o Palácio de Cristal representava uma síntese de componentes estudados separadamente e coordenados entre si por uma rede modular. O espaço resultante da somatória de elementos padronizados e industrializados era o produto perfeito da tecnologia empregada.

O arquiteto francês Eugene - Emmanuel Viollet-le-Duc, grande historiador e defensor do uso do ferro na arquitetura, propôs a combinação de estruturas em ferro com as alvenarias nas abóbadas e cúpulas, para permitir a ampliação dos vãos e separação dos elementos estruturais do fechamento da edificação (ESTÉVEZ, 2002). Em um de seus trabalhos conceituais, Viollet-le-Duc projetou um salão octogonal para 3.000 assentos, com 42 m de vão livre, montado dentro de uma caixa estrutural de alvenaria. Observa-se (figura 2.4) que os tradicionais pilares em alvenaria, suportes das cúpulas construídas com o mesmo material, foram substituídos por elementos inclinados de perfil tubular em ferro fundido. Essas peças, comprimidas, direcionavam os esforços para consoles nas paredes externas.

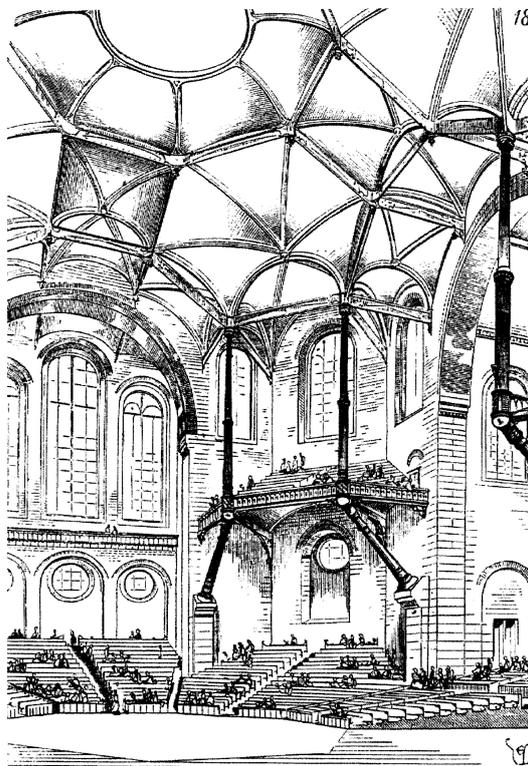


Figura 2.4: Projeto conceitual de um salão por Viollet-le-Duc, 1863.
Fonte: VIOLLET-LE-DUC apud ESTÉVEZ, 2002.

Em um outro trabalho também conceitual, Viollet-le-Duc desenvolveu um projeto para um salão de reuniões situado no segundo pavimento de um prédio, dotado de galeria e mercado em seu térreo. As vigas principais eram feitas de ferro, bem como os pilares de perfil tubular. Estes eram agrupados aos pares, em formato de “V”, de maneira a suportar o pavimento superior (figura 2.5).

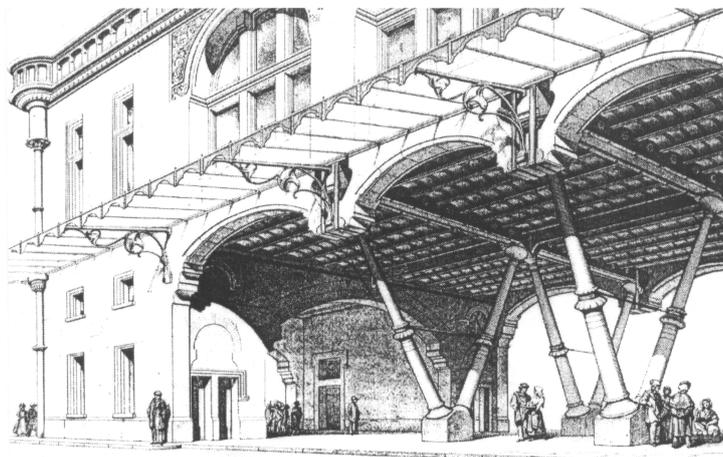


Figura 2.5: Projeto conceitual para um salão de reuniões por Viollet-le-Duc. 1863
Fonte: VIOLLET-LE-DUC apud ESTÉVEZ, 2002.

No caso das estações ferroviárias, abrigar as plataformas de espera para os usuários e as locomotivas a vapor requeriam coberturas amplas, especialmente nas conexões importantes e finais de linha (ESTÉVEZ, 2002).

Um exemplo é a cobertura arqueada da Estação St. Pancras em Londres (figuras 2.6 e 2.7), que teve a sua construção finalizada 1868 e permanece em funcionamento até os dias de hoje. Com um vão de 73m de largura por 209m de comprimento e posicionada a 30m de altura, era a maior cobertura permanente realizada, até o surgimento da Galeria das Máquinas em Paris, em 1889.

Segundo ESTÉVEZ (2002), as vigas treliçadas de ferro batido que suportam o telhado, cada uma delas pesando 55 toneladas, possuem 1,80m de largura, espaçadas a cada 8,90m e apóiam-se em diversos pilares situados nos porões da estação, locais antigamente destinados ao estoque de cerveja. Como a maioria da carga transportada pela linha era constituída por barris de cerveja, a distância entre os pilares foi estabelecida de acordo com o tamanho destes barris.

As estruturas de cobertura de grande parte dos terminais ferroviários do século XIX foram construídas com vigas treliçadas planas. Inicialmente, eram fabricadas em ferro ou madeira e, a partir da segunda metade do século XIX, passaram a ser executadas

também em aço.

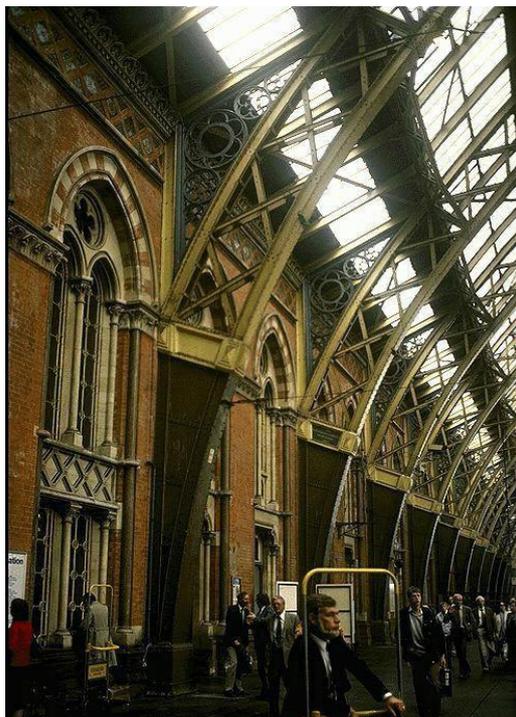


Figura 2.6: Estação St. Pancras, Londres. Projeto: William Henry Barlow.
 Fonte: http://www.greatbuildings.com/buildings/S_Pancras_Station.html
 Acesso em agosto de 2005.

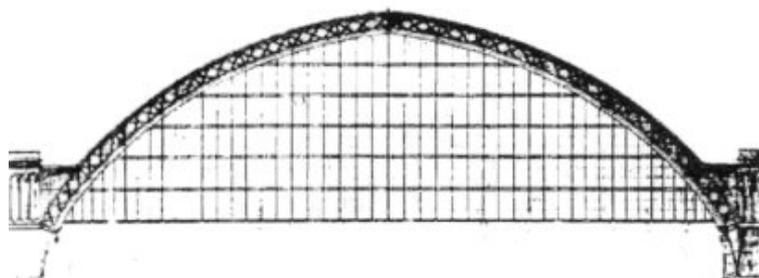


Figura 2.7: Estação St. Pancras, Londres. Corte Transversal.
 Fonte: ESTÉVEZ, 2002.

A Galeria das Máquinas (figura 2.8), construída em 1889 para a Feira Mundial de Paris, representa todo o conhecimento adquirido pelos projetistas ao longo do século XIX em relação aos princípios estruturais e materiais e excedeu, em tamanho, tudo o que havia sido construído. A edificação possuía um vão livre de 115m, suportado por vinte vigas treliçadas distribuídas ao longo dos 420m da edificação, com sua cobertura posicionada a uma altura de 46m. De acordo com ESTÉVEZ (2002), esta galeria constituiu-se em uma das primeiras grandes estruturas construídas em ferro (figuras 2.9 e 2.10), composta de arcos treliçados tri-rotulados.



Figura 2.8: Galeria das Máquinas, 1889. Projeto: Victor Contamin e Ferdinand Dutert
Fonte: PHILLIPS apud ESTÉVEZ, 2002.

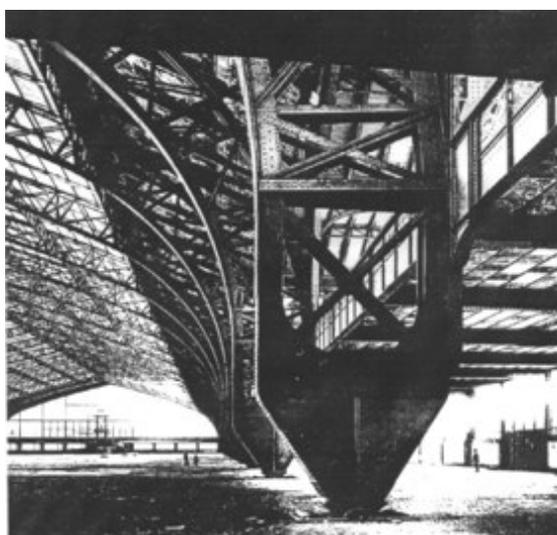


Figura 2.9: Galeria das Máquinas. Detalhe da Estrutura.
Fonte: GÖSSEL apud ESTÉVEZ, 2002.



Figura 2.10: Galeria das Máquinas. Elevação Interna.
Fonte: PEVSNER apud ESTÉVEZ, 2002.

A galeria era dotada, internamente, de grandes plataformas móveis, similares à pontes rolantes, que se deslocavam ao longo do prédio. O público era posicionado sobre estas plataformas móveis de forma a possibilitar um ângulo de visão privilegiado das diversas máquinas em exibição. A edificação possuía todo o seu fechamento em vidro, o que permitia a permeabilidade do olhar de seu interior e exterior.

O desenvolvimento de projetos para pontes contribuiu bastante com o aperfeiçoamento das técnicas para ampliação dos vãos. Em razão da necessidade em se transpor grandes áreas, a engenharia teve de se desenvolver rapidamente no que se refere às teorias de cálculo estrutural e aos processos construtivos, como a pesquisa e os ensaios de materiais, o detalhamento das ligações e as técnicas de montagem (EEKHOUT 1996).

Em meados do século XVIII, na Inglaterra, as chapas em ferro já eram laminadas tendo sido fabricados, em 1761, os primeiros trilhos de ferro fundido para as estradas de ferro (COSTA apud GERKEN 2003). Em 1779, a construção da ponte conhecida como Iron Bridge, em Coalbrookdale na Inglaterra, cujo comprimento do vão era de 30m, marcou o início da utilização de grandes peças em ferro fundido como elementos estruturais das edificações. O arco era formado pela união de dois semi-arcos fundidos, repetidos cinco vezes, como pode ser observado na figura 2.11.



Figura 2.11: Iron Bridge Coalbrookdale – Vista da Ponte
Fonte: www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/iron.html
Acesso em agosto 2005.

Em 1849, na construção da Ponte Conway, na Inglaterra, utilizou-se uma seção transversal do tipo tubular pela primeira vez como elemento estrutural horizontal,

segundo EEKHOUT (1996). A ponte foi construída com uma viga caixão de seção transversal retangular, como um túnel sobre um vão livre de 140m (figuras 2.12, 2.13 e 2.14). Embora a resistência das vigas de seção tubular já fosse reconhecida, as investigações científicas mais extensas sobre a resistência do material em relação à área da seção transversal foram concluídas apenas no século XIX, já que o uso dos perfis tubulares foi, desde o princípio, predominante em elementos verticais.

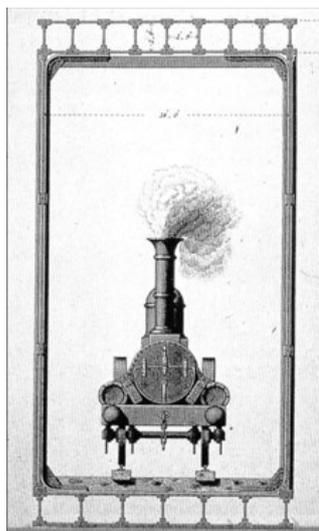


Figura 2.12: Ponte Conway, Inglaterra.
Seção transversal.
Fonte: EEKHOUT, 1996.

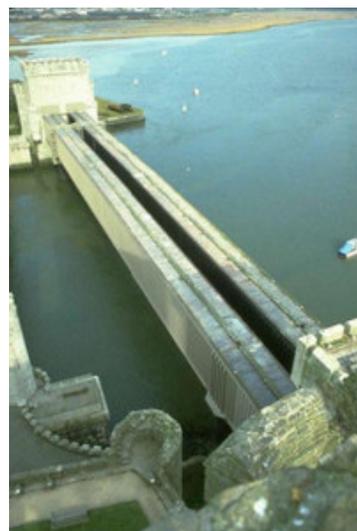


Figura 2.13: Ponte Conway, Inglaterra. Vista aérea. Fonte: GERKEN, 2003.



Figura 2.14: Ponte Conway, Inglaterra.
Fonte: <http://www.archinform.net/projekte/4917>. Acesso em agosto 2005.

A construção da Ponte Conway significou um grande avanço no conhecimento da resistência das estruturas. As questões estudadas experimentalmente para a sua execução envolveram não só as análises de rigidez e de resistência, mas também de estabilidade geral da ponte em estruturas tubulares, a resistência de chapas de ferro e dos vários tipos de juntas rebitadas (EEKHOUT, 1996).

Os fabricantes de estrutura, na época, realizaram diversos testes para obter a melhor seção em perfis de ferro forjado laminado, na busca por uma viga economicamente mais interessante quanto à relação resistência-peso. As experiências levaram ao desenvolvimento gradual das estruturas com seções tubulares, inicialmente retangular, que era composta por cantoneiras interligadas por rebites. Evoluiu-se, então, para tubos estruturais circulares laminados.

A construção da Ponte Firth of Forth, entre 1883 e 1889, marca o início da utilização de perfis tubulares circulares desenvolvidos para atender à transposição de grandes vãos e a possibilitar o acesso de trens de carga às mais longínquas distâncias (figura 2.15). A ponte, com vãos de 500m, foi projetada sob a condição de aparentar total robustez, já que estava substituindo a Tay Bridge, destruída pela ação do vento. A estrutura foi praticamente toda feita em chapas de aço laminado e os elementos tubulares comprimidos tinham 3,7m de diâmetro (figuras 2.16 e 2.17).

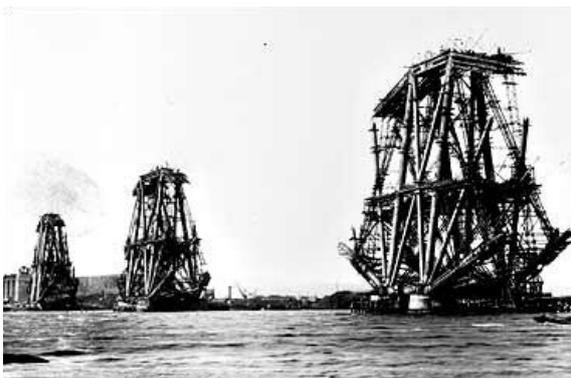


Figura 2.15: Ponte Firth of Forth em construção, Escócia. Projeto: John Fowler, Benjamin Baker. Fonte: http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/firth_of_forth. Acesso agosto 2005.



Figura 2.16: Ponte Firth of Forth, Escócia. Fonte: EEKHOUT, 1996.



Figura 2.17: Ponte Firth of Forth. Detalhe. Fonte: EEKHOUT, 1996.

A obra apresenta as treliças espaciais em balanço, constituídas por perfis tubulares de seção transversal circular, como uma inovação no emprego de elementos tubulares com funções estruturais. Essas treliças eram confeccionadas em chapas planas laminadas e calandradas, conectadas através de rebites.

Em relação às edificações, segundo ESTÉVEZ (2002), surgiram importantes mudanças na matriz energética na passagem do século XIX para o século XX. Desde o início da revolução industrial, as máquinas eram movidas a vapor, cuja energia era transmitida por correias. Assim, devido ao peso dessas máquinas, as edificações onde estavam localizadas possuíam apenas um pavimento. Com a popularização da eletricidade e a invenção do elevador, somando-se às possibilidades adquiridas com a estrutura metálica, uma nova produção arquitetônica foi alcançada. Os edifícios altos, construídos inicialmente em Nova York, tornaram-se posteriormente uma solução para a reconstrução do centro da cidade de Chicago, atingido por um grande incêndio em 1871 (COSTA, 2004).

Segundo DORFMAN (2001), a multiplicação de arranha-céus ocorrida em Chicago foi uma comprovação de que a verticalização não teria sido possível, em termos técnicos e econômicos, se a sustentação daqueles edifícios dependesse de suas paredes internas e externas. A liberação destas paredes da função portante foi um passo importante para a flexibilização funcional dos edifícios.

Este fato ficaria claramente expresso no conceito de “planta - livre”, de Le Corbusier, que em 1927 defendia como resultado direto da independência entre estruturas e vedações, possibilitando maior diversidade dos espaços internos, bem como mais flexibilidade na sua articulação. De acordo com DORFMAN (2001), Corbusier criou na década de 20 do século XX, um conceito para designar algo que vinha sendo posto em prática desde o século XIX.

2.2.2. Início do século XX até os dias atuais

2.2.2.1. Considerações gerais

A partir do século XX, o domínio de vários modelos estruturais e técnicas de construção permitiu usos diferenciados para as coberturas de grandes vãos. Novas idéias surgiram e tecnologias foram desenvolvidas decorrentes da aplicação destes sistemas, de forma a facilitar a utilização e possibilitar uma melhoria na flexibilização dos espaços.

Apresenta-se, a seguir, um breve panorama de algumas edificações construídas ao longo do século passado, bem como as respectivas contribuições para o desenvolvimento dos sistemas de grandes vãos. Procurou-se por exemplares que fossem condizentes com o tema proposto, já que são inúmeras as tipologias e sistemas estruturais destinadas a este fim. Buscou-se por vestígios na história que apresentem, de certa forma, o desenvolvimento dos recursos criados pela arquitetura e engenharia para melhor aproveitamento dos espaços.

A arquitetura das fábricas no século XX teve como ponto de partida as inovações implementadas pelo projeto da Fábrica de Automóveis de George N. Pierce nos Estados Unidos, em 1906 (figura 2.18).

A fábrica era composta de três edifícios principais, todos originários de um módulo estrutural comum. Este módulo permitia a adoção de múltiplos e submúltiplos, determinados por várias grelhas estruturais. O layout da fábrica era distribuído em um único e longo pavimento, o que permitia a organização horizontal do processo de manufatura (figura 2.19).

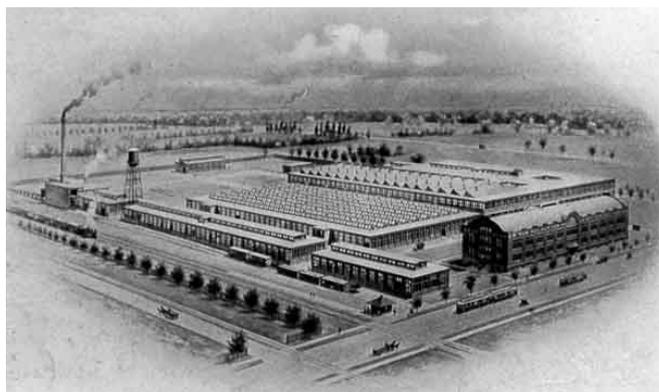


Figura 2.18: Fábrica George N. Pierce. Projeto: Albert Kahn.

Fonte: <http://ah.bfn.org/h/pierce/pierce/source/10.html> Acesso em agosto de 2005.



Figura 2.19: Fábrica George N. Pierce. Vista interna. Fonte: ESTÉVEZ, 2002.

Esta conformação do layout foi possível graças a iluminação zenital, que permitia o posicionamento das áreas de trabalho independentes da iluminação lateral proporcionada pelas janelas. A manufatura dos produtos nas fábricas acompanharia uma linha de produção disposta ao longo da circulação, determinada pelo fluxo de trabalho (ESTÉVEZ, 2002). Determinaram-se, então, os fundamentos para a elaboração de projetos de uso industrial para várias décadas subseqüentes.

A partir de 1910, surgiram outras edificações de representatividade para a arquitetura industrial, como a fábrica de produtos químicos na Alemanha em 1911 (figura 2.20) e a Fábrica Fagus (1910-1914, figura 2.21), considerada a obra mais progressista da época. (GERKEN, 2003). Os projetos priorizaram o conceito funcionalista das fábricas, com o auxílio da estrutura em aço.



Figura 2.20: Fábrica de produtos químicos. Projeto: H. Poelzig.
Fonte: PEVSNER apud GERKEN, 2003.



Figura 2.21: Fábrica Fagus. Projeto Walter Gropius e Meyer
Fonte: PEVSNER apud GERKEN, 2003.

Um dos mais reconhecidos exemplares é a Fábrica de Turbinas da AEG, construída em Berlim em 1909, em que grandiosas vidraças preenchem os espaços marcados pela estrutura de aço, posicionada externamente à edificação. Observa-se paredes amplamente limpas em sucessão rítmica. Pela primeira vez, concretizava-se a

criatividade na arquitetura industrial (figura 2.22).



Figura 2.22: Fábrica de Turbinas da AEG, Berlin. Projeto: Peter Behrens
Fonte: PEVSNER apud GERKEN, 2003.

Um fato importante na arquitetura industrial ocorreu nos Estados Unidos em 1914, com o conceito das estruturas padronizadas em aço para fábricas, introduzido pela Companhia Austin. Acreditava-se que grande parte das necessidades dos edifícios industriais poderia ser satisfeita com poucos modelos de edifício e que esta idéia de padronização poderia facilitar a produção em série com redução de custos (ESTÉVEZ, 2002).

O sistema possuía dez modelos padronizados, todos intercambiáveis (figura 2.23). A maioria era constituída por pavilhões de um pavimento, com a estrutura desenvolvida para diversas alturas e os vãos previstos para acomodar linhas de montagem de variados tipos de indústria. O sistema de cobertura com diferentes configurações permitia iluminação e ventilação naturais.

Devido às diversas possibilidades de utilização deste tipo de edifício em fábricas e indústrias, tornou-se necessária a concepção de novos projetos arquitetônicos que valorizassem a flexibilização dos espaços, ao torná-los capazes de aceitar modificações e absorver novas funções e não somente acréscimos de área. A partir deste novo conceito, desenvolveu-se o interesse por espaços livres de pilares intermediários também em construções de escolas, ginásios de esportes e edifícios comerciais, ampliando o uso de coberturas de grandes vãos em outros tipos de edificações.

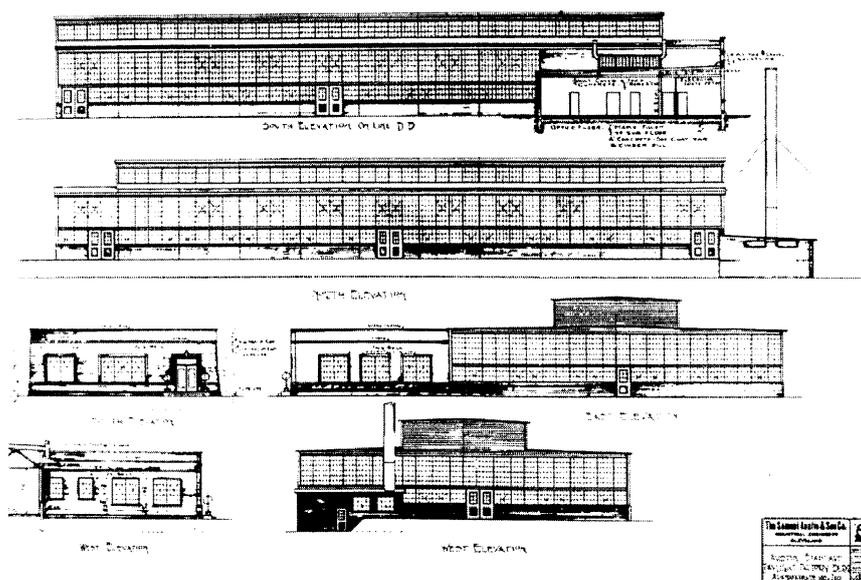


Figura 2.23: Fábrica padronizada da Companhia Austin, Cleveland, EUA.
Fonte: ESTÉVEZ, 2002.

Além disto, após a primeira guerra mundial, a necessidade de se fazer novas construções e a reconstrução dos edifícios propiciaram o desenvolvimento da construção metálica, uma vez que sua rapidez de montagem e a facilidade de transporte, permitiam atender a grande demanda da época (EEKHOUT, 1996).

Na década de 50, Konrad Wachsmann em seu estudo para um sistema estrutural em hangares para a força aérea norte-americana (figura 2.24), desenvolveu um sistema construtivo para grandes vãos e balanços, baseado no uso de uma quantidade mínima de elementos padronizados. As exigências estruturais requeridas para os abrigos de dirigíveis e aviões eram mais complexas se comparadas a outros tipos de edificação, devido ao porte necessário das coberturas.

Wachsmann optou por um sistema de estrutura reticulada espacial em perfil tubular, considerado o primeiro comercialmente disponível, baseado na adição de tetraedros. O sistema foi projetado como um kit para pré-fabricação em larga escala e consistia em tubos de aço, alumínio ou aço inoxidável, rosqueados em conectores também metálicos. Este conector, conhecido por nó Mero, era capaz de reunir até 18 barras sem excentricidade (figura 2.25 e 2.26).

O desenvolvimento das coberturas em grandes vãos, após a segunda guerra mundial, evoluiu para diferentes possibilidades de organização das estruturas na edificação, de forma a configurar vãos ainda maiores, os denominados pavilhões. Estes são bastante

utilizados até hoje, a partir de diversos tipos de sistemas estruturais elaborados e aprimorados e foram agrupados basicamente em duas categorias, conforme a sua disposição determinada em projeto no contexto do edifício.

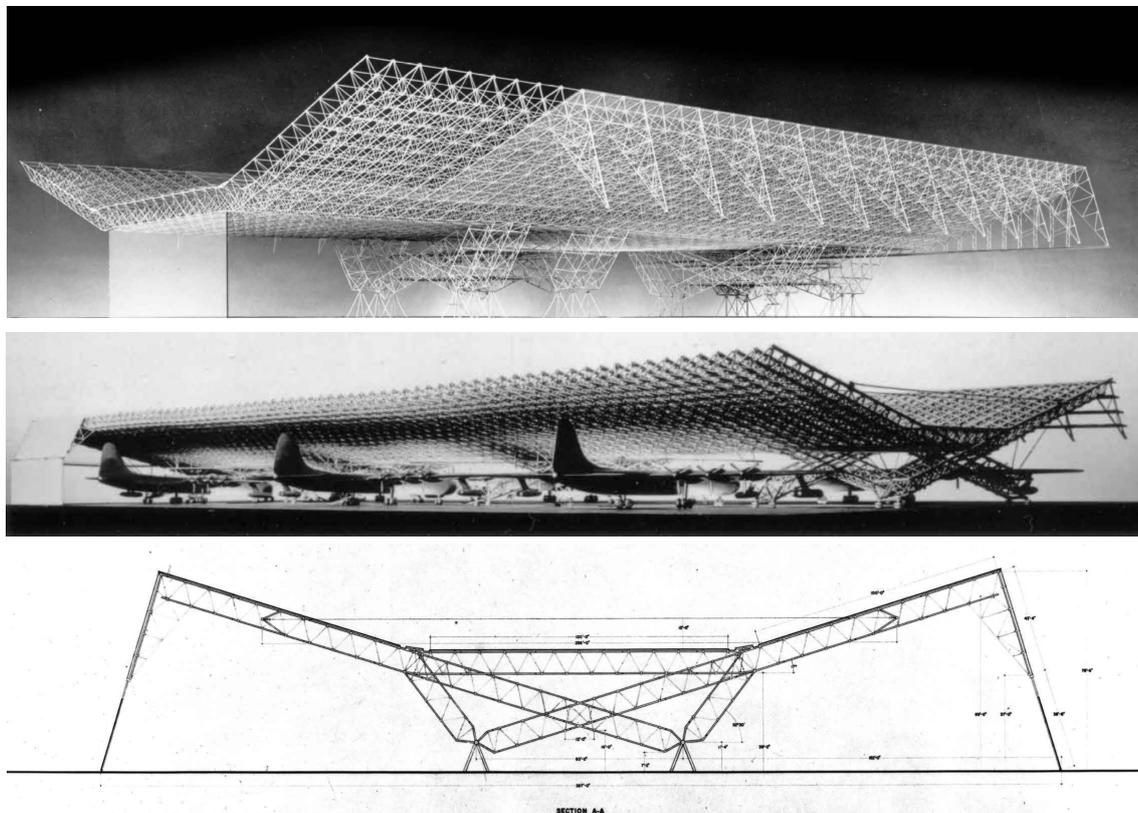


Figura 2.24: Hangar em treliça espacial, para a Força Aérea norte-americana.
Fonte: <http://www.axxio.net/waxman/USAF4web.PDF> Acesso em agosto de 2005.

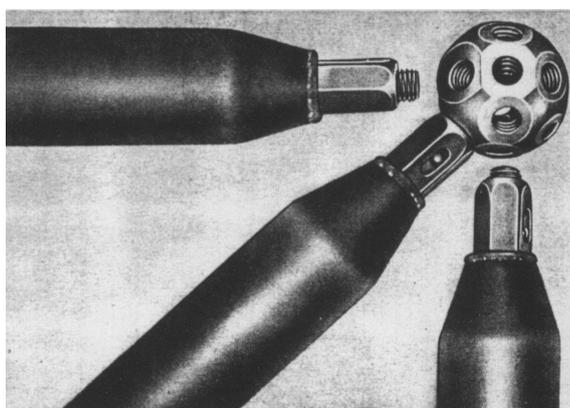


Figura 2.25: Sistema Mero.
Fonte: GERKEN, 2003.

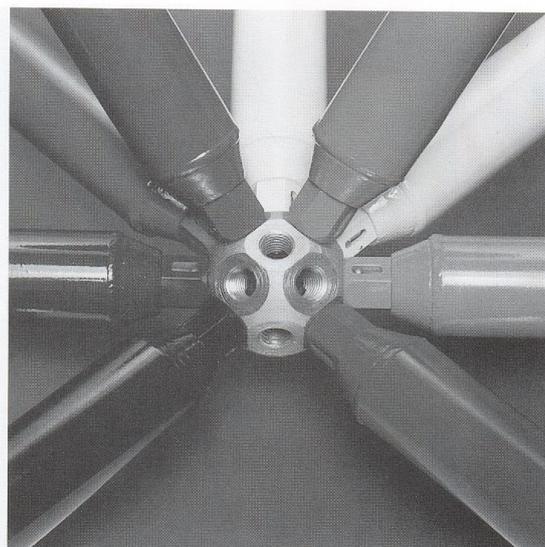


Figura 2.26: Sistema Mero.
Fonte: EEKHOUT, 1996.

Em um primeiro grupo, denominado extrudado, as estruturas são dispostas em uma única direção, o que resulta na junção entre os elementos em duas extremidades no máximo. No segundo grupo, denominado especial, as estruturas são dispostas nas duas direções, o que necessariamente determina a junção entre elementos em todas as extremidades. A figura 2.27 ilustra as duas categorias, utilizando estruturas diferenciadas.

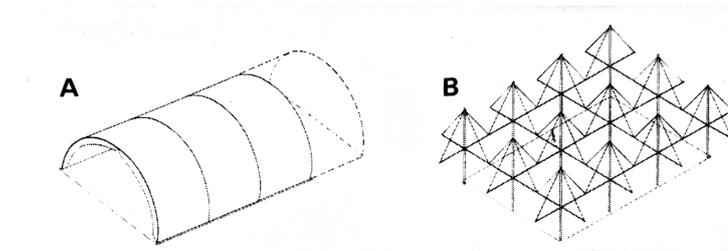


Figura 2.27: Formas básicas para pavilhões de grandes vãos
A: Pavilhão Extrudado. B: Estruturas Especiais. Fonte: ESTÉVEZ, 2002.

Observa-se que, ao se utilizar concepções estruturais idênticas, o pavilhão especial configura-se como uma duplicação do pavilhão extrudado. Poder-se-ia, então, definir o pavilhão extrudado como um módulo padronizado a ser repetido, possibilitando à edificação alcançar vãos maiores, em duas direções, a partir de um mesmo sistema. Exemplos das duas categorias de utilização são apresentadas nas figuras 2.28, 2.29 e 2.30. Observa-se, ainda como exemplo, que a estrutura da Galeria das Máquinas de 1889 (item 2.2.1) era uma concepção de pavilhão extrudado.



Figura 2.28: Centro de Artes Visuais Sainsbury, Inglaterra 1978. Pavilhão Extrudado.
Fonte: <http://www.greatbuildings.com>
Acesso em agosto de 2005.

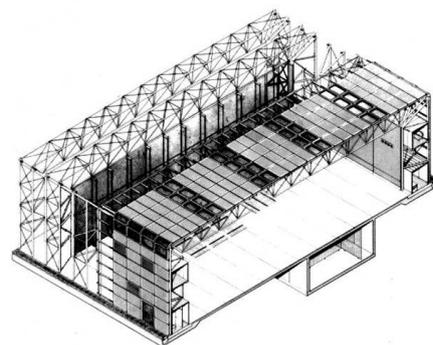


Figura 2.29: Centro de Artes Visuais Sainsbury. Isométrica.
Fonte: <http://www.fosterandpartners.com>
Acesso em agosto de 2005.

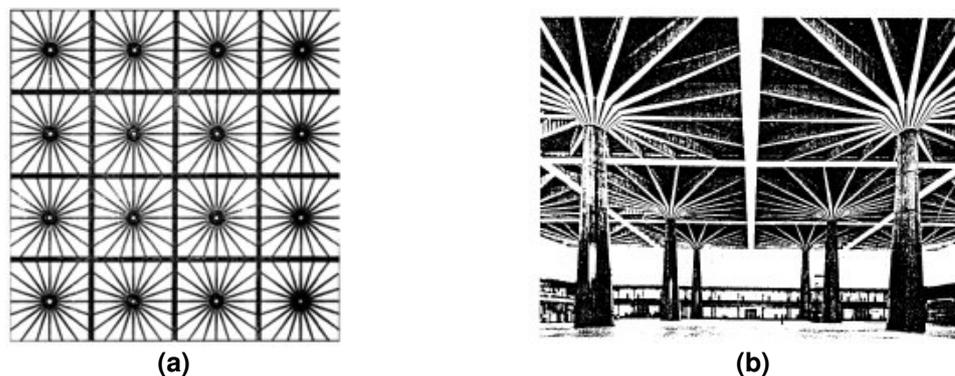


Figura 2.30: Palácio do Trabalho de Turim, Itália, 1961. (a) Planta. (b) Vista.
Fonte: <http://www.inep.gov.br> Acesso em agosto 2005.

Devido a estes fatores, a estrutura especial, denominada pavilhão multiuso, foi utilizada de forma mais significativa em unidades industriais. As vantagens desta utilização eram várias como a flexibilidade, a economia e rapidez na execução, entre outras. Entretanto, os detalhes decorativos tradicionais que valorizavam o trabalho dos arquitetos naquela época deram lugar aos cuidados no detalhamento dos componentes construtivos, submetidos ao aprimoramento exigido por esta nova forma de construir. Outro ponto importante na concepção arquitetônica era garantir que as características funcionais e físicas do edifício acomodassem a estrutura.

Atualmente, a organização de sistemas estruturais sob forma de pavilhões é bastante utilizada em diversas tipologias, tanto em estádios esportivos, aeroportos, complexos culturais e shopping centers quanto em indústrias, depósitos, centros de distribuição varejista e supermercados. De maneira a elucidar as possibilidades de organização mencionadas, apresenta-se a seguir, de maneira simplificada, alguns dos tipos de sistemas estruturais mais utilizados em edificações para grandes vãos. Para cada tipologia estrutural indicada existem vantagens e desvantagens ao seu uso, a depender dos condicionantes envolvidos. Novos avanços tecnológicos poderão caracterizar as respectivas competitividades em termos de custo, flexibilidade, entre outros parâmetros.

2.2.2.2. Modelos estruturais

(a) Arcos

O sistema estrutural em arco é considerado um dos melhores sistemas existentes para vencer grandes vãos com quantidades mínimas de material. A economia deve-se ao fato do arco apresentar esforços de flexão relativamente baixos, se comparados a

outros tipos de sistemas. Os esforços de compressão simples são predominantes e as seções e materiais ideais para aplicação são aqueles que apresentam melhor desempenho a esse esforço (REBELLO, 2001).

Os arcos são classificados estaticamente em bi-engastados, bi-articulados e tri-articulados, sendo estes de melhor adaptação a mudanças de forma e absorção da variação dos esforços, apesar das dificuldades na execução da rótula central (SÁLES et al, 1999).

São utilizados em formatos planos (figura 2.31) ou espaciais sendo a primeira opção a mais comum por questões de custo. Neste caso, procura-se reduzir as reações horizontais (relativamente altas neste tipo de sistema) utilizando tirantes horizontais entre os apoios ou então aumentando a dimensão dos pilares.



Figura 2.31: Edifício Berliner Bogen, Hamburgo, Alemanha 2002.
Fonte: <http://www.arcoweb.com.br> Acesso em agosto de 2005.

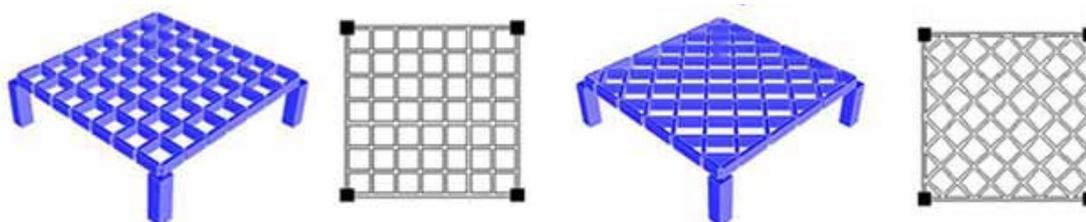
(b) Grelhas

O sistema de grelha pode ser definido como uma associação de vigas de alma cheia que se cruzam, em que há a colaboração conjunta destas vigas nas duas direções da malha. Esta colaboração é alcançada no enrijecimento das ligações entre as vigas (figura 2.32). A união entre as vigas da grelha é relativamente trabalhosa, o que dificulta a utilização do sistema em larga escala nas coberturas de grandes vãos.

A eficiência deste sistema é ampliada quando o maior vão for inferior a duas vezes o menor vão, já que a rigidez das vigas são equivalentes e garantem a distribuição dos esforços nas duas direções (REBELLO, 2001).

A malha das grelhas pode ser disposta de forma ortogonal ou inclinada em relação às

vigas periféricas. Apesar do número maior de peças diferenciadas, a solução inclinada é considerada mais eficiente, pois estão posicionadas na direção dos esforços de flexão.



(a) Disposição ortogonal

(b) Disposição diagonal



(c) Grelha de vigas da cobertura da FAUUSP, São Paulo.

Figura 2.32: Exemplos de grelhas.

Fonte: [http:// www.vitruvius.com.br](http://www.vitruvius.com.br) Acesso em agosto 2005.

(c) Pórticos

O pórtico é definido como uma associação de barras (elementos lineares) em que as ligações entre os elementos podem ser consideradas rígidas, semi-rígidas ou flexíveis. Os tipos de vínculos alteram seu comportamento e a transmissão de esforços para os apoios. Podem ser planos (bi-dimensionais) ou espaciais (tri-dimensionais).

Os pórticos são classificados como deslocáveis e indeslocáveis (figura 2.33). Naqueles denominados indeslocáveis, os esforços de segunda ordem (figura 2.34) possuem pequena magnitude, sendo desconsiderados nos cálculos. Em pórticos deslocáveis os esforços de segunda ordem são significativos e devem ser considerados, podendo ser minimizados através do aumento da inércia das seções ou pela adição de contraventamentos (figura 2.35 e 2.36), estes últimos os mais eficientes.

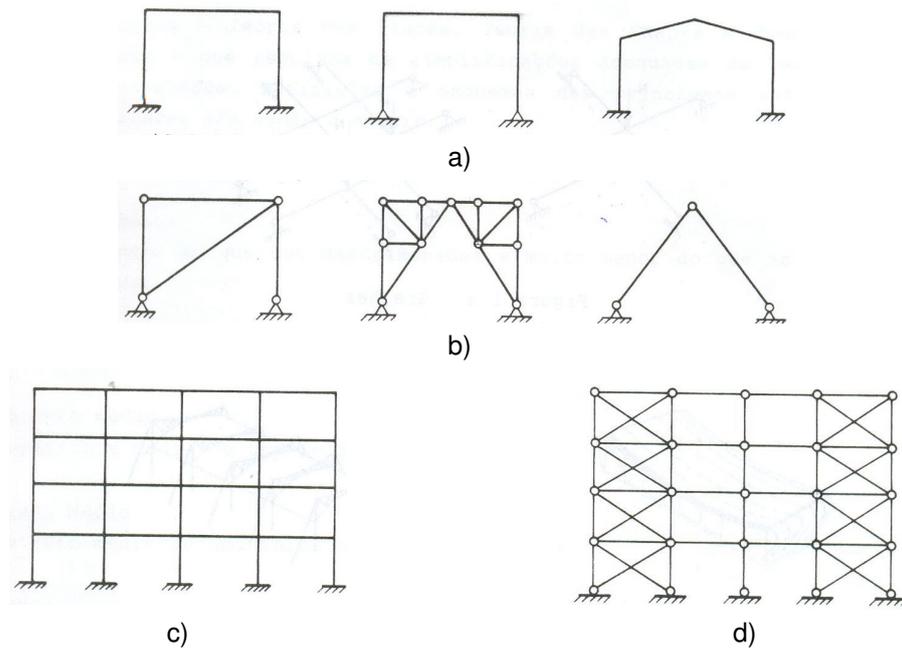


Figura 2.33: Pórticos (a) Simples Deslocáveis, (b) Simples Indeslocáveis, (c) Múltiplo deslocável e d) Múltiplo Indeslocável. Fonte: SALES et al, 1998.

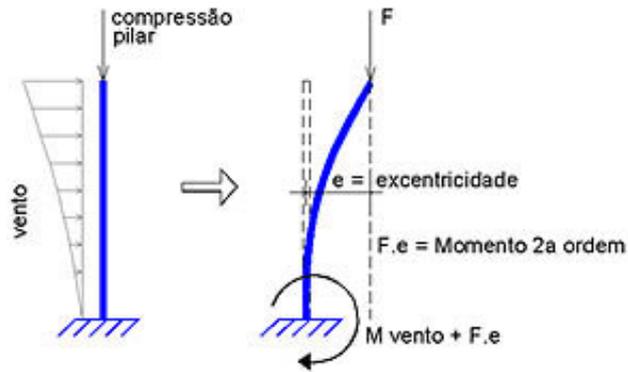


Figura 2.34: Efeito de 2a ordem.

Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp270.asp> Acesso em agosto 2005.

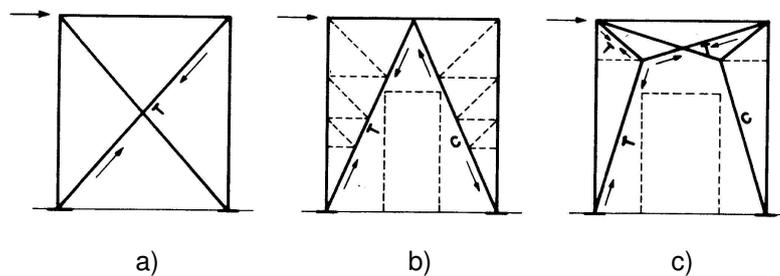


Figura 2.35: Alguns contraventamentos utilizados em pórticos: a) Travamento em “X”; b) Travamento em “K”; c) Travamento em “Y”. Fonte: DIAS, 1997.



Figura 2.36: Contraventamento em a) “X” e b) “Y”, executados com perfis tubulares no galpão da Açotubo em Guarulhos, São Paulo. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

Em um pórtico plano, todas as barras, carregamentos, deslocamentos e deformações estão contidos em um determinado plano (X,Y). Em um pórtico espacial (figura 2.37), os elementos estruturais estão dispostos em qualquer posição do espaço e os esforços e deslocamentos em qualquer direção (X, Y, Z).



Figura 2.37: Aeroporto de Stansted, Inglaterra, 1991. Projeto: Sir Norman Foster. Fonte: <http://www.greatbuildings.com>. Acesso em agosto de 2005.

(d) Cascas

O sistema de casca pode ser definido como toda estrutura de simples ou dupla curvatura, constituída de material capaz de resistir aos esforços predominantes de tração e compressão, cuja espessura é pequena em relação à superfície (BEDÊ, 1998).

Os tipos de sistemas estruturais em casca podem ser divididos em dois grupos, conforme a natureza da curvatura de sua superfície:

- Cascas de simples curvatura;

- Cascas de dupla curvatura (figura 2.38)

Este último tipo pode ainda subdividir-se em curvaturas principais de mesmo sentido e curvaturas principais de sentidos opostos. FIRMO (2003) apresenta um estudo aprofundado sobre as cascas de dupla curvatura, mais especificamente sobre aquelas de curvaturas principais e sentidos opostos, e é recomendado como leitura complementar.

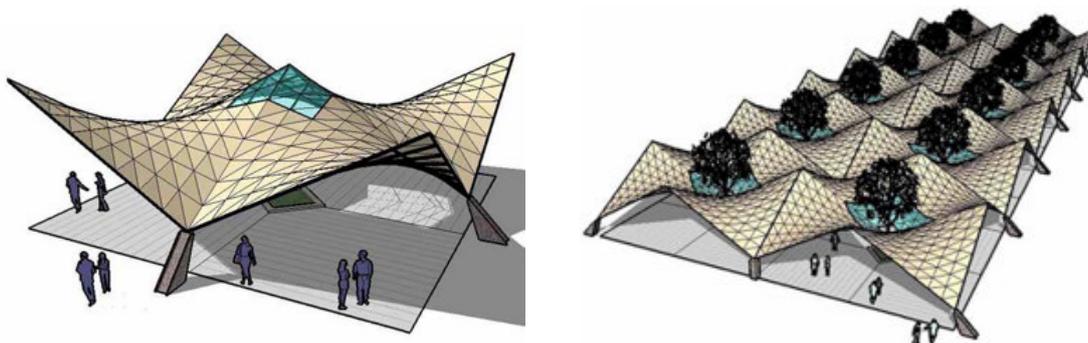


Figura 2.38: Casca de dupla curvatura. (a) Módulo básico. (b) Associação dos módulos.
Fonte: FIRMO, 2003.

(e) Estruturas Tensionadas

As tensoestruturas, ou sistemas estruturais tracionados são sistemas flexíveis, segundo o seu comportamento face aos carregamentos e possuem a rigidez dependente, basicamente, do estado de tensão em que se encontra (PAULETTI, 2003). Estas estruturas, sustentadas por uma rede de cabos, também são denominadas estruturas suspensas ou pênseis e são ajustáveis a diversas formas arquitetônicas, sendo especialmente apropriadas para vencer grandes vãos (figuras 2.39 a 2.41).



Figura 2.39: Aeroporto Internacional de Denver, 1994.
Fonte: <http://www.denardis.com/specialimage> Acesso: agosto de 2005.



Figura 2.40: Aeroporto Internacional de Denver, 1994. Vista Interna.
 Fonte: <http://em.structurae.de> Acesso: agosto de 2005.



Figura 2.41: Igreja Batista em Fortaleza.
 Fonte: <http://www.tecnostaff.com.br> Acesso: agosto de 2005.

Quanto aos elementos construtivos, são compostas pelas estruturas de cabos e estruturas de membrana. Os cabos não apresentam qualquer resistência a esforços de compressão e flexão, deformando-se completamente quando submetido a esses esforços. Por não possuírem forma permanente ou estável, tendem a adquirir formas diretamente ligadas à posição, sentido, direção, quantidade e intensidade das forças que sobre eles atuam. As membranas são elementos superficiais que equilibram os esforços externos desenvolvendo tensões de tração e cisalhamento, tangentes à sua superfície.

Em relação ao peso próprio, as tensoestruturas são estruturas leves. Pode-se dizer que o seu peso específico é duas ordens de grandeza menor que o de uma estrutura em concreto armado e uma ordem menor que o de uma estrutura convencional de aço. No entanto, os carregamentos devidos ao vento tornam-se críticos para o projeto.

Uma outra variação das tensoestruturas é a estrutura pneumática, única em que todos

os elementos trabalham em tração. Basicamente, a estrutura pneumática é dividida em três tipos: as estruturas insufladas, as estruturas aspiradas e as estruturas infladas (figura 2.42).

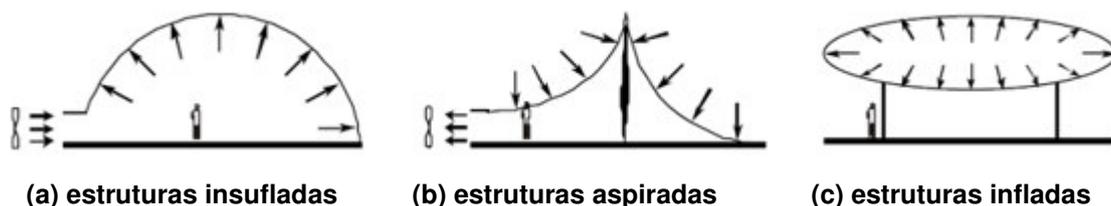


Figura 2.42: Esquema de estruturas pneumáticas.
Fonte: PAULETTI, 2003.

De acordo com PAULETTI (2003), a estrutura insuflada consiste de uma membrana suportada por uma pressão interna ligeiramente maior que a atmosférica. Em uma estrutura aspirada, usa-se o princípio inverso (sub-pressão interna) e na estrutura inflada são utilizados balões pressurizados na forma dos elementos estruturais. Dentre estas, as estruturas insufladas possuem maior capacidade de vencer grandes vãos, combinadas com sistemas de parede dupla que provêm isolamento adicional e maior segurança frente a possíveis colapsos.

(f) Treliças Planas e Espaciais

As treliças, como visto no início deste capítulo, são utilizadas há bastante tempo nas construções, principalmente em coberturas e pontes. As principais características deste sistema são apresentar menor peso próprio, se comparado a outros tipos de sistemas com a mesma função estrutural e a triangulação formada pelas barras, o que garante a rigidez da peça.

As treliças estão submetidas basicamente aos esforços de tração e compressão simples para os carregamentos aplicados no encontro das barras (nós). O princípio fundamental no planejamento do arranjo das treliças é utilizar as barras internas (diagonais e montantes) para diminuir o comprimento livre dos banzos (peças mais solicitadas), de forma a melhorar a resistência destas peças à flambagem e, conseqüentemente, a resistência da treliça.

São utilizadas nas estruturas em sua forma plana (figura 2.43) ou espacial (figura 2.44). Configura-se como treliça espacial o sistema reticulado, composto por barras metálicas dispostas em pelo menos 03 planos ortogonais, conectadas entre si através das suas extremidades. Definido como um sistema de construção rápida, a treliça

espacial permite vencer grandes vãos ao distribuir as cargas da cobertura a todas as barras.

A composição das treliças espaciais tem como elemento constitutivo básico a pirâmide ou o tetraedro, posicionados lado a lado. As treliças geradas a partir do módulo piramidal podem ter bases retangulares ou quadradas e as tetraédricas podem ser de base triangular eqüilátera ou isósceles. As barras são fabricadas a partir de perfis tubulares de seção circular, retangular ou quadrada.

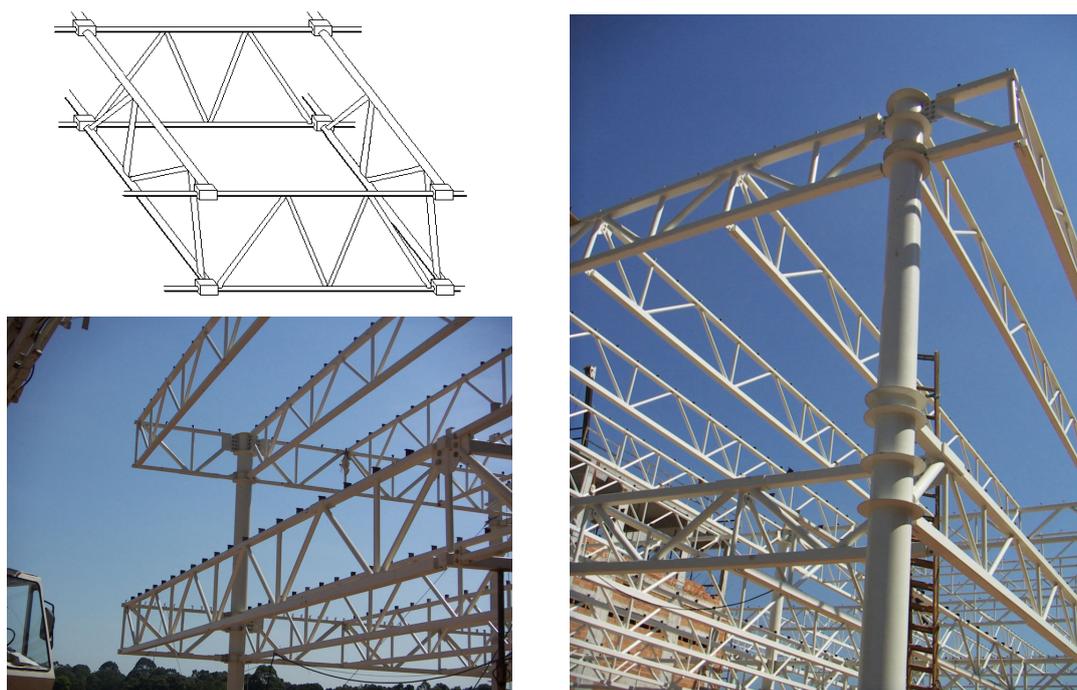


Figura 2.43: Aplicações da treliça plana no edifício sede da Vallourec Mannesmann do Brasil, em Belo Horizonte, MG.
 Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

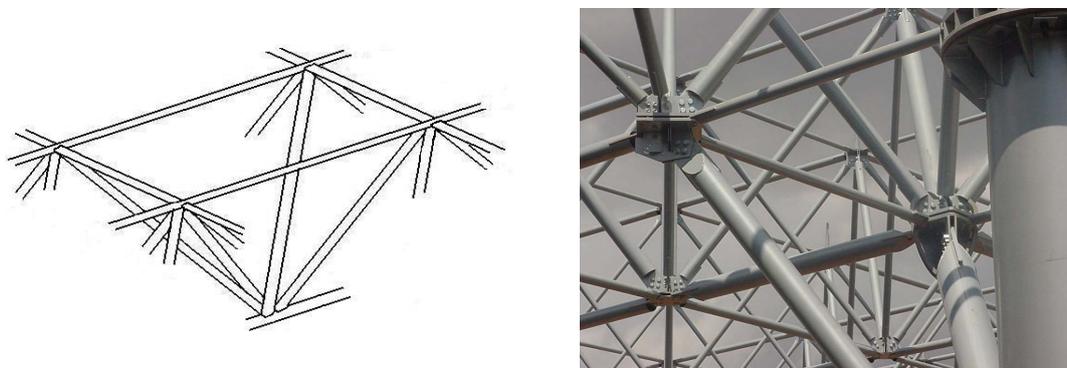


Figura 2.44: Aplicações da treliça espacial. Centro de Eventos Expominas, em Belo Horizonte, MG. Fonte: Arquivo pessoal, 2004.



Figura 2.44: Aplicações da treliça espacial. Centro de Eventos Expominas, em Belo Horizonte, MG. Fonte: Arquivo pessoal, 2004.

2.3. EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS

Como citado anteriormente, a organização de sistemas estruturais sob forma de pavilhões é bastante utilizada em indústrias, depósitos, centros de distribuição varejista e supermercados. A industrialização nas construções nesta área da arquitetura e engenharia vem se desenvolvendo com a racionalização dos métodos construtivos e com a introdução no mercado de novos sistemas pré-fabricados. Os edifícios industriais, como são comumente denominados, são oriundos do conceito de arquitetura industrial, que preconiza a industrialização nas construções e a pré-fabricação dos elementos construtivos.

O segmento de construção industrial no Brasil vem acompanhando as inovações tecnológicas mundiais em quase todos os seus aspectos (NETO, 2001). Essas novas tecnologias, como a utilização de estruturas metálicas principalmente nas coberturas, ganham cada vez mais espaço no contexto técnico nacional, cujo desenvolvimento pode ter um impacto significativo na execução de uma obra.

Em geral, essas tecnologias aceleram a execução de qualquer empreendimento, pois os materiais e técnicas a serem empregados em uma determinada obra já se encontram especificados no projeto. No caso das estruturas de coberturas pré-fabricadas industrializadas, as vantagens em sua utilização são ainda maiores, pois garantem a disponibilidade imediata de materiais (pronta-entrega) e a qualidade dos produtos (devido à padronização das peças), o que influencia, benéficamente, no custo final do empreendimento.

Porém deve-se ter atenção quanto à execução dos projetos, pois nem todos são cabíveis na pré-fabricação. É preciso que haja certo grau de repetição dos elementos construtivos para justificar as formas mais elaboradas, além dos cuidados necessários relativos às junções destes elementos.

Neste contexto, segundo BRUNA (2002), pode-se dizer que o maior desafio para o arquiteto, ao realizar projetos com pré-fabricados, é manter a disciplina, de forma a conseguir um elevado grau de repetições e ao mesmo tempo fazer da obra uma edificação interessante, não monótona. Os elementos pré-fabricados são, muitas vezes, entendidos com uma limitação aos projetos, o que não é verdade, pois apenas impõem disciplina e bom senso no ato de projetar.

2.3.1. Sistemas de cobertura

No segmento de edificações industriais, os galpões destacam-se por constituírem uma solução econômica, que possibilita rapidez, qualidade no processo construtivo e facilidade de manutenção. É, especialmente nestas estruturas, que os sistemas de cobertura metálica pré-fabricados têm se destacado.

Entre os sistemas pré-fabricados existentes, encontram-se os apoticados em vigas de alma cheia e destacam-se as vigas (figura 2.45) e terças treliçadas planas, estas últimas denominadas “joists”, geralmente constituídas em perfil metálico de seção aberta, laminado ou dobrado. As treliças espaciais, que utilizam o perfil tubular em sua grande maioria, apesar de sua excelente capacidade de alcançar grandes vãos, não são fabricadas hoje em dia como elementos pré-fabricados industrializados, devido à grande quantidade de peças e conseqüente número de ligações. É uma característica que poderia retardar o processo fabril, tornando-o moroso se comparado com os outros tipos de sistemas, devido ao trabalho de corte, solda ou amassamento das pontas dos tubos, onerando a estrutura em seu custo final.

Como citado no capítulo anterior, a oferta de sistemas de cobertura industrializadas é bem reduzida no contexto nacional e o desenvolvimento deste sistema em treliça plana utilizando o perfil tubular, surge como uma nova e inovadora opção no mercado. Além de possuir boa resistência aos esforços de compressão, o perfil tubular apresenta um menor fator de massividade e menor área de superfície, em comparação aos demais perfis de dimensões semelhantes (PACKER, 1997), o que significa, respectivamente, redução de peso da estrutura e da área exposta a ser recoberta por materiais de proteção. Essas características tornam o sistema

competitivo, já que influenciam diretamente no custo da estrutura.



Figura 2.45: Estrutura de cobertura em viga treliçada plana pré-fabricada. Concessionária de veículos em Belo Horizonte, MG. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

As vantagens construtivas dos perfis tubulares são diversas e já citadas em alguns trabalhos acadêmicos da Universidade Federal de Ouro Preto, desenvolvidos por arquitetos como GERKEN (2003), que trata dos perfis tubulares em geral e COSTA (2004), que apresenta a interface entre esses perfis e o sistema de fechamento externo das edificações. NUIC (2003) estudou a aplicação dos perfis tubulares circulares calandrados em galpões e PELLICO (2004) sugere um sistema construtivo modular para cobertura. As vantagens do uso dos perfis tubulares sem costura são ainda maiores, pois apresentam distribuição uniforme de massa em torno de seu centro e baixo nível de tensões residuais, característica que os distingue dos tubos de aço com costura, produzidos a partir de chapas calandradas e soldadas.

Além da eficiência estrutural, FIRMO (2003) mostra, de uma maneira clara e didática, que a continuidade superficial da volumetria do perfil tubular circular, desprovida de arestas ou rugosidades, propicia ao olhar do observador menos interferências ou informações visuais (figura 2.46).

Esta ausência de arestas ou rugosidades nos perfis tubulares, em especial aqueles de seção circular, favorece a uma estrutura livre do acúmulo de sujidades e empoçamentos provenientes de infiltrações ou água pluvial. Da mesma forma um detalhamento menos criterioso das ligações entre os perfis (abertos ou tubulares) também provocam este tipo de ocorrência. Entretanto, os cuidados com a manutenção e limpeza da estrutura devem ser maiores em caso de utilização dos perfis abertos devido à sua própria geometria (figura 2.47).

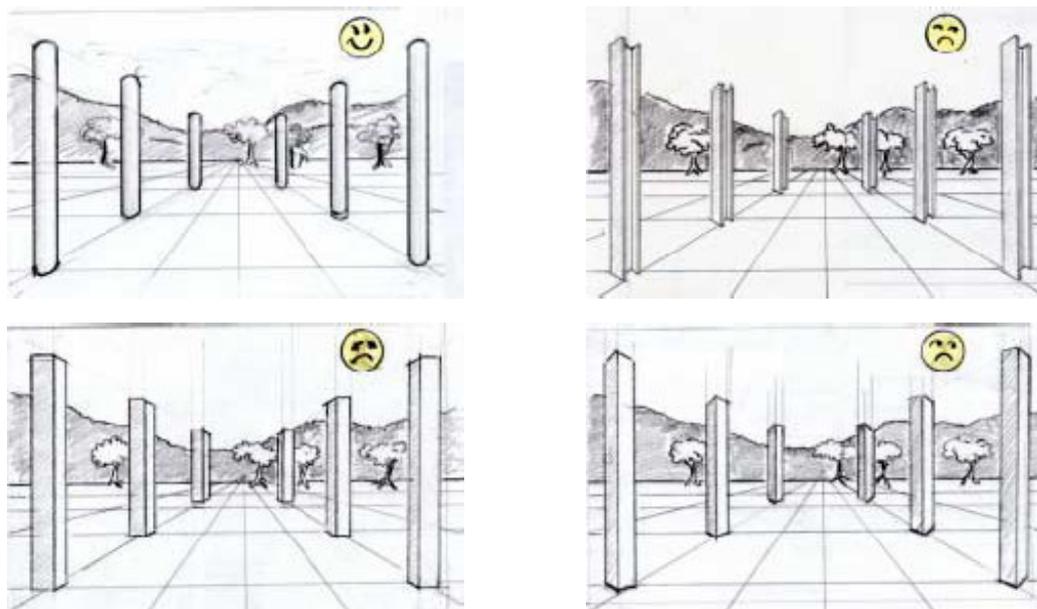


Figura 2.46: Comparação entre a permeabilidade visual do perfil tubular de seção circular e outros tipos de seção. Fonte: FIRMO, 2003.



Figura 2.47: Estado de conservação da cobertura em treliça, realizada com cantoneiras e perfis tipo caixaõ. Mercado Distrital, Belo Horizonte. Fonte: Arquivo Pessoal, 2005.

2.3.1.1. Mercado

O Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), em parceria com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE realizou em 2002 um cadastro de 120 fabricantes de estrutura metálica do país, apresentando o produto fabricado e a quantidade produzida. Embora os dados obtidos não forneçam uma informação exata do mercado de estruturas de cobertura para grandes vãos, eles permitem a adoção de algumas considerações.

Para melhor compreensão deste mercado, reduziu-se a quantidade de empresas

citadas para vinte e oito, que possuíam capacidade de produção acima de 6.000 toneladas/ano. Estas empresas produziam, juntas, cerca de 377.000 t/ano. Destas, as cinco maiores que atuavam no mercado de cobertura para grandes vãos produziam cerca de 117.000 t/ano, o que corresponde a 31% do total, como apresentado na tabela 2.1. Estima-se que deste valor, 70.000 t/ano seja referente à fabricação de estruturas de cobertura, ou seja, aproximadamente 59%.

Tabela 2.1: Fábricas com capacidade acima de 10000 t / ano
Fonte: CBCA/IBGE, 2002.

Fabricante	Capacidade	Produto	Localização
1	30.000 t / ano	Estruturas em Geral	Rio Grande do Sul
2	24.000 t / ano	Edifícios, Galpões, Torres	Rio Grande do Sul
3	24.000 t / ano	Coberturas	Rio de Janeiro
4	24.000 t / ano	Edifícios, Galpões, Obras de arte	Paraná
5	15.000 t / ano	Edifícios, Galpões e Estruturas em geral	São Paulo

Entre estas cinco maiores empresas, observa-se que somente a fabricante nº 3 fornece exclusivamente sistemas de cobertura para grandes vãos, o que não ocorre com as empresas restantes. Ou seja, da quantidade de 70.000 t/ano de estruturas de cobertura fabricadas, aproximadamente 35% da produção foi realizada por uma única empresa, reconhecida no mercado pelo produto pré-fabricado industrializado que produz.

Este produto é constituído por um sistema de cobertura em treliças, fabricadas com perfil dobrado galvanizado. O sistema é múltiplo de metro no sentido do comprimento da obra e, em princípio, o comprimento total dos módulos é livre (figuras 2.48 e 2.49). Entretanto, de acordo com as orientações técnicas do fabricante, para se ter um maior aproveitamento do sistema é recomendável que o comprimento do módulo seja múltiplo de 1,20m.

Portanto a lacuna existente torna o mercado de estruturas de cobertura para grandes vãos interessante, em termos da pequena concorrência que possui.



Figura 2.48: Esquema de modulação do sistema.



Figura 2.49: Sistema de Cobertura do Hipermercado EXTRA, Belo Horizonte, MG.
Fonte: Arquivo pessoal, 2004.

Desta forma foi proposta, inicialmente, a realização de uma pesquisa em que seriam levantados dados referentes aos sistemas de cobertura para grandes vãos e os sistemas complementares pré-fabricados em geral. Esta pesquisa seria realizada através de entrevistas, em que seriam abordados quatro tipos de público alvo: clientes, fabricantes, projetistas e gerenciadores de obras em estrutura metálica, atuantes no mercado nacional.

O objetivo era o melhor conhecimento e posterior análise deste mercado, com ênfase nas necessidades dos clientes e no levantamento dos custos globais envolvidos, de acordo com as alternativas já existentes. Entretanto, devido à logística de desenvolvimento do produto, esta pesquisa não foi realizada da forma como planejada, resultando em dados pouco estatísticos e não conclusivos em sua plenitude. De certa forma, algumas das respostas obtidas mostraram-se interessantes em termos de dados técnicos e foram utilizadas, de forma esparsa, ao longo do trabalho.

Uma segunda pesquisa aos moldes da primeira, foi realizada pela empresa Engipar de São Paulo com os seus profissionais, entre os arquitetos e engenheiros. As respostas dadas a este questionário tiveram caráter mais conclusivo (não estatístico) e foram utilizadas na determinação de certos parâmetros, para definir a modulação a ser adotada no sistema V&M (capítulo 4). O roteiro destes questionários é apresentado no Anexo I.

CAPÍTULO 3

ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

3.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo destina-se a relacionar os elementos construtivos que compõem a cobertura, de forma a facilitar o entendimento global destes sistemas. Como mencionado no capítulo anterior, o sistema construtivo atual baseia-se no conceito de industrialização aberta, em que a combinação de elementos pré-fabricados garante maior flexibilização e agilidade na construção.

Em princípio, pode-se dizer que os sistemas de cobertura são formados por conjuntos de elementos construtivos agrupados de acordo com as semelhanças no comportamento e com o caminho natural dos carregamentos. Neste trabalho, identificam-se três grupos, a saber:

- Sistema de vedação

Responsável pelo isolamento e proteção da edificação, constituído pelas telhas;

- Sistema portante

Sistema destinado a suportar as cargas transmitidas pelo sistema de vedação e à conformação e flexibilidade do espaço, assegurando a correta transmissão de todas as ações solicitantes para os apoios;

- Sistema complementar

Formado pelos elementos que completam e possibilitam o bom funcionamento do edifício como calhas e tubos de queda, equipamentos para ventilação, entre outros.

3.2. SISTEMA DE VEDAÇÃO - Telhas

Existem, no mercado, diversos tipos de elementos de vedação, variando em função do material constituinte, dimensões, resistência e cor. Devido a esta gama de opções, a abordagem neste item resume-se às telhas metálicas em aço e às telhas translúcidas, pela larga utilização em edificações industriais.

As telhas em alumínio são também utilizadas nestes empreendimentos e possuem menor peso se comparadas às telhas em aço, o que contribui para uma redução do carregamento na estrutura portante. Entretanto, devido à esse menor peso e a depender das dimensões do telhado e do ângulo de inclinação, o efeito de sucção provocado pelo vento pode arrancar as telhas, o que conduz, necessariamente, a uma melhor ancoragem destes elementos. Outro cuidado que deve ser tomado em relação a este tipo de telha refere-se ao seu contato direto com a estrutura metálica, que deve ser evitado de forma a não permitir o desenvolvimento da corrosão eletroquímica (BELLEI, 1994).

As telhas em estudo possuem especificações e recomendações de uso que constam nos catálogos dos fabricantes tais como formatos, dimensões, inclinações, vãos admissíveis, sistemas de fixação, armazenamento, manuseio e montagem, entre outros. No caso dos vãos máximos, as informações contidas nos catálogos referem-se à espessura da chapa, altura da dobra, carregamento a ser aplicado e relação vão/flecha admissível para cada caso.

3.2.1. Telhas metálicas em aço

Os principais tipos de telhas metálicas em aço existentes no mercado são as telhas convencionais (onduladas ou trapezoidais), as telhas zipadas, as telhas autoportantes (não comentadas neste trabalho) e as denominadas telhas isotérmicas (tipo “sanduíche”).

O processo de fabricação das chapas é o mesmo para todas e consiste em conformar a bobina de aço (com revestimento metálico ou pré-pintada) por roletes que vão deformando a chapa de forma controlada. Ao final da perfilação, a chapa é conformada em um perfil que pode ser ondulado, trapezoidal ou na forma de bandejas

(figuras 3.1 e 3.2).

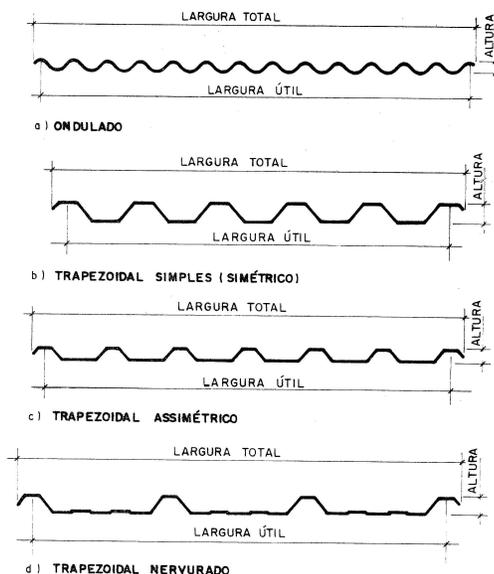
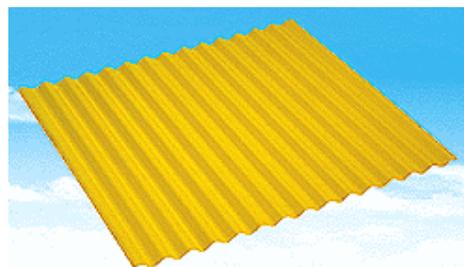
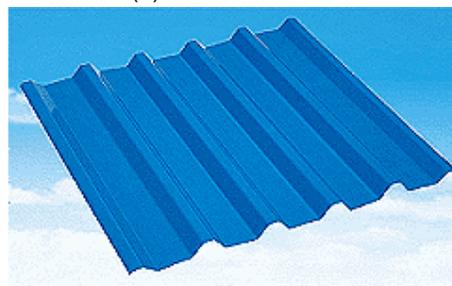


Figura 3.1: Perfis usuais em telhas
Fonte: SALES et al, 1999.



(a) Perfil ondulado.



(b) Perfil trapezoidal.

Figura 3.2: Telhas metálicas.

A geometria final da chapa de aço confere alta resistência mecânica, o que possibilita à peça alcançar vãos consideráveis, apesar da sua pouca espessura. Quanto mais alto o trapézio ou onda conformado da telha, maior será o vão a se alcançar.

Geralmente, os fabricantes das telhas fornecem todos os acessórios para fixação e vedação, incluindo a mão de obra para montagem. Outra observação importante é quanto ao material constituinte destes acessórios, que devem ser compatíveis com o material da telha que se pretende fixar, a fim de evitar a corrosão eletroquímica (SÁLES et al, 1999).

a) Telhas metálicas convencionais

São produzidas em fábrica e montadas na obra com o auxílio de parafusos autoperfurantes e atarraxantes (figura 3.3). Os parafusos autoperfurantes são desenvolvidos com o objetivo de eliminar a pré-furação na fixação das telhas, necessitando de vedação no furo da fixação com arruelas de material especial.

Deve-se ter especial atenção em relação à fixação das telhas nas terças por meio de sua onda inferior, pois trata-se de um canal de acúmulo de água em casos de montagem mal executada ou possível deslocamento da estrutura portante. Caso a

vedação do furo não seja feita de forma adequada, este local pode ser um ponto de infiltração de água e até mesmo de corrosão da estrutura a médio ou longo prazo.

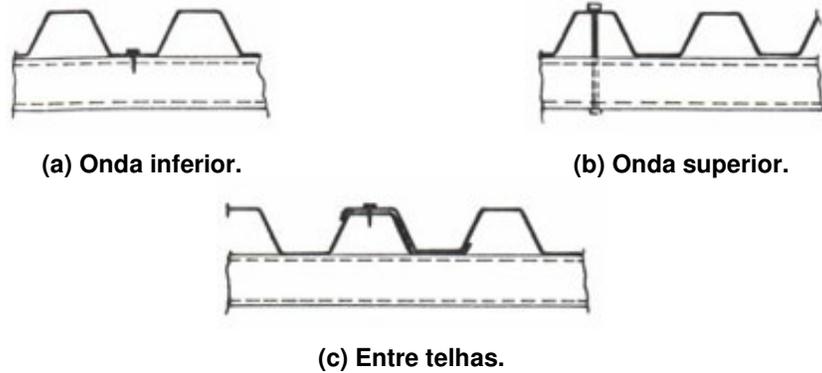


Figura 3.3: Fixação das telhas na estrutura. – Fonte: CARDOSO, 2000.

Um ponto importante em relação às telhas metálicas convencionais é o que se refere ao sentido de montagem (SALES et al, 1999). Para diminuir e evitar a possibilidade de arrancamento ou de levantamento das bordas, deve-se realizar o procedimento de montagem no sentido contrário ao sentido do vento dominante da região da construção (figura 3.4).

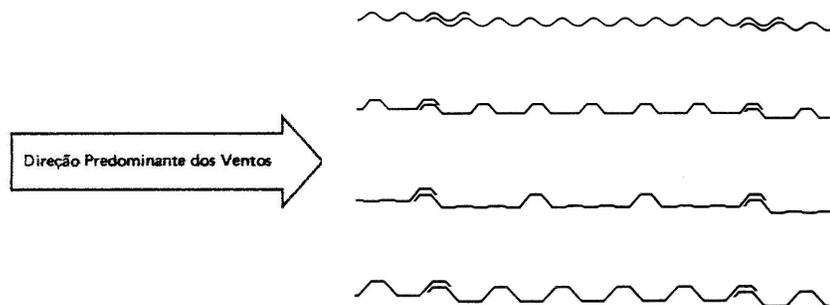


Figura 3.4: Seqüência de montagem das telhas metálicas.
Fonte: SALES et al, 1999.

a) Telhas metálicas zipadas

As telhas zipadas consistem de chapas metálicas contínuas, perfiladas na obra através de perfiladeiras transportáveis e permitem grandes comprimentos de água com baixa declividade. A largura das chapas pode alcançar 2,50m e as bobinas podem alcançar 140m de comprimento sem emendas (dependendo do fabricante), o que elimina a utilização de calhas internas à construção (figura 3.5 a 3.8).

O procedimento de fixação ocorre por meio de cliques parafusados na estrutura e encaixados nas telhas por meio do processo denominado zipamento longitudinal, o que garante que a telha não seja perfurada. O termo “zip” vem da forma de costura destas bandejas, deixando a cobertura praticamente impermeável. Este termo pode ser definido como uma espécie de costura por dobramento e permite a expansão e a contração térmica da cobertura. É um sistema ideal para grandes áreas a serem cobertas e com pequena inclinação (3%).



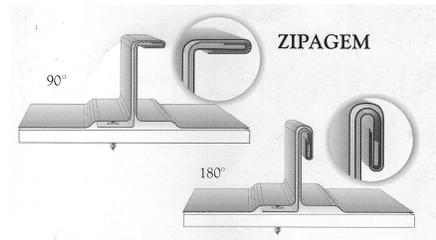
Figura 3.5: Processo de zipagem da telha.
Fonte: <http://www.perfilor.com.br> Acesso em abril 2004.



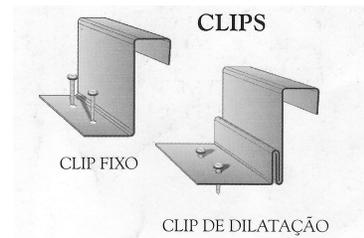
Figura 3.6: Perfilação da chapa in loco.
Fonte: Catálogo Roofway, 2004.



Figura 3.7: Cobertura em telha zipada.
Fonte: www.maristahall.com.br Acesso em agosto de 2005



(a) Formas de zipagem da telha



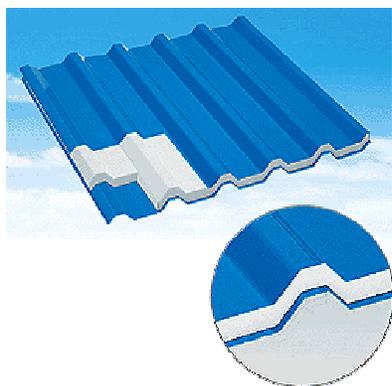
(b) Tipos de cliques para fixação das telhas nas terças

Figura 3.8: Exemplos de detalhes para a fixação das telhas.
Fonte: Catálogo Roofway, 2004.

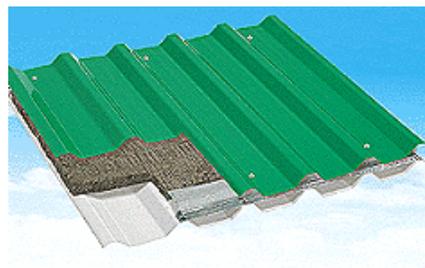
b) Telhas metálicas isotérmicas

São telhas constituídas por duas chapas preenchidas por material isolante como poliuretano, poliestireno, lã de rocha ou lã de vidro, formando um “sanduíche”, com a

finalidade de proporcionar melhor isolamento térmico à área a ser coberta. Geralmente são indicadas para projetos em que a cobertura é a principal fonte de calor (figura 3.9).



(a) Telha com poliestireno expandido.



(b) Telha com lã de rocha.

Figura 3.9: Exemplos de telhas isotérmicas. – Fonte: <http://www.tuper.com.br>. Acesso em abril de 2004.

Os painéis isotérmicos possuem como principal vantagem a facilidade de montagem, leveza e boa resistência, permitindo ainda total reciclagem do material (KRÜGER, 2000).

3.2.2. Telhas translúcidas

As telhas translúcidas posicionadas no plano da cobertura têm por finalidade melhorar a iluminação dos espaços em edificações de grandes dimensões. Este sistema, denominado zenital ou azimutal, permite a obtenção de iluminação natural e uniforme durante boa parte do dia, o que evita a utilização do sistema de iluminação artificial e colabora com a redução de gastos em energia elétrica (figura 3.10).

A iluminação zenital de uma edificação pode ser executada com chapas em policarbonato, vidro ou fibra de vidro, devidamente instaladas na cobertura, de maneira a formar, juntamente com o tipo de telha escolhido, uma cobertura estanque.

Deve-se observar que, a superfície de trabalho, plano paralelo ao piso da construção no qual é desenvolvida a maioria das atividades previstas, não deve receber a incidência direta da luz solar. Esta incidência pode provocar ofuscamento ou picos de intensidade de luz, fenômenos considerados desconfortáveis e que podem provocar algum acidente de trabalho.

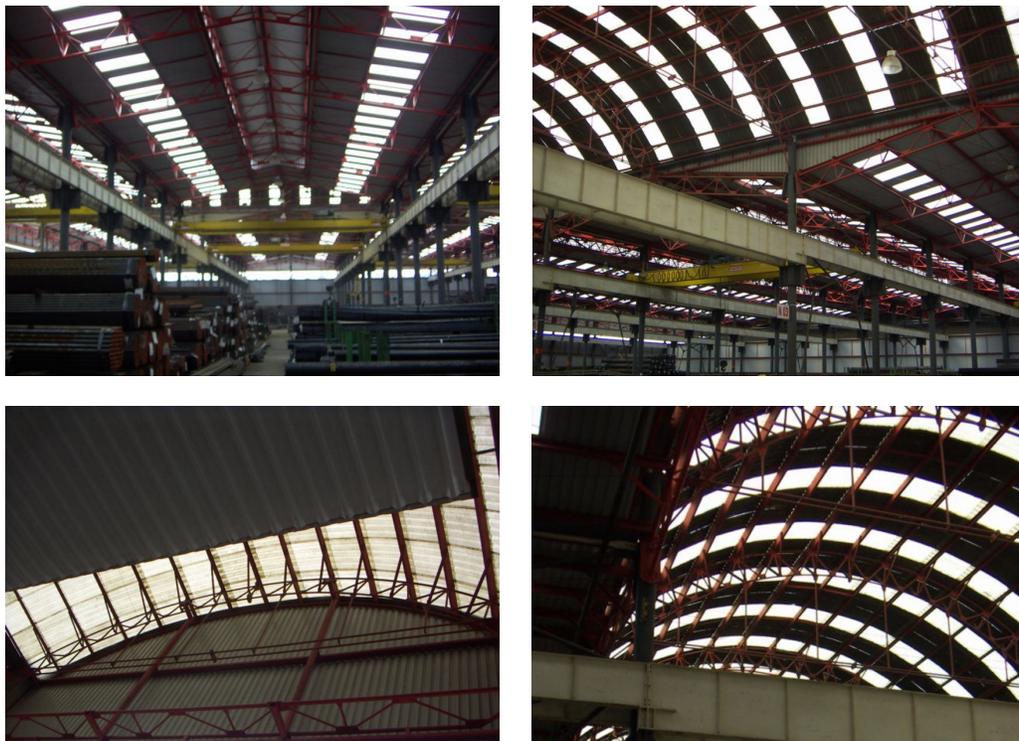


Figura 3.10: Iluminação zenital. Galpão da Açotubo, Guarulhos/SP.
Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

3.3. SISTEMA PORTANTE

O sistema portante de uma cobertura pode ser classificado de acordo com a geometria que confere à edificação e, segundo SALES et al (1999), normalmente é utilizada a cobertura em uma água, em duas águas, em shed ou em arco. Cada um possui suas características específicas e a aplicação varia conforme os requisitos de cada edificação. Entretanto, é comum em coberturas pré-fabricadas para grandes vãos, projetar os sistemas portantes com pequena inclinação, reduzindo a área de recobrimento lateral da edificação e a quantidade de material necessária para suportá-la.

Devido a quantidade de variantes existentes nestes sistemas, definiu-se por relacionar os elementos construtivos estruturais que compõem um sistema de cobertura em geral como as vigas secundárias ou terças, as correntes ou tirantes, os contraventamentos e as vigas principais, e não o comportamento dos sistemas como um todo.

3.3.1. Vigas secundárias ou terças

São vigas posicionadas entre as vigas principais na cobertura, com a finalidade de suportar o sistema de vedação. Normalmente estão sujeitas às solicitações de flexão em seu plano e fora do seu plano de carga, provocadas por carregamentos permanentes como telhas, forros, utilidades em geral e passarelas de cobertura e os carregamentos acidentais, principalmente devidos ao vento, através da sucção ou sobrepressão.

Os tipos de perfis mais utilizados são os de seção transversal “C”, “I” e cantoneiras laminadas ou dobradas. Os perfis tubulares podem ser utilizados em sistemas treliçados.

Em relação às terças treliçadas, um sistema usualmente adotado no mercado possui seção transversal triangular (figura 3.11) e é uma das possibilidades de uso para edificações com grandes vãos.

A aplicação do sistema denominado “joist” em terças é outra das soluções utilizadas para se vencer grandes vãos. Este sistema consiste em quaisquer elementos estruturais compostos por vigas de alma cheia ou treliçada, posicionados próximos uns dos outros (BITELLI e GARCIA, 2001).



Figura 3.11: Terças treliçadas de seção transversal triangular.
Fonte: Arquivo pessoal, 2004.

A opção por “joists” treliçados está associada ao espaçamento existente entre os pórticos (o que define o vão a ser vencido pela terça). São mais utilizados em espaçamentos superiores a 9,0m, em que o peso e os custos da fabricação do elemento devem ser avaliados.

○ “joist” é definido de acordo com uma série de itens, a saber:

a) Quanto à determinação dos esforços

Os “joists” podem ser calculados como estruturas reticuladas planas ou espaciais.

b) Quanto às condições de apoio

- Biapoiadas (figuras 3.12 e 3.13):

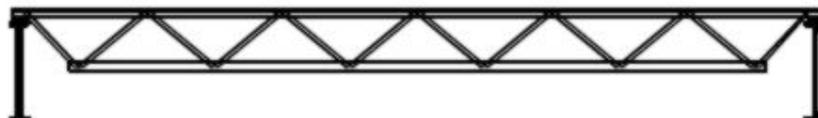


Figura 3.12: Estrutura biapoiada. Fonte: (BITELLI e GARCIA, 2001).



Figura 3.13: “Joists” em treliça, com apoios na viga principal. Sistema de Cobertura do Hipermercado EXTRA, Belo Horizonte, MG. Fonte: Arquivo pessoal, 2004.

- Contínuas (figura 3.14):

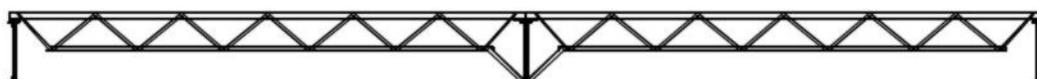


Figura 3.14: Estruturas contínuas, onde a continuidade se dá pela adição de mãos-francesas ou união das cordas. Fonte: (BITELLI e GARCIA, 2001).

- Engastadas (figura 3.15):



Figura 3.15: Estruturas Engastadas. Fonte: (BITELLI e GARCIA, 2001).

c) Quanto à geometria (figuras 3.16 a 3.18):

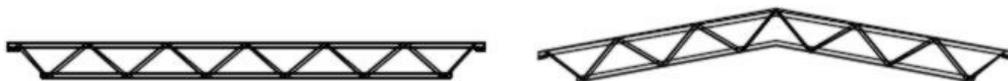


Figura 3.16: Cordas paralelas. Fonte: (BITELLI e GARCIA, 2001).



Figura 3.17: Corda superior Inclinada. Fonte: (BITELLI e GARCIA, 2001).



Figura 3.18: Cordas arqueadas. Fonte: (BITELLI e GARCIA, 2001).

d) Quanto aos perfis componentes (Perfis mais utilizados):

- Nos banzos (figura 3.19):

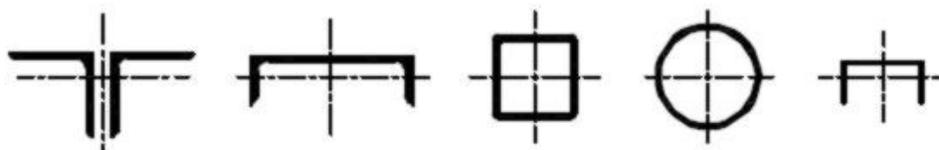


Figura 3.19: Tipo de perfis utilizados nos banzos. Fonte: (BITELLI e GARCIA, 2001).

- Nas diagonais e montantes (figura 3.20):

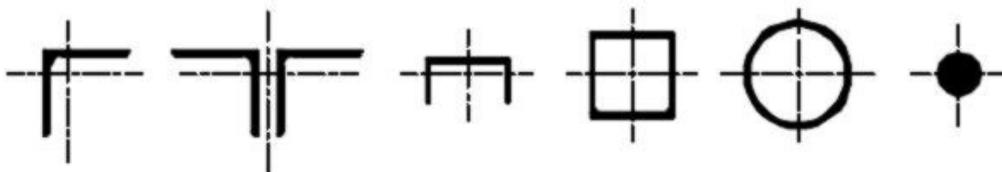


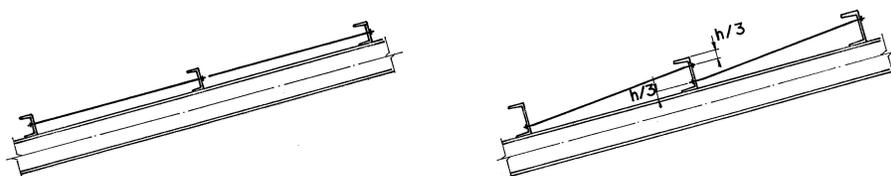
Figura 3.20: Tipo de perfis utilizados nas diagonais e montantes.
Fonte: (BITELLI e GARCIA, 2001).

A utilização de mãos francesas é comum, pois além de diminuir o vão, colaboram com o travamento dos banzos inferiores das vigas ou treliças principais, em caso de inversão de esforços.

É necessário também realizar o travamento das terças ao longo de seu eixo de menor inércia através dos tirantes ou correntes, as quais consistem em barras redondas, posicionadas entre as terças, de forma a reduzir o seu comprimento de flambagem. Esses elementos são solicitados somente a esforços de tração.

A eficiência dos tirantes depende do seu posicionamento nas terças (BELLEI, 1994). Para as terças de menor altura, os tirantes devem ser posicionados no eixo da peça; caso predomine o carregamento vertical, no terço superior e, em caso de sucção, no

terço inferior (figura 3.21). Para terças treliçadas do tipo “joists”, o travamento pode ser feito através dos nós dos banzos inferiores e superiores.



(a) Travamento de perfil com pequena altura. (b) Travamento do terço superior para ação vertical e do terço inferior para sucção.

Figura 3.21: Ligação dos tirantes em terças de perfil aberto.
Fonte: BELLEI, 1994.

Estas peças também auxiliam na ocasião da montagem, de forma a promover o alinhamento das terças antes da fixação das telhas.

3.3.2. Contraventamentos

Segundo BELLEI (1994), os contraventamentos são peças utilizadas nas estruturas com a finalidade de garantir a estabilidade do conjunto durante sua vida útil e fase de montagem, de forma a dar à edificação uma rigidez espacial. Quando posicionados no plano das terças são denominados horizontais e os verticais são aqueles posicionados entre pilares. Geralmente estão sujeitos à esforços de tração e compressão.

Os contraventamentos horizontais são utilizados para promoverem a distribuição das cargas de vento ao restante da estrutura, o que permite a redução dos deslocamentos, bem como dos momentos na base dos pilares, além dos impactos provocados pela ação das pontes rolantes (item que não será abordado neste trabalho). O posicionamento dos contraventamentos na parte frontal, central ou extremidades e a quantidade de peças utilizadas variam de acordo com a edificação (figura 3.22).

Geralmente, nas estruturas de cobertura em que as peças são treliçadas, além do contraventamento no plano dos banzos superiores, torna-se necessário o contraventamento no plano dos banzos inferiores, de forma a melhorar a sua estabilidade global.

Outra maneira utilizada para melhorar a estabilidade dos sistemas treliçados é a inserção de contraventamentos inclinados, fora do plano dos banzos, interligando os sistemas de travamento.



(a) Na extremidade da cobertura



(b) No centro da cobertura

Figura 3.22: Contraventamentos horizontais em estruturas tubulares. Sede da Açotubo em Guarulhos, São Paulo. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

3.3.3. Vigas principais

As vigas principais recebem e são responsáveis pela transmissão dos carregamentos provenientes da cobertura, como telhas e terças, para o sistema de apoio. As tipologias mais usuais em espaços com grandes vãos são as treliçadas, porém as vigas em alma cheia também são utilizadas, conforme o sistema construtivo adotado.

3.3.3.1. Vigas principais em alma cheia

As vigas em alma cheia são formadas por perfis laminados ou soldados, com a altura constante ou variável, de acordo com o vão que se pretende vencer (figura 3.23).



Figura 3.23: Viga em alma cheia com seção transversal "I", altura variável. Galpão em construção em Belo Horizonte, MG. Fonte: Arquivo pessoal, 2004.

Segundo BELLEI (1994), o dimensionamento econômico destas peças está relacionado com a utilização de uma contenção lateral à viga. Em caso de vigas com pequena altura, utiliza-se os contraventamentos horizontais para este travamento e em caso de alturas maiores, o travamento é realizado através de mãos francesas fixadas às terças.

Os perfis tubulares, embora possam apresentar desempenho inferior quando isolados, podem ser utilizados em seções compostas como em treliças (a situação mais comum) ou vigas conformadas com chapas (figura 3.24).



Figura 3.24: Viga de seção composta
Fonte: COSTA, 2004.

3.3.3.2. Vigas principais em armações (treliçadas)

Como mencionado no item 2.2.2.2, as barras das treliças são submetidas unicamente a esforços de tração ou compressão em caso de aplicação dos carregamentos nos nós, e esta é considerada a principal característica deste tipo de estrutura. As vigas treliçadas possuem diversas conformações de acordo com a inclinação do telhado, tipo de telha utilizada, largura do vão e presença de lanternins, entre outros fatores.

Os tipos de seções empregados na conformação das treliças são selecionados sob o ponto de vista técnico e econômico, conforme a solução mais apropriada. De acordo com BELLEI (1994), normalmente emprega-se nos banzos perfis que possuam um eixo de simetria no plano da treliça, como pares de cantoneiras com abas iguais ou desiguais e perfis com seção transversal tipo “T” e “I” (figura 3.25). Nos montantes e diagonais submetidos à compressão, é desejável utilizar perfis que possuam o raio de giração parecido ou igual nos eixos X e Y para melhorar a eficiência a flambagem da

peça. Em todos estes elementos, a aplicação dos perfis tubulares é bastante eficiente.

As treliças de altura constante, constituídas por perfis tubulares, são caracterizadas por seu vão (L), altura (H), geometria e distância entre os apoios. A altura está normalmente relacionada ao vão, e varia entre $L/10$ a $L/16$, recomendando-se $L/15$ como a relação ideal em termos de economia, ao se considerar todos os custos envolvidos (WARDENIER, 2000).

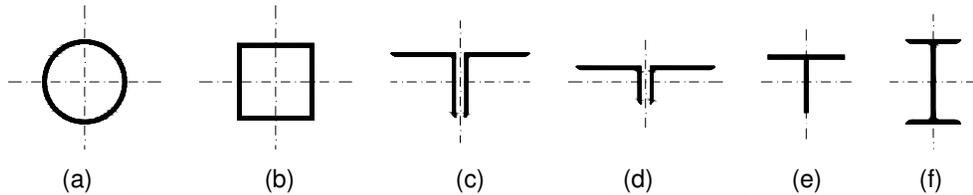


Figura 3.25: Tipos de seções utilizadas em treliças. (a) Circular. (b) Quadrada. (c) Cantoneira de abas iguais. (d) Cantoneira de abas desiguais. (e) Tipo "T". (f) Tipo "I".

Fonte: Adaptado de BELLEI, 1994.

3.4. SISTEMA COMPLEMENTAR

3.4.1. Ventilação

Nas edificações industriais de grandes vãos em geral, principalmente aquelas em que as fontes irradiantes de calor são constantes (como é o caso das edificações siderúrgicas), a ventilação natural ou forçada torna-se necessária para a renovação do ar e regulação do calor e umidade, bem como para eliminação dos vapores e gases produzidos pelos equipamentos (BELLEI, 1994).

A ventilação natural pode ser denominada como sendo a renovação de ar provocada pelo vento ou pelo movimento ascendente do ar quente. A eficiência deste sistema é determinada pelo correto dimensionamento das aberturas de entrada e saída das massas de ar, considerando-se, entre outros fatores, a posição geográfica e as dimensões da edificação, a orientação dos ventos predominantes, as condições térmicas regionais, a existência de pontos de geração de calor em seu interior e a insolação incidente.

As temperaturas superficiais internas bem como a velocidade de circulação do ar no interior da edificação são variáveis e podem ser alteradas por meio de intervenções arquitetônicas para fornecer uma melhor condição de conforto aos ocupantes, sem o auxílio de equipamentos mecânicos.

De acordo com MAZON (2005), um fluxo de ar mais intenso será induzido quando houver uma grande separação vertical entre as aberturas de entrada e saída de ar e quando há uma grande diferença entre as temperaturas internas e externas. A pressão interna mais elevada na abertura superior dirige o fluxo de ar para o exterior e a pressão interna mais baixa na abertura inferior facilita a entrada do ar exterior, que substitui o ar quente que saiu. Esse fenômeno, no qual o fluxo é dirigido pelo empuxo térmico é conhecido por efeito chaminé (figura 3.26).

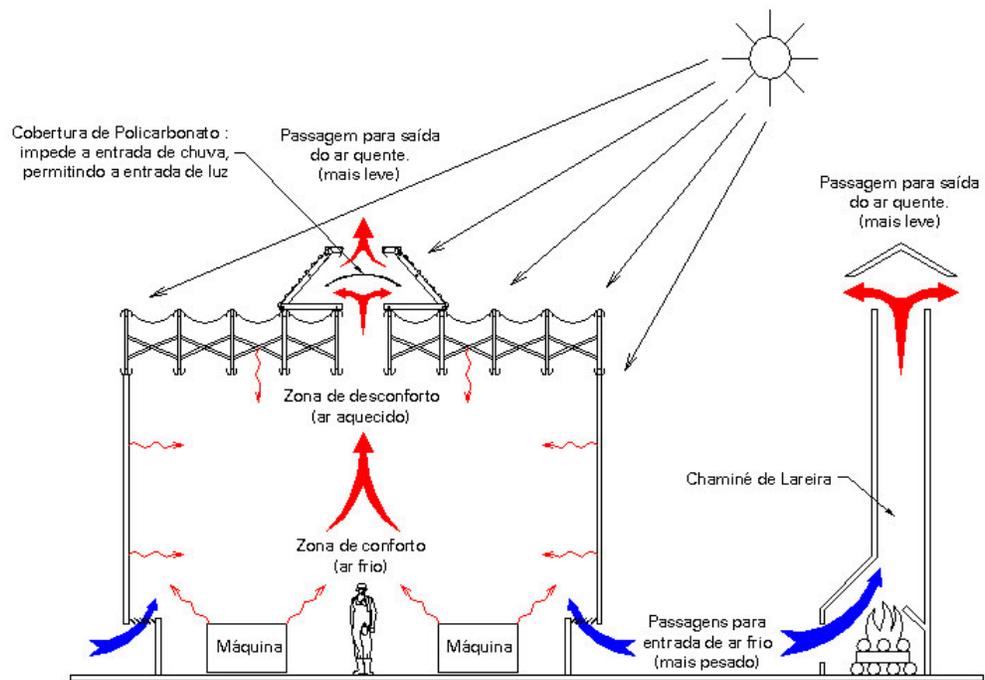


Figura 3.26: Sistema de ventilação natural, efeito “chaminé”.
Fonte: <http://www.marko.com.br> Acesso em março de 2004.

Para as aberturas superiores usualmente empregam-se os lanternins, uma alternativa eficiente que promove uma ventilação adequada pela cobertura, quando bem dimensionado. O emprego de lanternins é ainda o meio mais utilizado quando se trata de galpões industriais e edificações comerciais com grandes coberturas e pé-direito elevado (grandes volumes de ar). Dentre os modelos existentes, o sistema de lanternim curvo é considerado o mais eficiente, pois permite a melhor tiragem do ar viciado e impede a entrada de chuva (figura 3.27).

Normalmente são utilizadas esquadrias do tipo veneziana nas aberturas inferiores (entradas de ar - figura 3.28), pois além da ventilação, essas peças promovem

também a iluminação do ambiente quando confeccionadas com material translúcido.

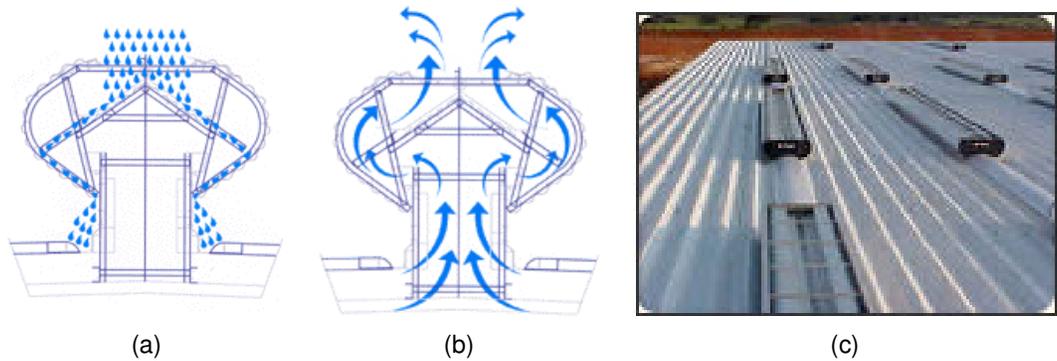


Figura 3.27. Tipo de lanternim curvo. (a) Proteção contra chuva. (b) Saída do ar quente. (c) Vista dos Lanternins. Fonte: <http://www.medabil.com.br> Acesso em fevereiro de 2005.

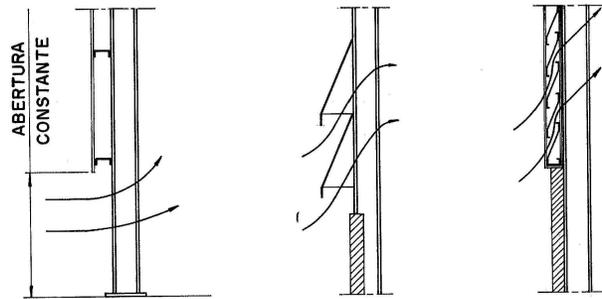


Figura 3.28: Exemplos de aberturas para a entrada de ar. Fonte: BELLEI, 1994.

O efeito chaminé representa a situação mais simples da ventilação natural e torna-se o único responsável pela renovação do ar nas edificações quando não há vento. Se há incidência de vento, essa ação deve ser conjugada ao efeito chaminé, de forma que essas ações se somem resultando numa ventilação natural mais eficiente (MAZON 2005).

Caso o sistema de ventilação natural não seja capaz de retirar e renovar o ar existente em uma edificação, faz-se necessária a utilização de sistemas de ventilação artificial através de insufladores mecânicos ou ar condicionado. O condicionamento do ar, entretanto, é praticamente inviável em termos econômicos para a maioria das edificações e grandes áreas industriais, pois consome muita energia e exige a total estanqueidade do prédio.

3.4.2. Mantas para isolamento térmico

A cobertura é, geralmente, o sistema mais exposto às trocas térmicas com o ambiente externo. Esse fator é particularmente importante quando se deseja minimizar as perdas de calor durante a noite, no inverno, ou os ganhos de calor devido à incidência direta de radiação solar durante o dia.

A partir deste contexto, com a adoção dos sistemas de vedação constituídos por telhas metálicas, surge a necessidade de melhorar o isolamento térmico das edificações. As denominadas sub-coberturas têm sido os elementos mais utilizados pela construção civil para garantir este isolamento.

O sistema consiste de mantas instaladas na cobertura que, por serem impermeáveis, também garantem a estanqueidade e eliminam goteiras. Os materiais isolantes mais utilizados são a lã de vidro, lã de rocha e “foil” (lâmina) de alumínio (figuras 3.29 e 3.30 respectivamente). A lâmina de alumínio diminui a troca de calor por irradiação e pode ser utilizada em conjunto com os outros materiais, reconhecidos pela baixa condutibilidade térmica que possuem.



Figura 3.29: Manta em lã de vidro. Sistema de Cobertura do Hipermercado EXTRA, Belo Horizonte, MG.
Fonte: Arquivo pessoal, 2004.



Figura 3.30: Lâmina de alumínio.
Fonte. <http://www.braconterm.com.br>
Acesso em fevereiro de 2004.

O elemento isolante é instalado de forma a revestir a parte interna da edificação, posicionado entre as terças e as telhas, com o auxílio dos mesmos sistemas de fixação que unem os dois elementos.

No caso das lâminas de alumínio, o isolamento térmico dependerá da maneira de instalação empregada. Quando utilizada em apenas um dos lados do elemento isolante, a lâmina deve posicionar-se na parte interna, pois o alumínio pode empoeirar

e perder a capacidade de reflexão em contato com a cobertura. O calor da cobertura é absorvido pela face superior do elemento isolante e esquentando a lâmina de alumínio, que o retém e não permite a sua irradiação para o ambiente.

Os elementos isolantes denominados bi-aluminizados possuem a vantagem de refletir o calor para a cobertura, através da folha de alumínio posicionada na parte externa. Parte do calor absorvido é retido pela segunda lâmina e não é transmitido para o ambiente.

3.4.3. Sistema de captação de água pluvial

Para DEL CONTI apud CARDOSO (2000), são consideradas funções dos sistemas de águas pluviais a captação, condução, detenção e destinação ao local adequado de armazenamento ou distribuição à rede pública. As funções de captação e condução das águas pluviais devem ser realizadas de imediato, de forma a evitar o empoçamento da água além do período de duração das chuvas.

Para garantir o bom desempenho destes sistemas, é necessário que a capacidade de escoamento seja no mínimo igual ou superior ao volume de água que se precipita na superfície sob sua responsabilidade (SALES et al, 1999).

Os principais componentes do sistema são os rufos, as calhas e os condutores verticais. Os rufos são responsáveis pela vedação dos fechamentos, impedindo a entrada de umidade ou chuva no interior da edificação. Geralmente são executados a partir de chapas metálicas galvanizadas, posicionadas ao longo dos encontros entre a cobertura e fechamentos da edificação.

As calhas são responsáveis pela condução da água diretamente à caixa de drenagem ou até aos condutores verticais. Geralmente utiliza-se a chapa metálica galvanizada, dobrada em seções transversais retangulares, trapezoidais ou semicirculares, dependendo da disposição dos elementos estruturais (figura 3.31). São também empregadas calhas em PVC ou fibra de vidro. A inclinação destas peças deve ser de 0,5%, no mínimo, podendo chegar a 0,2% em casos excepcionais.

Os condutores verticais ou tubos de queda são geralmente fixados à estrutura através de braçadeiras ou outro dispositivo similar, de forma a impedir o seu deslocamento devido ao vento ou outras ações. Os materiais usualmente empregados são os tubos de aço galvanizados ou em PVC.

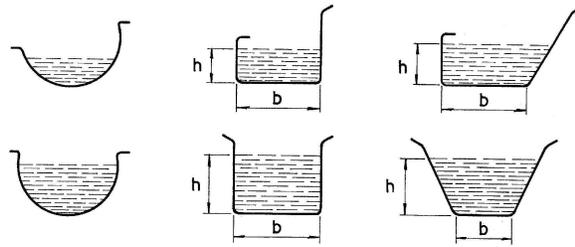


Figura 3.31: Exemplos de seções de calhas.
Fonte: BELLEI, 1994.

3.4.4. Passarelas

As passarelas metálicas são utilizadas sobre a cobertura com a finalidade de absorver eventual trânsito de pessoas para instalação e manutenção de equipamentos (figura 3.32).

A fixação das passarelas geralmente é realizada através de parafusos ou soldas, este último mais comum. Neste aspecto é importante observar o alto índice de corrosão encontrado nos cordões de solda, bem como a vedação necessária nos pontos de apoio da passarela, já que geralmente as telhas são perfuradas e podem ocorrer vazamentos.



Figura 3.32: Passarela metálica em chapa expandida sobre cobertura.
Fonte: <http://www.icec.com.br/leroy/index.htm> Acesso em junho de 2005.

Os materiais mais empregados são as chapas xadrez, as chapas expandidas e as grelhas, com a largura mínima de 600mm, ilustrados na figura 3.33 (BELLEI, 1994). Atenção especial deve ser dada ao tratamento anticorrosivo no material a ser utilizado, para não comprometer os demais elementos bem como a segurança da estrutura (figura 3.34).

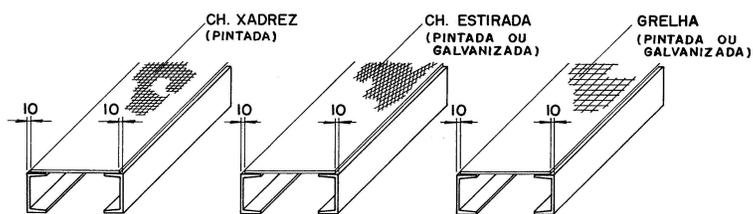


Figura 3.33: Tipos de materiais empregados nas passarelas.
Fonte: (BELLEI, 1994).

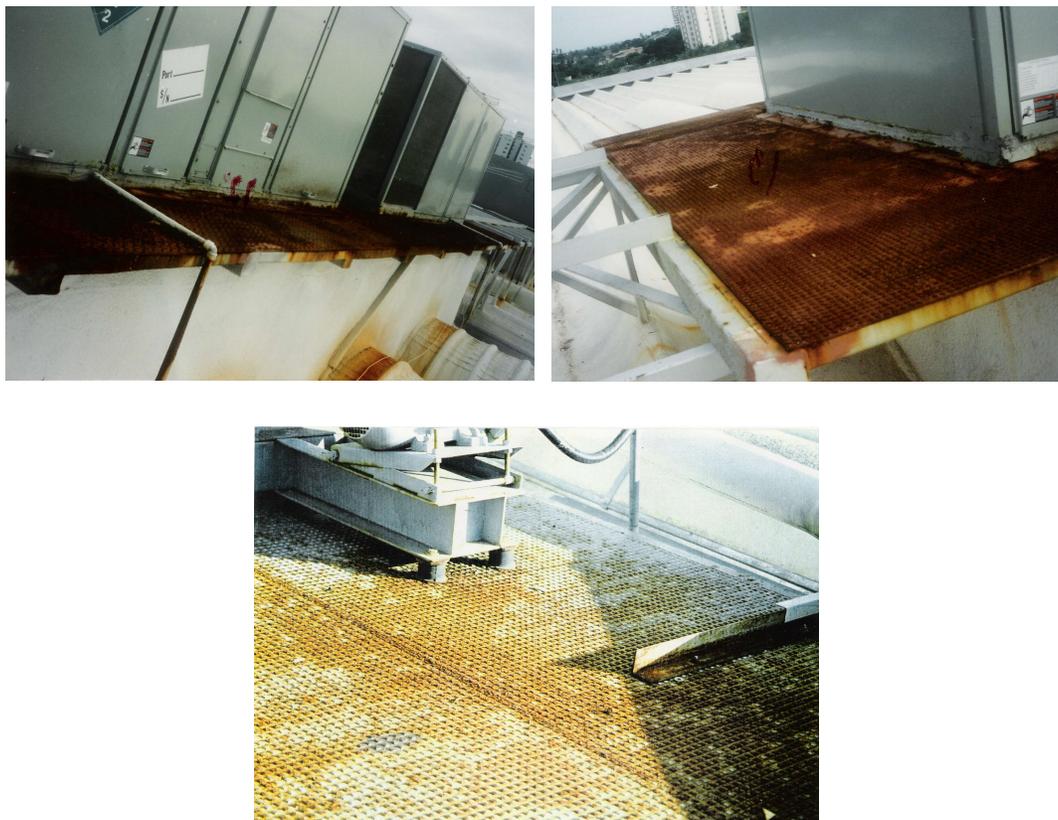


Figura 3.34: Estados avançados de corrosão em passarelas metálicas devido à falta de proteção.
Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

A não execução destes elementos pode levar a um maior custo de manutenção da cobertura, pois o trânsito de pessoas sobre as telhas pode danificá-las, além de não oferecer segurança.

CAPÍTULO 4

DIRETRIZES DE PROJETO

4.1. DIRETRIZES PARA A MODULAÇÃO

Por modulação deve-se compreender o estabelecimento de padrões de componentes, ou ainda de padrões de espaços, que podem repetir-se ou admitir variações, de acordo com algumas regras básicas. Cada um destes padrões está integrado a uma estrutura global, a uma malha modular ou outra convenção que permita a coordenação de todas as informações do projeto.

Segundo CARVALHO (2005), esta coordenação é conhecida por Coordenação Modular e consiste em um sistema capaz de ordenar e racionalizar a confecção de qualquer artefato, desde o projeto até o produto final. Este tema também é tratado em alguns trabalhos realizados na Universidade Federal de Ouro Preto e recomenda-se a leitura de NUIC (2003), FIRMO (2003) e PELLICO (2004).

○ sistema se efetiva, principalmente, pela adoção de uma medida de referência, o módulo, que é considerada como a base de todos os elementos constituintes do objeto a ser confeccionado.

○ termo módulo vem do latim “modulus” (pequena medida), da qual derivam as medidas em projeto e obra, e visa à coordenação das dimensões dos elementos de construção. Hoje em dia o seu conceito está ligado à industrialização contemporânea das edificações, onde se busca uma medida simplificadora que possa, ao mesmo tempo, ser uma unidade conveniente para a arquitetura e o design, bem como uma

unidade prática para a produção industrial (ENGEL 1991, apud FIRMO 2003).

A utilização do módulo é freqüente em obras de grande porte, que necessitam de um método construtivo rápido e racionalizado como as obras institucionais (escolas, prédios públicos), hospitais, conjuntos habitacionais e edifícios industriais.

A coordenação modular envolve o estudo aprimorado de uma série de outros módulos para que o seu desenvolvimento seja consistente, como os módulos funcional, estrutural, construtivo, de instalações e de infra-estrutura predial, desde o seu pré-dimensionamento, sendo a determinação de cada módulo dependente de vários critérios relativos aos aspectos de economia, de tecnologia, de funcionalidade, de legislação e de instalações complementares entre outros.

A modulação de uma estrutura permite racionalizar o processo de fabricação pela multiplicidade de peças repetidas, simplificação da montagem, diminuição de diversidade das peças e pela rigidez de fabricação e montagem, o que acaba por adequar as características da construção civil aos processos de produção industrial.

Na ausência de um sistema padronizado de construção, a modulação da estrutura funciona como catalisador da racionalização e facilita o processo de projeto, já que estabelece uma limitação às medidas aplicáveis aos componentes e ao projeto como um todo, além de facilitar e flexibilizar a combinação dessas medidas (CARVALHO, 2005).

A busca por grandes vãos em edificações está inserida em uma das mais importantes tendências que vêm orientando a evolução das técnicas de edificação dos últimos anos: a busca por maior flexibilidade. Esta flexibilidade torna-se um meio seguro de garantir que um único espaço seja capaz de atender satisfatoriamente a diferentes exigências funcionais.

Em contraposição, as arquiteturas desenvolvidas como soluções otimizadas a determinadas funções precisamente definidas constroem suas identidades próprias, exatamente sobre a estrita correspondência com as necessidades que devem satisfazer (DORFMAN, 2001).

No caso de uma estrutura de cobertura pré-engenhada padronizada, a flexibilidade da modulação se torna uma característica fundamental e norteadora de todo o seu desenvolvimento, ao se propor um sistema universal capaz de atender a diversas tipologias e a diferentes formas de utilização de espaço.

Além da flexibilidade, outros parâmetros também foram utilizados para se alcançar uma modulação padrão adequada do sistema estrutural de cobertura. Esses foram agrupados de acordo com a sua natureza, classificados como arquitetônicos, estruturais e comerciais.

4.2. – PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO

A organização aqui apresentada baseou-se nos estudos realizados, bem como nas respostas obtidas através do questionário externo (com fabricantes, projetistas, clientes e gerenciadores de obras em estrutura metálica) e questionário interno, (realizado com os profissionais da empresa Engipar/SP), ambos mencionados no capítulo 2.

4.2.1 - PARÂMETROS ARQUITETÔNICOS

As respostas aos questionários indicaram que, de acordo com os profissionais entrevistados, a versatilidade do layout interno da edificação foi a primeira condição imposta pelos clientes à modulação. Ou seja, em linhas gerais, esta modulação deveria adaptar-se às mais variadas condições de instalações e uso e permitir modificações, reposições e melhoramentos, sem que para isso fossem necessárias intervenções nas estruturas dos edifícios que os abrigam. Além de possuir medidas de largura e comprimento adequadas, o espaço deveria preservar um grande vão livre ao contar com um mínimo de obstáculos como, por exemplo, pilares e contraventamentos verticais.

O melhor aproveitamento dos espaços em edificações que necessitam de grandes vãos ocorre em função da adoção de um módulo estrutural padrão, flexível o bastante para atender satisfatoriamente às dimensões de cada uma dessas edificações. Como já mencionado, atender às dimensões específicas de cada projeto acaba por limitar a flexibilidade do sistema, o que não é a intenção.

Como exemplo, em centros de distribuição o melhor aproveitamento do espaço será determinado por uma modulação que acompanhe as dimensões dos racks, pallets e da área de circulação necessária para a movimentação das empilhadeiras (figura 4.1).

Geralmente, devido às cargas elevadas suportadas pela laje de piso destes empreendimentos, a área de estoque é projetada para se localizar no pavimento térreo e o estacionamento fora do corpo da edificação.



Figura 4.1: Centros de distribuição
 Fonte: www.marko.com.br – Acesso em julho de 2005.

Outro exemplo da diversidade de modulações possíveis quando da utilização de grandes vãos são os terminais rodoviários. De acordo com MEYER (1997), estes requerem amplos espaços contínuos e áreas mais uniformes e repetitivas, destinadas às plataformas de embarque e desembarque. A disposição dos pilares deve ser compatível com a configuração destas áreas e seguir as recomendações de projeto estabelecidas em normas específicas, sendo o módulo típico usualmente adotado de modo a compreender sub-módulos de 600mm x 600mm (figura 4.2).

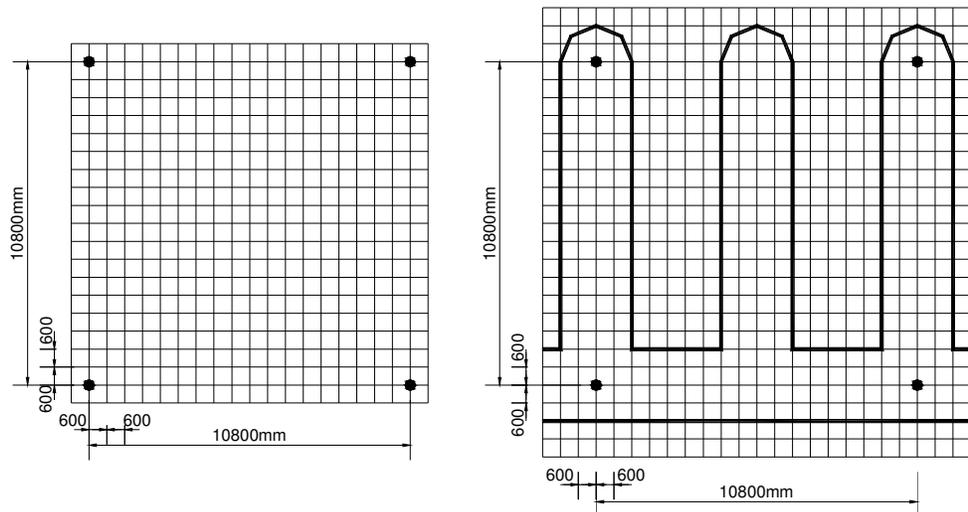


Figura 4.2: Módulo típico e módulo típico com plataforma para embarque/desembarque.
 Fonte: MEYER (1997).

A segunda condição apontada pelos clientes como determinadora da modulação diz respeito à área destinada a estacionamento de veículos. Independente da sua localização no corpo da edificação, o estacionamento é uma área onde as vagas,

circulação e áreas de manobras dependem de dimensões pré-determinadas por leis e códigos específicos de cada cidade, com uma pequena variação de uma para outra. Neste caso, o aproveitamento do espaço na edificação ocorre em função dessas dimensões.

Em geral, para estacionamentos não situados em vias públicas, as dimensões mínimas das vagas para veículos de passeio são de 2,40m para a largura e 4,50m para o comprimento. Para os ângulos das vagas de 90º e 45º usualmente projetados a as dimensões mínimas destinadas ao acesso e manobra dos veículos é de 5,0m e 3,5m, respectivamente.

É claro que ao se determinar a modulação ideal para o sistema de cobertura, todos os parâmetros são analisados simultaneamente. Por exemplo, em tipologias para hipermercados, a modulação do salão de vendas é também determinada em função das dimensões das gôndolas, prateleiras e área de circulação. Caso possua área de estacionamento em um pavimento inferior, a disposição dos pilares na edificação deverá ser avaliada em função do acréscimo de carga – sistema de cobertura, estrutura, laje de piso, equipamentos, produtos, pessoas – que será transmitido à estrutura deste último e que certamente provocará uma diminuição dos vãos.

A pesquisa interna realizada pela empresa Engipar (São Paulo/SP), com o intuito de se conhecer os vãos usuais de mercado para coberturas metálicas, envolveu vinte hipermercados, cinco centros de distribuição, um shopping center e três empreendimentos destinados à venda de materiais para construção civil, revelando que:

- 43% das edificações utilizaram uma modulação onde as terças possuíam vãos de 15m e 33% das edificações utilizaram uma modulação onde as terças possuíam vãos de 16m. Ou seja: 76% das edificações utilizaram terças com dimensões múltiplas de 7,5m e 8m;
- Para os vãos principais, 73% das edificações possuíam uma modulação com base em múltiplos de 2m;
- 60% das edificações utilizaram uma modulação onde os vãos principais eram de 24m. Destas, 50% utilizaram terças de 15m e 44% utilizaram terças de 16m.

A utilização de terças com vãos entre 15m e 16m, na grande maioria das edificações avaliadas, justifica-se por serem dimensões onde as áreas das vagas e de circulação

nos estacionamentos são aproveitadas de melhor maneira.

Para uma modulação onde os vãos das terças possuem 15m, a distribuição das vagas é feita como indicado na figura 4.3, apresentando-se, na figura 4.4, a modulação para as situações de terças com vãos de 16m.

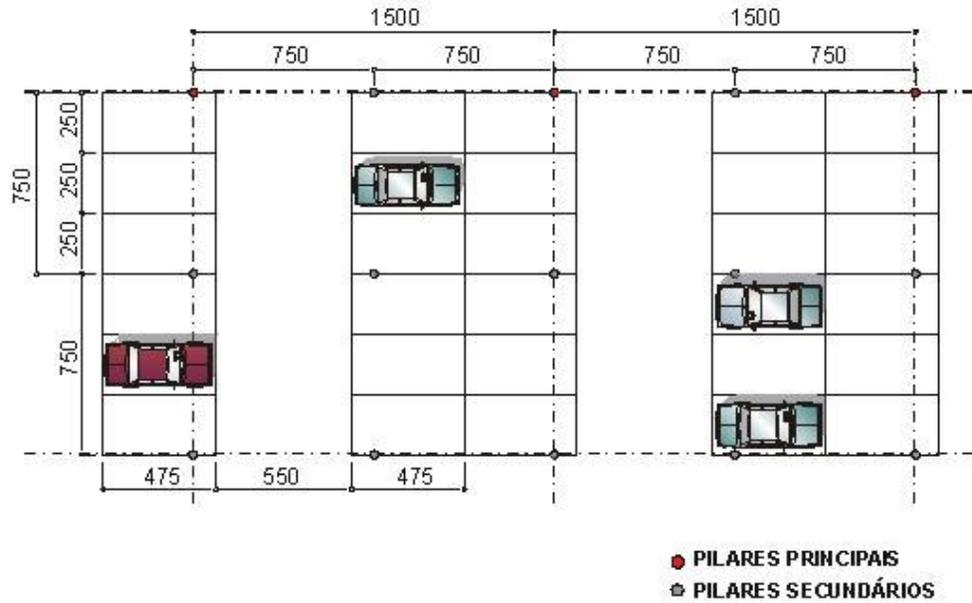


Figura 4.3: Distribuição das vagas no estacionamento (Terças com vãos de 15m).

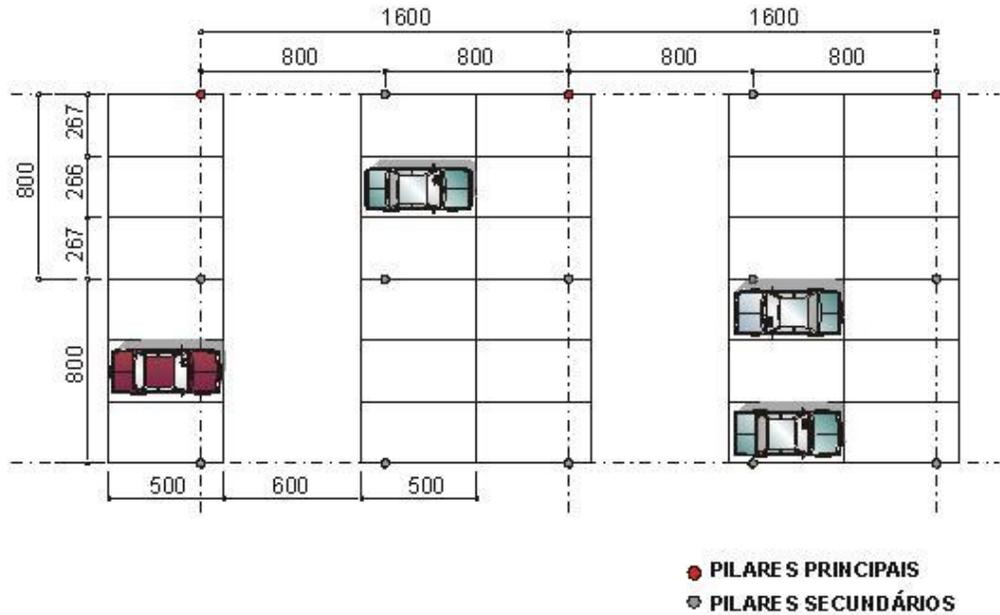


Figura 4.4: Distribuição das vagas no estacionamento (Terças com vãos de 16m).

É interessante que o sistema também possua vãos principais múltiplos de 8m ou 7,5m, a fim de possibilitar a flexibilidade de uso do espaço para o estacionamento nos dois sentidos da estrutura.

Em relação à modulação das vigas principais, uma outra justificativa para os valores apresentados na pesquisa é dada em função do espaçamento utilizado no posicionamento das vigas secundárias ou terças. O projeto deve ser concebido de tal forma que o espaçamento entre terças coincida com o comprimento total da viga principal.

Em edificações de grandes vãos é comum a utilização de coberturas quase planas, com inclinações na ordem de 2% a 3%. Caso seja adotado um ângulo maior de inclinação, maior será a quantidade de material para os elementos estruturais que sustentam a cobertura e para se fazer a vedação lateral da edificação, já que, em função da inclinação, a altura total do prédio varia com o tamanho do vão que se pretende cobrir. Normalmente, nestes empreendimentos, é utilizada a telha metálica zipada.

Em geral, é estipulado o espaçamento na ordem de 2m entre terças na cobertura, devido ao espaçamento máximo de 2,5m indicado pela maioria dos fabricantes das telhas. É claro que outros parâmetros influem nesta determinação, como os carregamentos atuantes na estrutura, mas procura-se, de certa forma, projetar com valores próximos a estes.

O vão máximo de 2,5m determinado pela maioria dos fabricantes de telhas zipadas reproduz a pior condição de apoio para a telha em relação ao diagrama de momento fletor, que é a condição biapoiada. O momento fletor máximo, na condição de dois apoios (figura 4.5) é maior do que em sistemas compostos por três ou mais apoios (figura 4.6). Nestes, existe uma compensação dos momentos nos vãos pelos momentos que surgem nos apoios, o que resulta em valores menores em relação ao das vigas biapoiadas, de mesmos vãos e carregamentos.

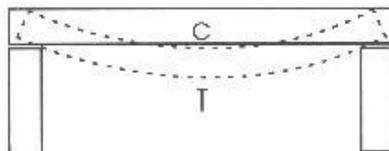


Figura 4.5: Esquema para telha biapoiada. Fonte: REBELLO (2000).

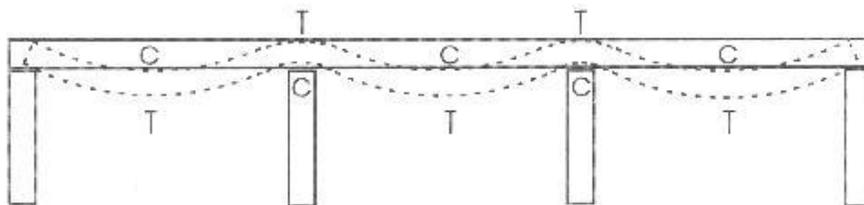


Figura 4.6: Esquema para telha contínua. Fonte: REBELLO (2000).

Para a maioria dos fabricantes de telhas zipadas, o vão máximo admissível entre apoios varia de acordo com a espessura do perfil da telha, sobrecarga e flecha admissível.

Devido ao arranjo estrutural, a localização dos contraventamentos verticais neste tipo de edificação também merece um estudo aprimorado. A escolha do método correto para contraventar a estrutura influencia na utilização do edifício, na economia da estrutura, na aparência externa e no método construtivo adotado (SÁLES et al. 1999).

No caso dos contraventamentos horizontais deve-se ter especial atenção ao seu posicionamento no plano da cobertura, de forma que possibilite flexibilidade em relação à interface com os sistemas de ventilação e iluminação do edifício.

A utilização do sistema modular parte do princípio que o projeto de arquitetura é a base que possibilita, através da racionalização, maior economia nos custos e melhor qualidade no produto final, que é a obra pronta.

Pode-se dizer também que a concepção do projeto arquitetônico em estruturas metálicas está centralizada na modulação da edificação devido às dimensões de produção de matéria-prima.

4.2.2. - PARÂMETROS ESTRUTURAIS

Os parâmetros estruturais responsáveis pela definição da modulação são aqueles que orientam qualquer processo de concepção estrutural, independente da finalidade proposta. Estão relacionados sempre, de alguma forma, com a segurança, com a utilização e com o custo.

Como em qualquer situação de projeto, baseado na NBR 8800/86, o cálculo estrutural deve promover primeiramente a segurança da estrutura. Em edificações de grandes vãos, o arranjo estrutural na maioria das ocorrências é diferenciado em função dos parâmetros arquitetônicos citados, principalmente devido à necessidade de se reduzir o número de pilares internos. Conseqüência disto é, por exemplo, a utilização de vigas

e pilares com maior inércia e/ou de vigas auxiliares/secundárias em maior quantidade como soluções para a estrutura.

A segurança do empreendimento está diretamente ligada à resistência da estrutura quando submetida a esforços. Os carregamentos atuantes variam de empreendimento para empreendimento, em função de uma série de condicionantes preestabelecidos, como tipo de sistema estrutural a ser utilizado, o tipo de solo, a localidade, o entorno da edificação e o seu uso final.

Em função destes carregamentos, o calculista realiza o dimensionamento da estrutura e seu arranjo, definindo as conexões e sua forma de composição, através de soldas ou parafusos e da possibilidade de uso de chapas auxiliares. O dimensionamento da estrutura é baseado em normas que orientam os cálculos, de forma a evitar as possíveis consequências de uma análise mal conduzida. Exemplos destas consequências são as deformações excessivas, esmagamento nos elementos de contato, rasgamento dos elementos devido aos esforços de tração, fissuras, flambagens globais ou locais da estrutura e suas peças, entre outros.

As deformações verticais nas peças, em virtude da esbeltez dos elementos e da pequena inclinação usual das telhas, podem provocar convexidade no telhado e, conseqüentemente, o acúmulo de água ou sujidades. Esta ocorrência, em princípio, pode prejudicar a aparência, a possibilidade de manutenção, a funcionalidade e o conforto dos ocupantes de um edifício, bem como pode causar danos a equipamentos e materiais de acabamento vinculados a ele. A situação se torna ainda mais complicada caso o problema não venha a ser resolvido, pois o aumento do volume de água empoçada pode gerar um acréscimo na deformação das peças devido ao maior peso, conduzindo, eventualmente, ao colapso da estrutura de cobertura.

A NBR 8800/86, no item 8.3.3, prevê a verificação da estabilidade da estrutura de cobertura, de forma a assegurar que a água não venha a se acumular em poças. Nesta verificação deve-se avaliar possíveis flechas dos materiais de fechamento e dos componentes estruturais, imprecisões construtivas, recalques de fundação e os efeitos de contraflecha. Conforme a Norma, os deslocamentos de barras da estrutura e de conjuntos de elementos estruturais, incluindo pisos, coberturas, divisórias e paredes externas não podem ultrapassar os valores limites estipulados em seu Anexo C. No projeto de revisão da norma, estipula-se esta verificação para coberturas que possuam inclinação inferior a 5%.

De acordo com o método dos estados limites, este efeito é considerado um estado limite de utilização, já que pode prejudicar a aparência e a durabilidade da edificação.

As respostas obtidas na pesquisa anteriormente mencionada indicaram que a boa relação entre peso/vão é um outro ponto importante na determinação da modulação. O fator economia justifica-se na competitividade do mercado, uma vez que o peso da estrutura é a principal responsável pelo seu custo final.

Em geral, de acordo com SÁLES et al. (1999), nas estruturas de aço a medida de economia é determinada pela quantidade de aço utilizado na estrutura em uma área de piso (Kg/m^2). Esta quantidade de aço depende de diversos fatores, como o número de pavimentos, as cargas impostas, o espaçamento entre os pilares nas duas direções, o tipo de estrutura do piso e a sua altura total, o método de enrijecimento ou contraventamento da estrutura e a qualidade do aço escolhido.

Diante dos fatores citados observa-se que a modulação da edificação influencia diretamente na questão econômica e é conseqüência de um dimensionamento estrutural apropriado. Através deste é determinado o perfil estrutural a se utilizar, a quantidade de peças e o nível de complexidade de suas ligações, bem como qual o processo de fabricação adequado, aliado ao desenvolvimento tecnológico. Não menos importante é a avaliação das relações de custo entre o material e a mão-de-obra disponível no mercado.

Neste caso, o uso do sistema Joist como solução estrutural é bem aceita, já que possibilita a utilização de grandes vãos com peso menor por área coberta e possui detalhamento simplificado nas ligações, o que agiliza o processo de montagem e diminui o fator custo/hora.

A determinação do tipo de ligação entre vigas e pilares influencia substancialmente o custo da estrutura. Ao se calcular estruturas onde a ligação viga-pilar é rotulada, a viga não transmite momento fletor para o pilar em que está apoiada e é dimensionada de forma a suportar a vinculação que lhe foi retirada. Já em estruturas onde as ligações entre vigas e pilares são rígidas ou semi-rígidas, a viga transmite o momento fletor ao pilar (figura 4.7).

Devido a essa transmissão de esforços, as vigas dos pórticos possuem menores dimensões, uma vez que são menos solicitadas do que as vigas biapoiadas. Adicionalmente, as dimensões dos pilares são menores em estruturas isostáticas, já que não são calculados para resistirem ao momento gerado pelo engastamento.

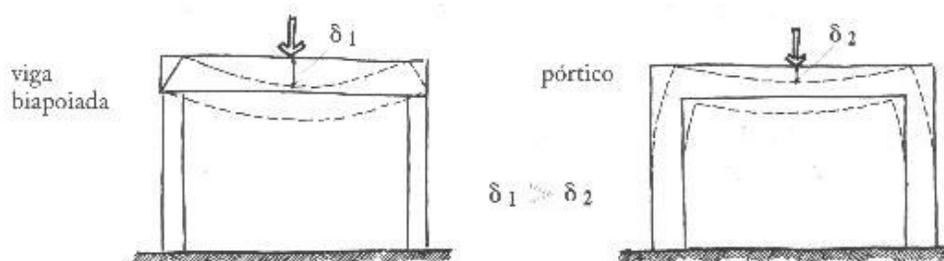


Figura 4.7: Deformações em vigas biapoiadas e pórticos.
Fonte: REBELLO (2000).

O conceito de flexibilidade da estrutura também está relacionado com a possibilidade do cliente ou do projetista em optar entre pilares metálicos e pilares em concreto, a depender de algumas características do empreendimento como finalidade e condições do mercado.

Nas pesquisas, perguntou-se sobre as vantagens e desvantagens da utilização de pilares em aço e em concreto no sistema principal de apoio da cobertura metálica e a incidência de projetos com cada um. As respostas mais significativas são apresentadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1:

Vantagens e desvantagens na utilização de pilares metálicos ou em concreto.

	Pilar em concreto	Pilar em Aço
Incidência de projetos	73%	27%
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Custo do seguro inferior; ▪ Custo do material é inferior; ▪ Não há a necessidade em se utilizar contraventamentos verticais se comparado ao perfil metálico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilidade de transporte e de montagem; ▪ Estrutura leve; ▪ Versatilidade; ▪ Dimensões menores em relação ao concreto para um mesmo carregamento.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dificuldade no transporte do material; ▪ Estrutura mais pesada; ▪ Limitação do uso. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Custo de seguro superior; ▪ Custo do material é maior; ▪ Custo em relação à proteção contra incêndio. ▪ Sistemas de fechamento

De acordo com os dados obtidos, as maiores vantagens na escolha do aço para o sistema de apoio da cobertura são aquelas vinculadas ao processo de projeto e cálculo (versatilidade, dimensões dos perfis e leveza do aço) e ao transporte e montagem (rapidez e facilidade na execução).

Em contrapartida, o aço é apontado como um material mais caro, tanto o elemento unitário quanto os procedimentos necessários para viabilizar a sua utilização. Este fato pode ser comprovado através de um outro item da pesquisa, cujos resultados são apresentados no gráfico da figura 4.8, em que os profissionais foram questionados quanto às restrições no uso de pilares metálicos para a estrutura principal de apoio.

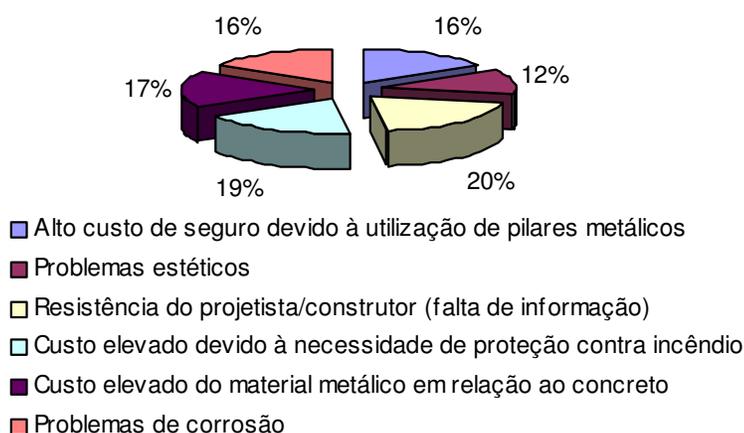


Figura 4.8: Restrições ao uso de pilares metálicos em estrutura de apoio da cobertura metálica.

O que se percebe nas respostas obtidas é que alguns fatores são realmente restritivos ao uso dos pilares metálicos, seja por estarem vinculados diretamente aos órgãos responsáveis pela aprovação dos projetos, seja por questões econômicas.

De acordo com os entrevistados, o custo para a proteção passiva contra incêndio encarece os empreendimentos que utilizam pilares metálicos, tornando-os menos competitivos quando comparados aos empreendimentos com pilares em concreto. O custo desta proteção depende de diversos fatores, tais como ocupação, altura e área do edifício, mas geralmente varia entre 5% e 10% do valor final da obra.

Em casos do emprego de pilares em concreto, o corpo de bombeiros exige chuveiros automáticos, hidrantes e extintores portáteis para a proteção da edificação. Entretanto, para pilares metálicos é exigido ainda a sua proteção passiva específica, através da utilização de pintura intumescente, argamassa armada ou projetada, placas de lã de

rocha, gesso acartonado ou o enclausuramento do perfil com concreto. Esta proteção passiva pode ser descartada no caso das estruturas de cobertura, desde que o responsável técnico pelo projeto assuma a sua total independência do sistema estrutural que suporta os elementos de compartimentação.

Os procedimentos para a proteção contra incêndio adotados no país estão em acordo com a NBR 14323/99 - Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio. Já no estado de São Paulo estes procedimentos são determinados pelas Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros do estado, devido à sua maior exigência, comparativamente à norma brasileira adotada.

O que se procura adotar nos projetos de construção civil atualmente é a redução do risco de incêndio e, em caso de ocorrência, deve-se prolongar o tempo de início de deformação da estrutura. A norma determina um tempo de resistência ao fogo, ou seja, a um tempo suficiente para possibilitar a fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança, bem como a segurança das operações de combate ao incêndio e a minimização de danos a edificações adjacentes e à infra-estrutura pública.

Outro fator que acaba por dificultar a utilização de pilares em aço nestes empreendimentos é o alto valor do custo do seguro, devido à maior perda de resistência do aço, em relação ao concreto, quando exposto ao fogo. O aço convencional apresenta resistência reduzida e uma redução brusca do seu estado limite de escoamento a partir de 400 °C e atinge valores críticos em temperaturas em torno de 550 °C.

Pode-se interpretar a menção na pesquisa ao problema de corrosão como um fator adicional no custo final do empreendimento. A corrosão é um processo natural e espontâneo, entretanto, a proteção contra a corrosão não é natural e deve ser aplicada, o que gera o impacto econômico. Além dos procedimentos de zincagem e pintura existentes no mercado, os fabricantes oferecem o aço resistente à corrosão atmosférica, denominados patináveis, composto por metais nobres tais como cobre, cobalto e níquel.

Outra restrição apontada na pesquisa diz respeito ao custo unitário do perfil metálico, definido como maior em relação ao custo do concreto. No entanto, percebe-se que esta não é uma justificativa segura para a sua não utilização. Pode-se dizer que há no mercado um erro “cultural” em relação às estruturas metálicas, pois não se analisa o

ganho global que se obtém ao utilizá-las, como menor peso da estrutura (o que resulta em economia no dimensionamento das fundações), menores perdas, custos indiretos menores e maior rapidez na execução e montagem.

A resistência dos projetistas e construtores em utilizar o aço na estrutura de apoio da cobertura também está relacionada a antigos conceitos, o que mostra uma certa acomodação quanto ao uso do aço e aos sistemas complementares ligados a ele. No Brasil, o cálculo de estruturas em concreto é muito mais difundido do que o aço, influência já percebida desde a graduação em cursos de engenharia e arquitetura.

Segundo PELLICO (2004), as coberturas, em geral, possuem um comportamento mais autônomo, o que facilita o equacionamento de suas cargas. No entanto, este equacionamento é mais complexo para os pilares metálicos, pois deve-se verificar, além dos carregamentos provenientes da cobertura, outros aspectos como a estabilidade lateral e no plano do elemento, bem como a estabilidade do conjunto, o que pode levar à utilização de contraventamentos. Portanto, as dimensões dos pilares são influenciadas por estes efeitos e travamentos podem ser criados de forma a diminuir o comprimento livre do pilar e melhorar a estabilidade global da estrutura. Estas ocorrências, embora algumas, de certa forma, devam também ser verificadas para o concreto, são mais freqüentes em estruturas de cobertura com pilares metálicos, que se somado à maior suscetibilidade do aço ao fenômeno da flambagem (local e global), podem soar como dificuldades ou empecilhos para o profissional acostumado ao uso do concreto.

A resistência ao uso do perfil metálico em pilares deve-se também, em parte, aos procedimentos e técnicas existentes relativas aos sistemas de fechamento. Para empreendimentos de grandes vãos, o mercado dispõe de uma série de materiais novos e tradicionais, produzidos com opção de aplicação tanto em edifícios com pilares metálicos quanto em pilares em concreto. No entanto, o que se percebe é uma certa acomodação dos profissionais quanto ao detalhamento da interface entre os materiais de fechamento e os pilares metálicos, já que para pilares em concreto a técnica é bem conhecida e de utilização generalizada.

Os problemas quanto à estética são oriundos de diversos fatores, muitas vezes até de gosto pessoal. Um dos motivos, provavelmente, está relacionado com essa interface entre os materiais de fechamento e a estrutura do edifício. Caso executado de maneira incorreta, o sistema de fechamento pode gerar desconforto visual e físico do usuário, o

que acaba contribuindo para uma experiência negativa na utilização da estrutura metálica.

Portanto pode-se dizer que as dificuldades encontradas para a escolha do pilar metálico e a falta de conhecimento dos projetistas e fabricantes em relação às possibilidades da construção em estrutura metálica têm sido responsáveis pela baixa incidência de projetos. Para que a indústria de fabricação e de montagem se desenvolva e expanda, é necessário criar um público consumidor para esse novo modo de construir, o que exige a consolidação de uma cultura de construção em estrutura metálica entre os profissionais.

A modulação de uma estrutura de cobertura pode ser influenciada também pelo sistema para proteção ativa contra incêndio. Neste caso, o posicionamento dos chuveiros automáticos é relevante, pois os hidrantes e extintores são fixados no corpo da estrutura e na altura do público. A NBR10897 - Proteção contra incêndio por chuveiro automático (1990), determina o espaçamento máximo entre os chuveiros, a área máxima de cobertura por chuveiro e o seu diâmetro nominal, bem como das distâncias entre os chuveiros e os suportes de fixação de acordo com a classe de risco de ocupação da área a ser protegida. Estas distâncias variam com o tipo de suporte e com o diâmetro da tubulação.

As limitações das áreas de coberturas dos chuveiros ocorrem em função do nível de risco das ocupações, classificados no item 4.1 da norma como risco leve, risco ordinário, risco extraordinário e risco pesado. Os limites das áreas se encontram no sub-item 5.5.6 da mesma norma.

De acordo com a NBR-10897, alguns fatores influenciam na resposta do chuveiro e estes fatores, de certa forma, estão relacionados com a modulação da estrutura:

1) Forma do teto

Qualquer obstrução no teto representa uma barreira para a camada de gases quentes. Tetos com vigas ou nervuras tendem a canalizar os gases quentes entre as vigas e somente os chuveiros entre ou junto a estas vigas são prováveis de entrar em operação, pelo menos inicialmente. Deve-se ter um cuidado maior em relação aos telhados inclinados, pois atuam como poços invertidos, nos quais os gases quentes sobem e podem impedir que os chuveiros operem na base do telhado (GONÇALVES, 2005).

2) Altura do teto

Os gases quentes sobem na forma de uma nuvem até o teto, ativando o chuveiro. Para tetos com alturas entre 2,5m e 4,5m, a camada quente possui de 0,1m a 0,3m de espessura no momento da operação do chuveiro, sendo que a parte mais quente está cerca de 0,15m do teto, sendo então essa, em geral, a altura ideal para instalação do chuveiro.

Para tetos com alturas acima de 4,50m, a camada quente será mais espessa no momento da operação do chuveiro, devido ao esfriamento dos gases em seu trajeto. A produção de calor necessária para acionar um chuveiro de uma determinada faixa de temperatura é proporcional ao quadrado da altura do teto (GONÇALVES, 2005).

A modulação da estrutura de cobertura, sem o estudo adequado da distribuição dos chuveiros automáticos, pode levar a custos indesejados das instalações, o que pode ser um fator negativo na comercialização de um sistema. Nos casos em que a modulação da estrutura não coincide com a modulação dos chuveiros, são fixados perfis na estrutura para servir de apoio e sustentação dos bicos.

De acordo com FIRMO (2003), somente uma sistematização racionalizada baseada em um novo conceito de módulo, ou a busca de princípios padronizados de articulação e combinação de módulos, tem força suficiente para atingir a produção em larga escala, agregando as inúmeras vantagens preconizadas pela industrialização.

4.2.3. - PARÂMETROS COMERCIAIS

Os parâmetros comerciais que determinam a escolha da modulação são uma união de todos os fatores já relacionados, com algumas observações. Dentre todos, a relação entre a qualidade do produto ofertado e o seu custo final é o mais característico, ou seja, o conceito de custo/benefício ainda prevalece.

Este conceito pode ser observado nos gráficos apresentados nas figuras 4.9 e 4.10, obtidos a partir dos resultados pesquisa realizada com projetistas que apontaram, em ordem de importância, os pontos positivos e negativos que determinam a aquisição de um sistema de cobertura metálica.

Em relação ao custo final de uma estrutura em aço, é claro que existem outros fatores responsáveis, direta ou indiretamente, pela sua competitividade, como o cálculo das fundações, em função dos esforços na estrutura e do tipo de solo, bem como os

procedimentos adotados para segurança contra incêndio. O que se procura mostrar neste tópico do trabalho é que, através da adoção de um módulo padronizado e otimizado, todas as etapas do processo construtivo são simplificadas, o que provavelmente levará a um custo menor.



Figura 4.9: Pontos positivos que levam à aquisição de um sistema de cobertura metálica.

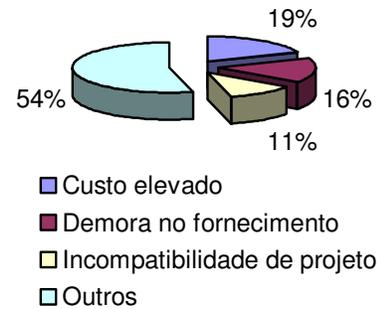


Figura 4.10: Pontos negativos que não levam à aquisição de um sistema de cobertura metálica.

1) Em geral:

- Hoje em dia, para empreendedores hoteleiros, empresas que necessitam de centros de distribuição, indústrias, hipermercados e edifícios de escritório, uma obra fora do prazo é sinônimo de prejuízo, e o tempo para realizá-la é contabilizado como tal. Quanto menos industrializadas, mais retrabalhos, desperdícios e gastos são gerados e tudo é válido para entregar a obra no menor prazo possível, ao melhor custo e da forma mais racionalizada para o cliente. A partir destes condicionantes, uma nova modalidade de negócios conhecida por Fast Construction surge no mercado, onde o método de construção é rápido, seriado e prioriza sistemas e subsistemas construtivos (MEDEIROS, 2003).

2) Na fabricação:

- Em projetos estruturais onde se dispõe somente de anteprojeto ou projeto básico para o orçamento, ou quando existe a possibilidade de modificações e/ou adequações do projeto, a contratação dos serviços de fabricação é feita através de um custo unitário. Outra possibilidade é a contratação através de custo global, quando os desenhos de projeto já estão completos e são bastante detalhados. Além disso, dependendo do nível de padronização da estrutura, o

tipo de contrato entre fornecedor e fabricante pode ser feito pelo processo de industrialização, onde o peso do projeto previamente estabelecido permite o conhecimento tanto qualitativo quanto quantitativo dos materiais. Este processo permite que a compra do material seja feita pelo proprietário, o fabricante se responsabiliza somente pela industrialização da estrutura e cobra um valor unitário pelos serviços de fabricação dos componentes, o que pode reduzir o preço em até 20% (SÁLES et al, 1999).

- O aço estrutural passa por várias operações ao longo da fabricação da estrutura. Logo, quanto mais simplificada a sua solução e a de suas conexões, maior é a produtividade da fábrica e menor é o prazo de entrega. A fabricação em série das peças reduz os custos de produção, aprimorando a qualidade de cada peça produzida.

3) No transporte:

- É sempre mais viável transportar as peças o mais pré-montado possível, a fim de se evitar trabalhos e perda de tempo no local de montagem (RAAD Jr., 1999). A utilização de transporte especial e o seu custo dependerão diretamente da modulação adotada, devido às dimensões das peças (e do posicionamento das conexões entre as partes) e de seu peso. Entre todos os meios de transporte disponíveis, o rodoviário e o ferroviário são os mais usuais.

As tabelas 4.2 e 4.3 apresentam as dimensões máximas recomendadas para o transporte ferroviário e rodoviário, respectivamente.

Tabela 4.2: Dimensões padrão no transporte ferroviário. Fonte: RAAD Jr., 1999.

Bitola	Largura	Altura da carga	Comprimento da carga	Peso máximo
Larga - 1,60m	2,5 a 2,8 m	2,85m	16 a 19m	75t
Estreita - 1,0m	2,30m	2,45	16 a 19m	60t

Tabela 4.3: Dimensões padrão no transporte rodoviário. Fonte: RAAD Jr., 1999.

Dimensões		Comprimento total	
Largura máxima	2,60m	Veículo Simples	13,20m
Altura máxima (a contar do solo)	4,20m	Veículo Articulado	18,15m
Comprimento da carga	12,0m	Veículo com reboque	19,80m

4) Na montagem

- Em estruturas metálicas, as montagens se caracterizam pela rapidez, precisão, adaptabilidade e confiabilidade, e em qualquer obra são vários os fatores que podem interferir na escolha do processo de montagem. As dificuldades de montagem devido à complexidade do projeto ou ao seu alto custo acabam por limitar esta escolha (SÁLES et al, 1999).
- As condições de trabalho na fábrica são geralmente mais favoráveis. É recomendado então que a estrutura seja enviada ao canteiro de obras pré-montada e que se observe o tipo de estrutura, as dimensões dos componentes que serão transportados e as próprias características da obra, como acesso e equipamento para montagem. Conseqüência disto é uma execução mais rápida e de melhor qualidade pela montadora (RAAD Jr., 1999). Ao se diminuir o tempo de montagem, diminui-se o período de locação dos equipamentos de movimentação de carga e de pequeno porte, das instalações fixas ou móveis do canteiro de obras e do contrato com a mão-de-obra entre outros, o que reflete no custo final.

4.3 - DIRETRIZES PARA O CÁLCULO ESTRUTURAL

O objetivo deste tópico é apresentar as principais diretrizes que nortearam a elaboração do projeto estrutural do Sistema de Cobertura V&M, bem como os procedimentos adotados no cálculo e os parâmetros para o dimensionamento das peças e conexões. Entende-se por projeto estrutural o conjunto de cálculos, desenhos, especificações de fabricação e de montagem de uma determinada estrutura.

As rotinas de cálculo aqui demonstradas são usuais em sistemas estruturais que possuem características semelhantes, exceto alguns procedimentos relativos ao dimensionamento das peças, como a verificação das ligações, que são especificamente essenciais em estruturas que utilizam o perfil de seção tubular. Estas rotinas foram desenvolvidas segundo as premissas de cálculo apresentadas a seguir.

É importante frisar que se trata de uma abordagem geral, não detalhada do projeto, a fim de se preservar as informações classificadas como sigilosas em função do caráter comercial que o sistema possui.

4.3.1. PREMISSAS DE CÁLCULO

1) Método de cálculo

O cálculo da estrutura baseia-se no Método dos Estados Limites, que impõe a condição de que a estrutura deve ser capaz de atender a estados limites últimos e de utilização, além de exigir que a fabricação, o transporte, o manuseio e a montagem da estrutura sejam executados de maneira adequada e em boas condições de segurança.

2) Normas utilizadas

No desenvolvimento do projeto, são utilizadas as seguintes normas:

- NBR 6120/80 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações;
- NBR 8681/84 - Ações e segurança nas estruturas;
- NBR 8800/86 - Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios (Método dos Estados Limites).
- NBR 6123/88 - Forças devidas ao vento em edificações;
- Eurocode-3 (2000) - Design of steel structures;

3) Tipologia estrutural adotada

No sentido transversal, o sistema é composto por pórticos rígidos cujas vigas principais são treliças planas em tubo de seção circular.

No sentido longitudinal, o sistema apresenta duas diferentes condições estruturais, considerando-se ligações rígidas para as terças das extremidades (em caso de pilares metálicos), sendo as demais consideradas biapoiadas.

As vigas principais e das extremidades são conectadas tanto em pilares em aço quanto em concreto, nestes últimos através de pilaretes em aço chumbados no topo.

4) Deslocamentos máximos recomendados

De acordo com a tabela 26 da NBR 8800/86 - Valores máximos recomendados para deformações, para efeito da sobrecarga e vento aplicado na estrutura, a flecha vertical admissível é $L / 360$.

4.3.2. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ESTRUTURAL

As diretrizes e procedimentos usuais para a elaboração do projeto de cobertura podem ser agrupados em quatro etapas, a saber:

- a) Concepção inicial do sistema com a definição dos vãos que se pretende vencer;
- b) Definição e determinação das cargas atuantes na estrutura (ações) e suas combinações de acordo com o Método dos Estados Limites;
- c) Análise e dimensionamento da estrutura;
- d) Detalhamento do projeto.

A primeira etapa será apresentada no capítulo 5. As restantes serão apresentadas a seguir.

4.3.2.1. Carregamentos e combinações

Em uma primeira análise, no sentido de uniformizar e fornecer subsídios para viabilizar a concepção estrutural, realizou-se um levantamento das ações que ocorrem durante o período de vida útil de uma edificação e de suas combinações, bem como do Método dos Estados Limites e da ação do vento nas edificações.

Este levantamento, além de contribuir com um maior e melhor conhecimento dos dados fornecidos pelas normas brasileiras, possibilitou a constatação de uma incerteza generalizada em relação à classificação das ações (entre permanentes e variáveis), tanto entre os engenheiros quanto clientes e fabricantes.

O termo “cargas de utilização” é freqüentemente utilizado e está relacionado com todos os equipamentos e sistemas que são “pendurados” na estrutura após a sua conclusão, sem uma distinção clara do que é carga permanente (aquela que ocorre com valor constante e pequena variabilidade ao longo da vida útil da estrutura) e carga acidental (aquela resultante do uso e ocupação da edificação ou estrutura).

4.3.2.1.1. Ações

Denominam-se ações todas as causas que provocam tensões, deformações ou movimentos de corpo rígido em uma estrutura. De acordo com a norma NBR 8681/84, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas, do ponto de vista prático, como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes designadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas.

De acordo com a citada norma, durante o período de vida da construção, podem ocorrer três tipos de ações, segundo sua variabilidade no tempo:

- Ações Permanentes (G);

- Ações Variáveis (Q);
- Ações Excepcionais (E).

(a) Ações Permanentes

São todas as ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variabilidade ao longo da vida útil da edificação. Podem ser divididas em duas classes, as ações permanentes diretas e as indiretas.

→ Ações Permanentes Diretas

- São os pesos próprios dos elementos da construção, incluindo-se o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, tais como pisos, telhas, paredes permanentes, revestimentos, acabamentos, instalações, entre outros;
- Os pesos dos equipamentos fixos;
- Os empuxos devidos ao peso próprio de terra não removível e de outras ações sobre elas aplicadas;
- Em alguns casos, os empuxos hidrostáticos.

Os valores dos pesos específicos dos materiais de construção são definidos na tabela 1 da NBR 6120.

→ Ações Permanentes Indiretas

- Recalques de apoios;
- Retração dos materiais;
- Protensão.

(b) Ações Variáveis

As ações variáveis são aquelas resultantes do uso e ocupação da edificação ou estrutura tais como: sobrecargas distribuídas em pisos devido ao peso de pessoas, mobiliário, objetos e materiais estocados; ações provenientes da utilização de equipamentos como elevadores, centrais de ar condicionado, máquinas industriais, pontes rolantes e talhas; pesos de parede removíveis; sobrecargas em coberturas, etc.

Caracterizam-se pela variação, em torno de sua média, de intensidade, sentido, direção e posição, durante a vida útil da construção. Essa variação pode ser lenta e

gradual ou rápida, dependendo da natureza da ação. Desta forma, pode-se ter como exemplos de variação lenta a mudança de temperatura ambiente ou a variação do nível d'água de uma represa. Como exemplos de variação rápida tem-se a força horizontal de choque de uma ponte rolante com o pára-choque ou o impacto devido à queda de um corpo sobre uma estrutura.

São ações variáveis os empuxos de terra, as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas, a pressão e os efeitos do vento, a variação de temperatura, a força de frenagem (como no caso de pontes), as forças de impacto e centrífugas, o atrito nos aparelhos de apoio, entre outros. No caso de barragens e centrais nucleares considera-se os efeitos de natureza sísmica.

A ação do vento em estruturas metálicas, especificamente em coberturas, é uma das mais importantes a considerar, principalmente se não houver ações de pontes rolantes, como é o caso do sistema V&M. As cargas devido ao vento não podem ser negligenciadas, sob o risco de colocar a estrutura em colapso (BELLEI, 1994).

As considerações para a avaliação das forças de vento são determinadas pela Norma Brasileira NBR 6123/88, que serão apresentadas resumidamente no próximo item.

Devido a probabilidade de ocorrência durante a vida útil da construção, as ações variáveis são classificadas em normais ou especiais.

As ações variáveis normais são aquelas cuja probabilidade de ocorrência é grande, tornando obrigatória a sua consideração. Já as ações variáveis especiais são aquelas relacionadas às ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou intensidades especiais, atuantes em tipos particulares de estruturas.

No caso de pisos, coberturas e outras situações similares, considera-se uma carga concentrada aplicada na posição mais desfavorável, de intensidade compatível com o uso da edificação, além das cargas variáveis distribuídas. Como exemplo, tem-se o peso de talhas carregadas, ação de um macaco para veículo, peso de uma ou duas pessoas em terças de cobertura ou em degraus, entre outros. Esta carga concentrada deve ser superposta às cargas distribuídas, se necessário.

Em alguns casos, as ações variáveis já incluem os efeitos comuns de impacto. Contudo, devem ser considerados nos projetos, além dos valores estáticos das ações, também os efeitos dinâmicos e/ou impactos causados por elevadores, equipamentos, pontes rolantes, caso sejam desfavoráveis.

As cargas variáveis (inclusive sobrecarga) em pisos e balcões suportados por pendurais devem ser majoradas em 33% para se considerar o impacto.

Em coberturas comuns, não sujeitas a acúmulos de quaisquer materiais, e na ausência de especificação em contrário, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de $0,25\text{KN/m}^2$ (25Kgf/m^2), em projeção horizontal.

As ações provenientes de pontes rolantes devem atender às prescrições do Anexo B da NBR 8800/86 e os valores mínimos recomendados para as ações verticais são apresentados na tabela 2 da NBR 6120/80

(c) Ações excepcionais

São aquelas que possuem uma duração extremamente curta e uma probabilidade de ocorrência muito baixa durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas.

Consideram-se como excepcionais as ações decorrentes de causas tais como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.

(d) Ação do Vento nas Edificações

Na engenharia de estruturas, a análise do vento é feita, primeiramente, para se definir qual o efeito que esta força terá sobre as edificações. O vento pode ser definido como um fluxo de ar médio, sobreposto à flutuações denominadas rajadas ou turbulências. As rajadas apresentam um valor de velocidade do ar superior à média e são responsáveis pelas forças que irão atuar na edificação.

A velocidade do vento a ser considerada no projeto de uma edificação deverá ser avaliada a partir de certos fatores determinados na NBR 6123/88 como:

- Local da edificação;
- Tipo de terreno (plano, aclave, morro, etc.);
- Altura da edificação;
- Rugosidade do terreno (tipo e altura dos obstáculos à passagem de vento);
- Tipo de ocupação.

Estes fatores influenciam a ação do vento sobre a edificação, juntamente com as suas dimensões. A aleatoriedade do vento também deve ser considerada, já que exige não só a necessidade de realizar medições do vento natural, como adotar também

simplificações para poder validar seus efeitos.

De acordo com BLESSMANN (1989), os efeitos nocivos do vento podem gerar um ou mais dos seguintes danos às edificações:

- Danos estruturais;
- Danos por deformação excessiva de estrutura;
- Danos por ações das pressões;

Neste caso, vidros podem ser rompidos e painéis de revestimento e telhados (telhas e estrutura) arrancados, seja pela ação preponderante de fortes sobrepressões ou sucções externas ou pela ação conjunta de sobrepressões internas e sucção externa ou vice-versa.

- Danos por fragmentos lançados pelo vento;
- Desconforto dos usuários devido a ruído de janelas que trepidam, vibração de brises e o próprio ruído do vento devido à oscilação da edificação ou então devido a má estanqueidade das vedações, potencializada pelas pressões de vento;
- Desconforto dos transeuntes à movimentação de pó, areia, folhas, penetração de chuva no edifício, ruído entre outros, devido às altas velocidades do vento próximo ao terreno onde a edificação se encontra.

4.3.2.1.2. Método dos Estados Limites

O Método dos Estados Limites foi a primeira tentativa real de se organizar todos os aspectos relativos à análise de estruturas, como as especificações de ações e a análise da segurança.

É um método onde se determina uma situação limite, acima da qual um elemento da estrutura se torna inutilizável (Estado Limite de Utilização), ou acima da qual será considerado inseguro (Estado Limite Último). Desta forma, se uma parte do sistema estrutural é considerada inadequada para o uso ou deixa de cumprir com uma das finalidades a que foi determinada, esta atingiu um estado limite.

O conceito de segurança, então, passa a ser definido como a capacidade que uma estrutura apresenta de suportar as diversas ações que vierem a solicitá-la durante a sua vida útil, sem atingir qualquer estado limite.

(a) Estados limites últimos

Os estados limites últimos estão relacionados com o esgotamento da capacidade portante da estrutura, ou seja, com o seu colapso real ou convencional. O estado limite último também pode ocorrer devido à sensibilidade da estrutura aos efeitos da repetição das ações, do fogo, de uma explosão, etc.

Podem ser originados, em geral, por um ou vários dos fenômenos a seguir:

- Perda da estabilidade de uma parte ou conjunto da estrutura, assimilada ao corpo rígido. Exemplos: tombamento, arrancamento de fundações entre outros;
- Perda da estabilidade de uma parte ou conjunto da estrutura devido à deformação;
- Colapso da estrutura, ou seja, transformação da estrutura original em uma estrutura parcial ou totalmente hipostática por plastificação;
- Deformações elásticas ou plásticas, que provoquem uma mudança de geometria que exija uma substituição da estrutura;
- Perda de capacidade de sustentação por parte dos elementos da estrutura, ruptura de seções por ter sido ultrapassada a resistência do material, sua resistência a flambagem, a fadiga, etc;
- Grandes deformações, transformação em mecanismo, instabilidade global.

(b) Estados limites de utilização

Os estados limites de utilização são aqueles relacionados à interrupção da utilização normal da estrutura, aos danos e a sua deterioração. A ocorrência de um estado limite de utilização pode prejudicar a aparência, a possibilidade de manutenção, a durabilidade, a funcionalidade e o conforto dos ocupantes de um edifício, bem como causar danos a equipamentos e materiais de acabamento vinculados ao edifício.

Podem ser originados, em geral, por um ou vários dos seguintes fenômenos:

- Deslocamentos excessivos, sem perda de equilíbrio;
- Deformações excessivas que afetem a utilização normal da construção ou seu aspecto estético, como flechas ou rotações;
- Danos locais excessivos que afetam a utilização, aparência ou a durabilidade da estrutura como fissuração, rachaduras, corrosão, escoamento localizado ou

deslizamento;

- Vibração excessiva que afeta o conforto dos ocupantes da edificação ou a operação de equipamentos.

4.3.2.1.3. Determinação das Ações

A partir da consideração do Método dos Estados Limites, o dimensionamento de uma estrutura torna-se um processo que envolve a identificação de todos os modos de colapso ou maneiras pelas quais a estrutura poderia deixar de cumprir as finalidades para as quais foi projetada. Envolve também a determinação de níveis aceitáveis de segurança e a classificação dos estados limites significativos pelo calculista, a fim de se evitar a sua ocorrência.

Este processo consiste, essencialmente, na determinação das ações ou da combinação destas ações, cujos efeitos conduzam a estrutura a um estado limite. O processo deve garantir que a resistência da estrutura seja superior à solicitação a que será submetida e deve considerar um limite mínimo de segurança definido por norma.

(a) Probabilidade de Combinações

Em uma combinação de ações, caso ocorresse apenas uma ação variável, a situação mais desfavorável para um determinado efeito na estrutura seria a utilização do máximo valor dessa ação variável, superposta à ação permanente. Como a maioria das ações atuantes em uma estrutura é variável, usualmente mais de uma ação deste tipo deveriam ser consideradas nas combinações. Então, levando-se em consideração somente a segurança da estrutura, dever-se-ia admitir a possibilidade da ocorrência simultânea dos valores máximos de todas as ações variáveis atuantes no período de recorrência considerado (QUEIROZ, 1988).

No entanto, esta ocorrência é muito improvável, mesmo no caso de apenas duas ações variáveis. A utilização destes valores extremos sem uma análise mais coerente em termos do período provável de recorrência, pode originar estruturas superdimensionadas.

Na figura 4.11 pode-se observar as variações de uma força normal de compressão N em um pilar de um edifício, causada pela carga permanente, pela sobrecarga nos pisos e pelo vento. Ao se fazer a superposição das três ações, percebe-se que a força normal máxima não ocorre devido à superposição dos valores máximos da sobrecarga e do vento à carga permanente (figura 4.12).

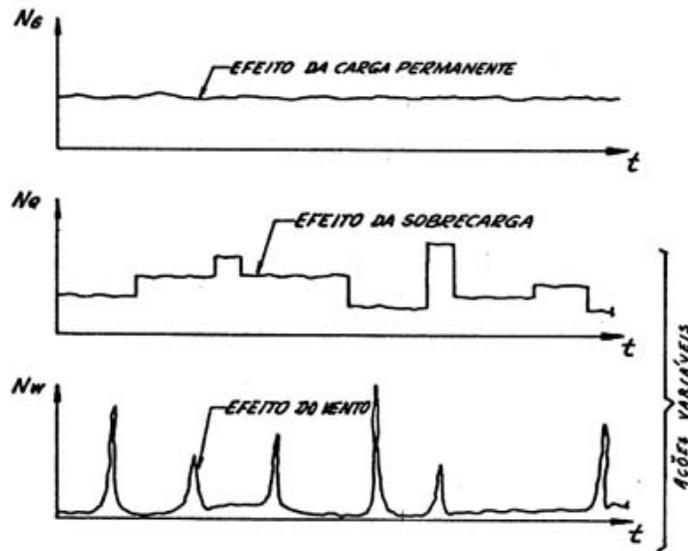


Figura 4.11: Variações da força normal com o tempo.
 Fonte: QUEIROZ, 1988.

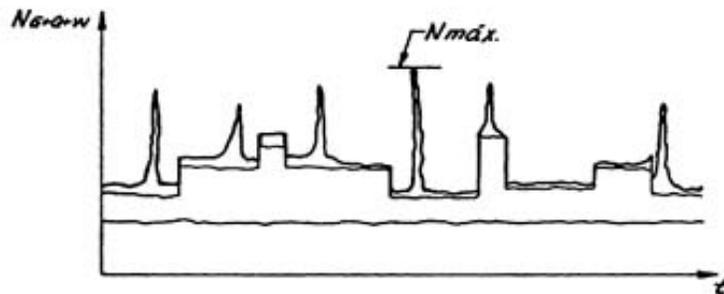


Figura 4.12: Superposição das ações.
 Fonte: QUEIROZ, 1988.

Esta probabilidade remota de ocorrência simultânea de valores máximos de ações variáveis é considerada implicitamente nas normas, através da utilização de coeficientes que minoram as ações variáveis em determinadas combinações, estabelecendo-se o conceito de ações variáveis principais e ações variáveis secundárias.

As normas fornecem os valores nominais das ações, definidos como os valores máximos esperados (com pequena probabilidade de serem superados) durante um período também definido por norma.

Da mesma maneira, através de resultados de ensaios, é possível obter os valores médios e os coeficientes de variação das propriedades mecânicas dos diversos aços estruturais. Esses dados são definidos como os valores mínimos esperados destas

propriedades.

Entretanto, para o dimensionamento da estrutura são considerados os efeitos das ações (esforços solicitantes, tensões, deslocamentos) e as resistências reais dos diversos componentes da estrutura, sob diferentes tipos de solicitação. Ou seja, além das incertezas relativas aos valores nominais das ações e das propriedades mecânicas dos elementos estruturais, surgem outras, tais como:

Devido aos efeitos das ações:

- O cálculo usado para a análise da estrutura real (avaliação consistente do grau de engastamento nos apoios, do grau de rigidez das ligações, da inelasticidade do material devido a tensões residuais, entre outros);
- As condições e formas para a execução da estrutura (comprimento das barras, formas, posições);
- As dimensões das seções transversais (tolerâncias de laminação e de fabricação);

Devido às resistências dos componentes da estrutura:

- Comportamento das peças em cada tipo de colapso (ruptura, flambagem, plastificação);
- Execução da estrutura;
- Dimensões das seções transversais.

À existência destas incertezas, torna-se necessária a utilização dos chamados valores de cálculo das ações e/ou resistências para que se estabeleça a condição de não violar algum estado limite. Esses valores são iguais aos valores nominais já mencionados, porém corrigidos por coeficientes de segurança adequados, determinados por norma, de forma a manter a probabilidade de violação do estado limite em um nível suficientemente baixo.

4.3.2.1.4. Determinação dos Carregamentos

São listados, a seguir, os carregamentos usualmente adotados para o cálculo das combinações em um sistema de cobertura, bem como seus respectivos valores nominais. Nesta fase, o projetista define também quais são os elementos estruturais que suportarão cada uma destas cargas.

Os componentes da cobertura relacionados abaixo podem variar de um sistema para o outro, de acordo com o tipo de empreendimento e as necessidades do cliente.

→ Para as Ações Permanentes

- Peso próprio dos elementos que constituem a estrutura metálica em kgf/m^2 ;
- Peso próprio das telhas – De acordo com os fabricantes, o peso das telhas zipadas varia em função do vão a ser vencido e da espessura da chapa utilizada;
- Mantas para o isolamento térmico (Sub-cobertura);
- Peso da tubulação de ar condicionado;
- Peso da instalação elétrica e iluminação;
- Instalações de combate a incêndio (chuveiro automático);
- Comunicação visual.

→ Para as Ações Variáveis

- Sobrecarga de 25kgf/m^2 , segundo a NBR 8800/86;
- Ações devido ao vento, segundo a NBR 6123/88. A determinação da velocidade característica do vento depende da especificação da velocidade básica e dos fatores S_1 , S_2 e S_3 . Para o sistema de cobertura proposto, adotou-se:
 - Velocidade básica de 40m/s devido à maior utilização comercial, de acordo com o mapa das isopleias;
 - Fator topográfico $S_1 = 1,0$;
 - Fator de rugosidade S_2 para categoria II e classe C;
 - Fator estatístico $S_3 = 1,0$ grupo 2.

4.3.2.1.5. Determinação das Combinações

Para a determinação das solicitações de cálculo e posterior verificação da resistência da estrutura e dimensionamento das peças, deve-se utilizar as seguintes combinações de ações, conforme a NBR 8800/86.

1) $1,4 (CP_1 + CP_2) + 1,5$ Sobrecarga

- 2) $0,9 CP_1 + 1,4 Vt_x$
- 3) $0,9 CP_1 + 1,4 Vt_y$
- 4) $1,4 (CP_1 + CP_2) + 1,5 \text{ Sobrecarga} + (1,4 \times 0,6) Vt_x$
- 5) $1,4 (CP_1 + CP_2) + 1,5 \text{ Sobrecarga} + (1,4 \times 0,6) Vt_y$
- 6) $1,4 (CP_1 + CP_2) + (1,5 \times 0,65) \text{ Sobrecarga} + 1,4 Vt_x$
- 7) $1,4 (CP_1 + CP_2) + (1,5 \times 0,65) \text{ Sobrecarga} + 1,4 Vt_y$
- 8) $1,0 CP_1$
- 9) $1,0 (CP_1 + CP_2)$
- 10) $1,0 Vt_x$
- 11) $1,0 Vt_y$
- 12) Sobrecarga

Sendo que:

Carga permanente, $CP = CP_1 + CP_2$

CP_1 = Peso próprio da estrutura + Peso próprio da telha

CP_2 = Peso próprio do ar condicionado + Sub-cobertura + Instalação elétrica e Iluminação + Chuveiros automáticos.

Vt_x = Componente horizontal da ação do vento;

Vt_y = Componente vertical da ação do vento;

As combinações numeradas de 8 a 12 correspondem às solicitações de cálculo para os estados limites de utilização, em que os coeficientes de ponderação possuem valores iguais a 1,0.

4.3.2.2. Análise e dimensionamento da estrutura

4.3.2.2.1. Generalidades

A análise e conseqüentemente o dimensionamento de barras tubulares são processos trabalhosos visto que a geometria da peça deve respeitar uma combinação de vários parâmetros (SANTOS, 2003). A automação do dimensionamento torna-se então uma opção desejável, já que o processo de cálculo necessita de muitas verificações.

Os procedimentos para a análise numérica do sistema da V&M não diferem daqueles

ultimamente adotados pela Engenharia Estrutural. Hoje em dia, são diversos os programas computacionais existentes que auxiliam nos projetos, reduzindo bastante o tempo necessário para a análise numérica das estruturas.

No sistema em questão, utilizou-se um programa computacional comercial para a análise, o dimensionamento e detalhamento das peças e a verificação quanto à resistência e estabilidade dos elementos e do conjunto.

4.3.2.2.2. Análise Numérica

Após a indicação dos carregamentos e obtenção das solicitações de cálculo, é definido o pré-dimensionamento dos elementos estruturais que se pretende utilizar, adotando-se uma estimativa das espessuras e dos diâmetros dos tubos para que a estrutura seja modelada no programa.

Este conjunto de dados é então inserido no programa, juntamente com as alturas e comprimentos das peças e as características do aço escolhido. A partir da modelagem e dos dados iniciais fornecidos, o programa calcula os valores das solicitações axiais (tração ou compressão), para cada elemento das treliças, de acordo com cada uma das combinações de ações.

O processo de dimensionamento torna-se interativo, na medida que, em um curto espaço de tempo, todos os esforços atuantes na estrutura são apresentados em função do pré-dimensionamento adotado. Caso a estrutura não apresente bons resultados, novas dimensões são inseridas e analisadas, e assim sucessivamente.

4.3.2.2.3. Comportamento das ligações

Segundo SANTOS (2003), o estudo do comportamento das ligações em estruturas compostas por perfis tubulares é de extrema importância, uma vez que provocam tensões nos tubos que devem ser avaliadas de forma a possibilitar a elaboração de projetos otimizados.

Neste tópico pretende-se abordar, de forma generalizada, o comportamento das ligações em estruturas tubulares, apontando as principais formas de colapso destes elementos. Recomenda-se ainda a leitura das Normas, textos e dissertações que tratam deste assunto de forma mais específica, como o Eurocode 3, PACKER (1997), WARDENIER (2000), SANTOS (2003), entre outros. O item 7 da NBR 8800/86 apresenta as condições específicas para o dimensionamento de ligações em geral.

Nas estruturas que utilizam perfis tubulares de seção circular, as ligações entre as peças são realizadas por meio de dispositivos de extremidade para ligações parafusadas, chapas, conectores especiais ou pela união direta das barras secundárias na parede da barra principal. No caso de treliças planas, o objetivo principal das ligações de extremidade das barras é desenvolver a resistência à tração ou à compressão necessária à estrutura, sem enfraquecer o perfil no qual estão conectadas.

Para o entendimento apropriado do comportamento das ligações entre perfis tubulares, é importante considerar-se a transmissão dos esforços, a distribuição da resistência interna na conexão e os efeitos das propriedades do material (WARDENIER, 2000).

A transmissão dos esforços indica os possíveis locais de colapso da ligação, enquanto a distribuição da resistência, combinada com o comportamento do material, determina o modo de colapso da ligação nesses locais. Os modos de colapso mais comuns ocorrem nas chapas que estão ligadas aos tubos (figura 4.13), nas soldas que fazem a ligação dos elementos (figura 4.14), na face superior do tubo que recebe o elemento de ligação por fratura lamelar (figura 4.15) ou por puncionamento da parede (figura 4.16) e nas paredes laterais do tubo (figura 4.17).

Os critérios geralmente utilizados para a caracterização de um colapso são:

- Resistência ao carregamento último;
- Limite de deformação;
- Aparecimento de trincas (observação visual).

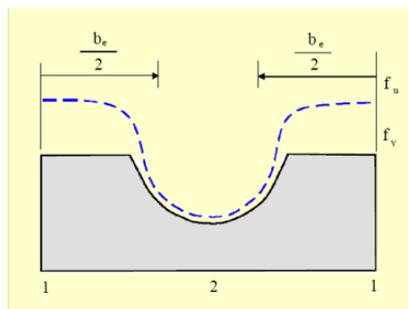


Figura 4.13: Colapso na chapa. Fonte: WARDENIER, 2000.

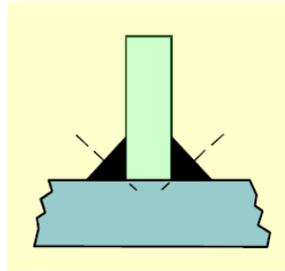


Figura 4.14: Colapso na solda
Fonte: WARDENIER, 2000.

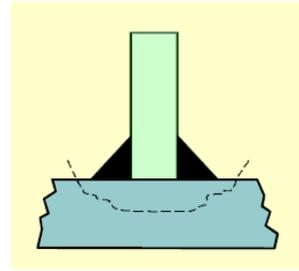


Figura 4.15: Fratura lamelar na face superior do tubo. Fonte: WARDENIER, 2000.

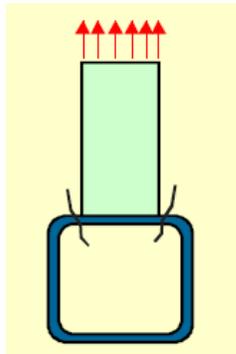


Figura 4.16: Puncionamento por cisalhamento na face superior do tubo. Fonte: WARDENIER, 2000.

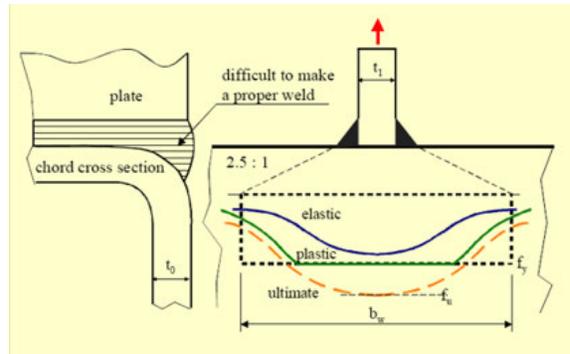


Figura 4.17: Colapso na parede lateral do banzo.
Fonte: WARDENIER, 2000.

Deve-se verificar ainda o esmagamento dos elementos de contato, o colapso por rasgamento das chapas e o cisalhamento dos parafusos.

(a) Ligações soldadas entre perfis tubulares de seção circular

Os perfis tubulares de seção circular podem ser conectados de diversas maneiras. Entretanto, a solução mais simples e que envolve menor quantidade de material é a ligação direta através de solda.

A transmissão das forças neste tipo de ligação é considerada complexa devido à distribuição não linear da resistência ao longo do perímetro das diagonais que estão conectadas aos banzos. As regras de cálculo são, portanto, baseadas em modelos analíticos simplificados, combinados com evidências experimentais o que resulta em fórmulas de cálculo semi-empíricas.

Para as ligações soldadas entre perfis tubulares de seção circular, as possíveis formas globais de colapso são apresentadas na figura 4.18, além daquelas ilustradas pelas figuras 4.14 e 4.15.

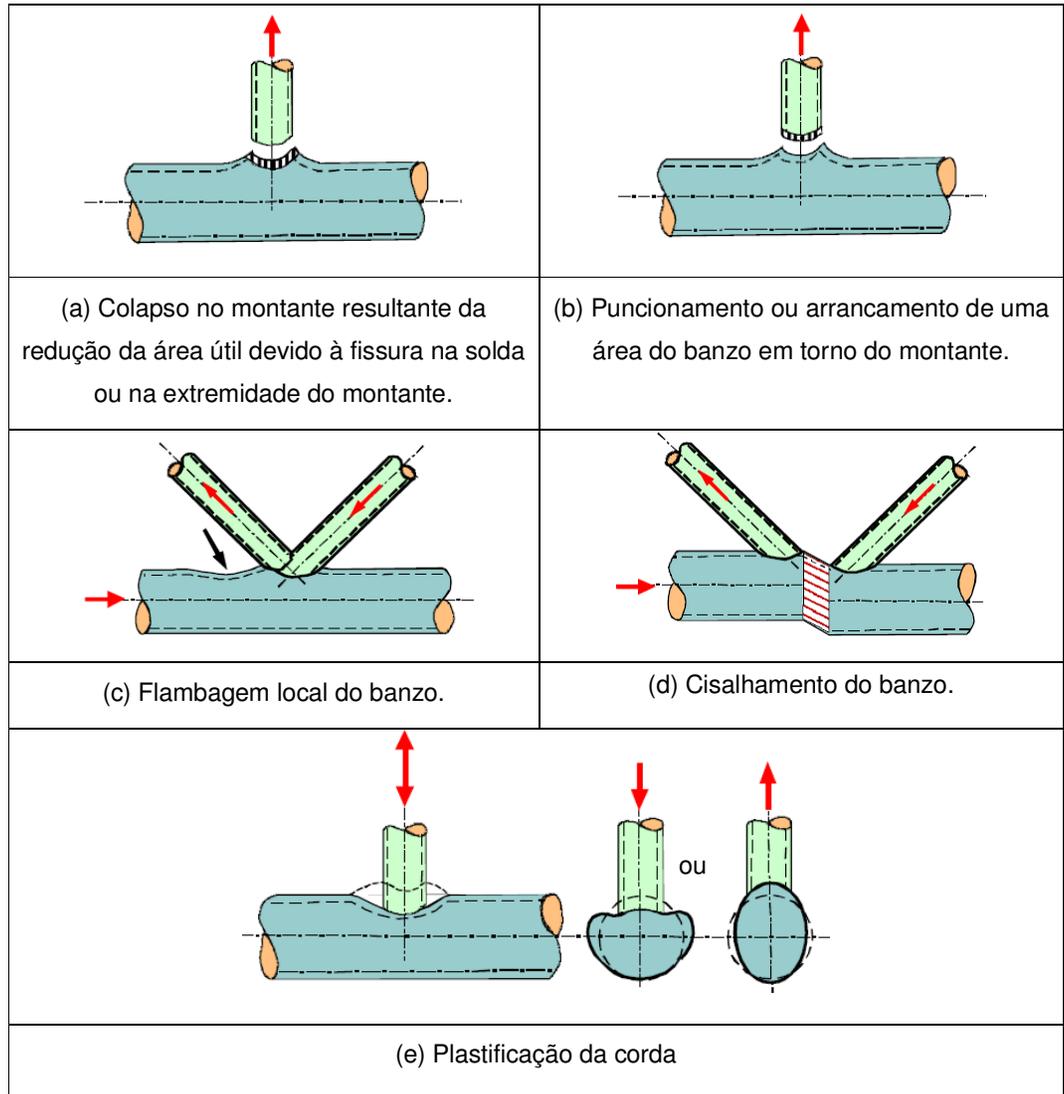


Figura 4.18: Modos de colapso em ligações soldadas nos perfis tubulares de seção circular.
 Fonte: WARDENIER, 2000.

No caso de ligações K e N, a forma predominante de colapso é a plastificação do banzo (figura 4.19), similar ao tipo A em perfis retangulares e quadrados, embora a flambagem local da parede do banzo sob o montante comprimido seja também uma possibilidade (PACKER, 1997).

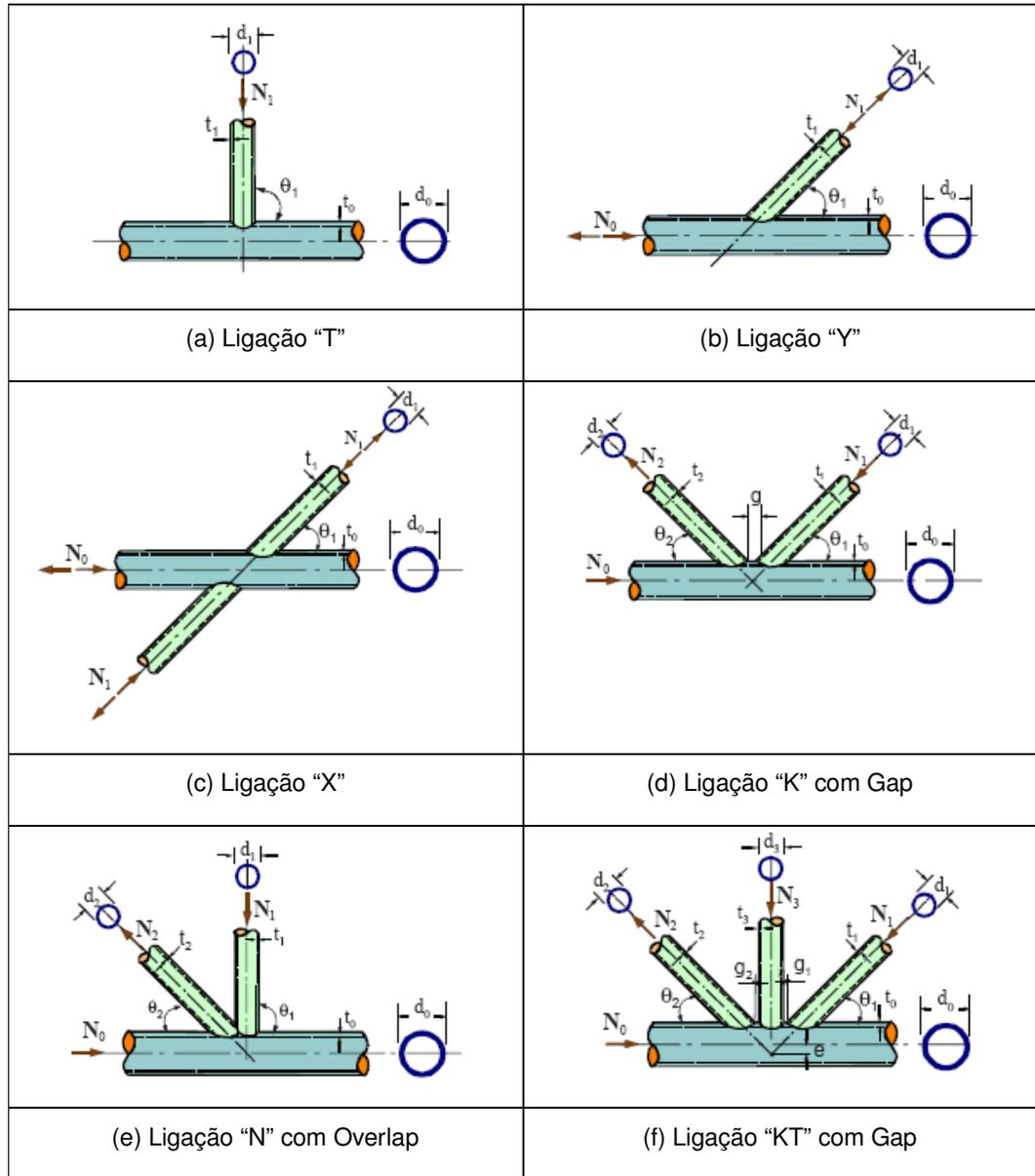


Figura 4.19: Exemplos de ligações diretas entre perfis tubulares de seção circular.
Fonte: WARDENIER, 2000.

(b) Ligações entre tubos utilizando chapas

De acordo com SANTOS (2003), a utilização de chapas nas ligações com perfis tubulares (figura 4.20) ocorre devido às seguintes razões:

- Possibilita o comprimento adicional de solda de filete no tubo, devido a sua maior facilidade de utilização se comparada à solda com 100% de penetração

em tubos, cuja parede geralmente é mais espessa.

- Permite o corte de barras menores e suporta toda a carga proveniente destas barras, descarregando na barra principal (banzo).

A distribuição de tensões nas chapas neste tipo de ligação não acontece de forma homogênea. Este fato necessita de um estudo rigoroso através do desenvolvimento de modelos analíticos que devem ser confrontados com resultados experimentais, de forma a possibilitar uma melhor compreensão do comportamento desta distribuição e otimizar o dimensionamento.



Figura 4.20: Ligação com chapa de gusset. Montagem de estrutura em perfil tubular na Fábrica da Brafer, Araucária/PR.
Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

(c) Ligações parafusadas

São diversos os tipos de ligações parafusadas existentes e os métodos de cálculo utilizados em perfis tubulares são basicamente os mesmos utilizados nas ligações entre outros tipos de perfis metálicos.

O cálculo para os elementos tracionados baseia-se nos seguintes modos de colapso:

- Escoamento da seção bruta
- Ruptura da seção líquida efetiva.

Em ligações parafusadas que utilizam a chapa de gusset, deve ser verificada a flambagem da chapa caso esteja sob compressão.

Nas ligações entre flanges, deve-se ter especial atenção quanto ao efeito “prying”. Os

flanges são formados por duas placas soldadas nas extremidades dos tubos, que se unem por meio de parafusos (figura 4.21). Neste tipo de ligação deve-se observar a possível ocorrência de flexão das peças devido às forças de tração que atuam nos perfis. Caso a flexão ocorra, a força de contato (efeito “prying”) entre os flanges aumentará a força total do parafuso em relação à tração aplicada, fazendo com que o comportamento desta ligação fique mais complexo (SANTOS, 2003).

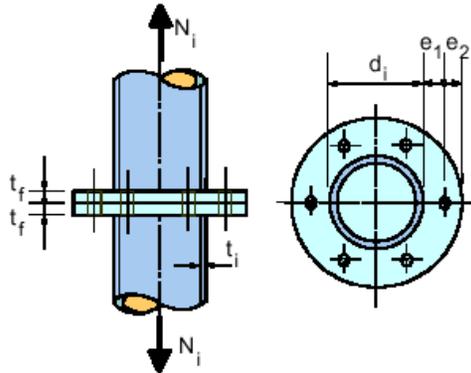


Figura 4.21: Ligação entre flanges.
Fonte: WARDENIER, 2000.

Além destes procedimentos, é de extrema importância a verificação das resistências dos parafusos, arruelas e porcas, bem como a pressão de contato nas chapas.

4.3.2.3 Detalhamento do Projeto

Segundo BELLEI (1994), o detalhamento do projeto é uma das etapas mais importantes no processo construtivo, pois o bom desempenho da fabricação e da montagem dependem de um projeto e detalhamento criteriosos.

A estrutura em aço, por ser executada através de processos industriais, necessita que os seus elementos e ligações sejam detalhados separadamente ou agrupados, para que se viabilize a sua fabricação e montagem conforme previsto em projeto.

Na etapa de detalhamento, deve-se verificar todo o projeto, os elementos componentes das ligações e suas resistências, de forma a se evitar o retrabalho e surpresas em campo, como reforços em ligações (figura 4.22) e a necessidade de se realizar soldas não planejadas no momento da montagem.

Para o sistema de cobertura em estudo, acredita-se que o aperfeiçoamento da estrutura e das ligações acontecerá mediante contínuos estudos e através de experiências adquiridas nas aplicações do sistema. Este aprimoramento surge já no

próprio conceito do protótipo, que se trata de um produto fabricado individualmente, segundo as especificações de um projeto para fabricação em série, com o propósito de servir de teste antes da fabricação em escala industrial ou da comercialização.



Figura 4.22: Reforço do nó na treliça tubular.
Fonte: Arquivo Pessoal, 2005.

CAPÍTULO 5

SISTEMA PADRÃO V&M DO BRASIL

5.1 – INTRODUÇÃO

A abordagem histórica dos sistemas de grandes vãos, as vantagens do uso de perfis tubulares nestes sistemas e os parâmetros apresentados nesta dissertação tem por objetivo o conhecimento de todas as características inerentes ao tema proposto. Além da possibilidade de inserção e interação com os aspectos envolvidos, buscou-se levantar dados relevantes em relação às estruturas de cobertura de grandes vãos e seus sistemas complementares.

Assim, esta etapa da dissertação visa à apresentação do sistema de cobertura para grandes vãos em perfil tubular de seção circular, que está sendo desenvolvido pela Vallourec & Mannesmann do Brasil (V&M) em parceria com a Engipar (São Paulo - SP) e com a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). O objetivo foi o de se criar um sistema tubular pré-engenhado, que atendesse a todos os requisitos já listados e que fosse capaz de competir com os melhores sistemas existentes. Para tal, além de oferecer o melhor custo/benefício, era importante estabelecer atrativos para o produto, a partir do levantamento das carências detectadas nos sistemas atuais.

É importante citar que o sistema está em fase de desenvolvimento e algumas soluções definitivas ainda estão por vir. Acredita-se também que o aperfeiçoamento do produto virá através da experiência adquirida nos diversos empreendimentos em que pode ser utilizada.

Outro ponto importante de se observar é que, no andamento dos estudos, houve a preocupação em se participar do processo ao fornecer informações relevantes em termos de diretrizes e de projeto, principalmente o arquitetônico e de detalhamento.

5.2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

A modulação do sistema estrutural de cobertura, proposto pela Vallourec & Mannesmann do Brasil, leva em consideração todos os parâmetros apresentados anteriormente e foi fruto de uma pesquisa extensa, envolvendo diversos profissionais de várias áreas relacionadas com o tema.

Definiu-se, inicialmente, por um sistema em que as vigas principais e vigas secundárias são treliças planas, compostas por perfis tubulares de seção circular. A opção da V&M por treliça plana ocorreu devido a uma série de fatores.

Na pesquisa realizada pela Engipar perguntou-se aos profissionais se, em algum momento da carreira, já haviam utilizado os perfis tubulares em empreendimentos de grandes coberturas, com comentários das vantagens e desvantagens do uso. O resultado obtido está demonstrado no gráfico apresentado na figura 5.1.

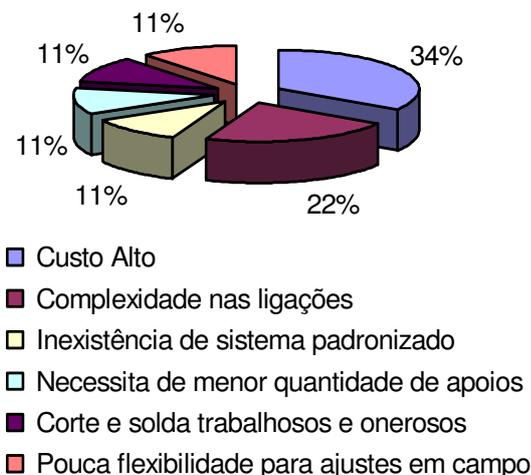


Figura 5.1: Utilização dos perfis tubulares em grandes coberturas:
Vantagens e desvantagens

De acordo com as respostas obtidas, todos os profissionais já haviam utilizado perfis tubulares. Mas a relevância neste ponto da pesquisa foi a constatação de que todos pautaram suas respostas nas suas experiências em estruturas de cobertura com treliças tubulares espaciais e direcionaram a elas as vantagens e desvantagens de seu uso. Ou seja, não há indícios na pesquisa do uso ou especificação de algum

sistema de cobertura para grandes vãos que utilize o perfil tubular, a não ser em treliças espaciais.

Para o sistema em estudo, como mencionado no capítulo 2, não seria interessante criar uma estrutura utilizando esta configuração, pois geralmente são sistemas que possuem uma grande quantidade de peças e conseqüentemente de ligações, como mostra a figura 5.2. Desse modo, o processo fabril torna-se moroso devido ao trabalho de corte, solda e/ou amassamento das pontas dos tubos, o que pode onerar a estrutura em seu custo final.



Figura 5.2: Nó de treliça espacial.
Detalhe da cobertura do Centro de Eventos Expominas, em Belo Horizonte, MG.
Fonte: Arquivo pessoal, 2004.

Observa-se, portanto, a uma inexistência no mercado de um sistema de cobertura padronizado em treliça plana formada por tubos, o que constitui um diferencial para o produto da V&M.

As justificativas para o uso das treliças planas são pertinentes. Ao se considerar as propriedades estáticas das seções tubulares sob esforços axiais de compressão e tração, bem como a eficiência na estabilidade lateral devido à sua grande rigidez torsional, percebe-se que o tubo é altamente satisfatório para a aplicação em vigas treliçadas (DUTTA et al, 1998). O cálculo, razoavelmente simples em comparação a outros sistemas, é determinado principalmente pelo vão a se alcançar, altura e geometria da peça e pela distância entre os nós. A altura da peça é determinada em função do vão, das cargas e pela flecha máxima permitida.

Em relação ao sistema de proteção contra incêndio, o uso de vigas treliçadas na cobertura permite maior maleabilidade quanto ao posicionamento dos chuveiros automáticos e as distâncias entre os chuveiros e os suportes de fixação, independente da classe de risco de ocupação do empreendimento, pois não há necessidade de se fazer recortes para passagem das tubulações. O mesmo ocorre para as instalações elétricas, hidráulicas, de ar condicionado e de comunicação visual.

Em coberturas, a disposição dos montantes e das diagonais pode originar treliças de maior ou menor eficiência, a depender da inclinação do telhado em termos de consumo de material. Entretanto, a eficiência do sistema não pode ser relacionada apenas ao peso total da treliça. Como citado anteriormente, é necessário observar que o número de ligações (ou nós) da treliça influenciará no custo e tempo de fabricação. Desta forma, foi adotada para as vigas principais e secundárias do sistema a treliça tipo Warren, por proporcionar não só uma boa solução em termos arquitetônicos, mas também por ser mais econômica em relação aos outros tipos. A treliça tipo Warren possui um número menor de diagonais, conseqüentemente de conexões, como se pode observar na figura 5.3, o que diminui o custo de fabricação da peça.

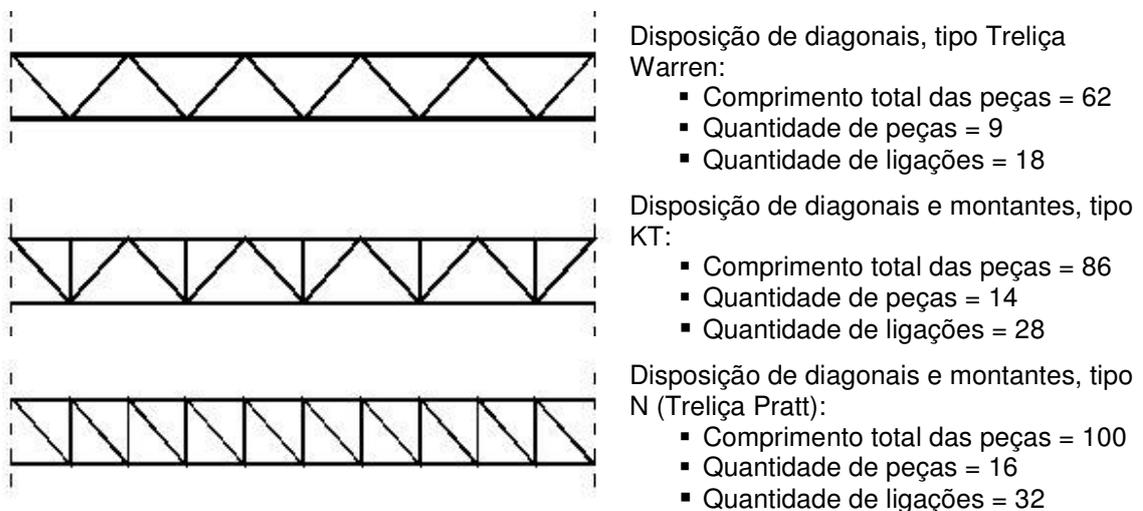


Figura 5.3: Comparação entre os tipos de treliças mais usuais, quanto à quantidade de peças.
Fonte: Adaptada de DUTTA et al., 1998.

Quanto à altura das vigas principais e terças, a relação altura/vão é de aproximadamente $L / 16$, onde L é o comprimento do vão.

As ligações entre diagonais e banzos das treliças (figuras 5.4 e 5.5) foram executadas com “gap” (afastamento entre os pontos de encontro das diagonais com o banzo, vide figuras 5.4 e 5.5), mais econômicas do ponto de vista de fabricação.

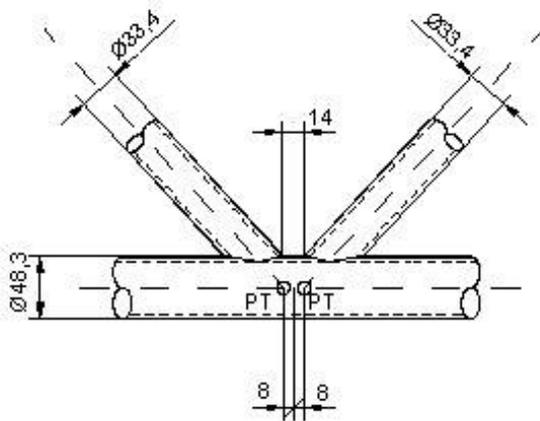


Figura 5.4: “Gap” da terça
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

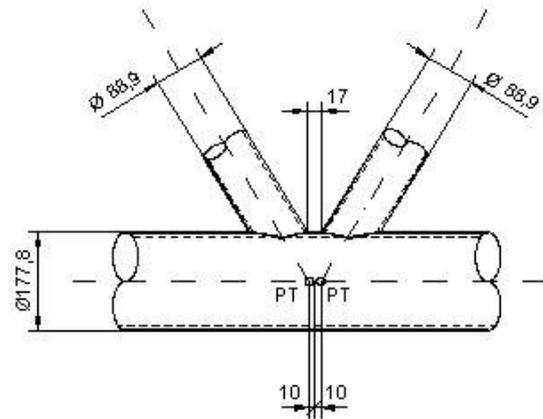


Figura 5.5: “Gap” da treliça principal
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

No caso de perfis tubulares, segundo PACKER e HENDERSON (1997), o projetista deve ter em mente certos aspectos práticos, como também algumas considerações sobre os detalhes que influenciam no custo de estruturas treliçadas.

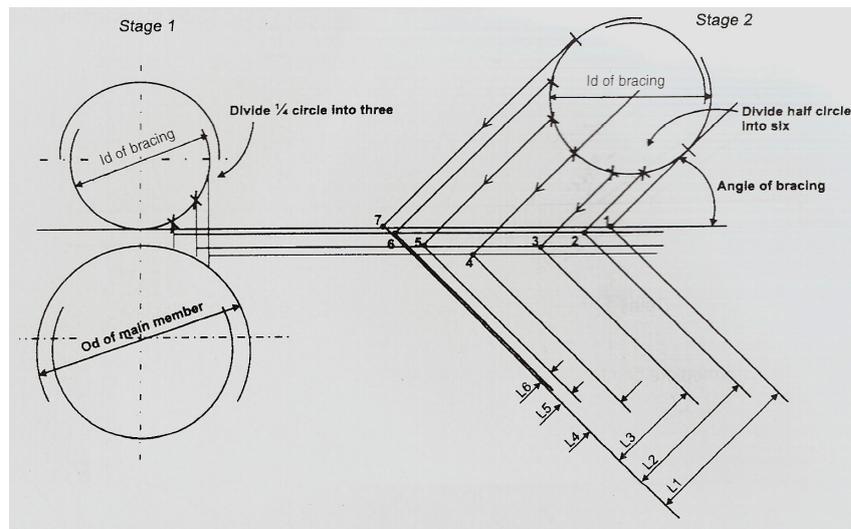
A princípio, a fabricação de estruturas em seção tubular circular é mais complexa em relação àquelas de seção retangular ou quadrada, em função do tipo de ligação necessária. As ligações diretas entre perfis tubulares circulares necessitam do corte “boca de lobo”, que consiste no perfil de corte tridimensional curvo (figuras 5.6 e 5.7 a, b).



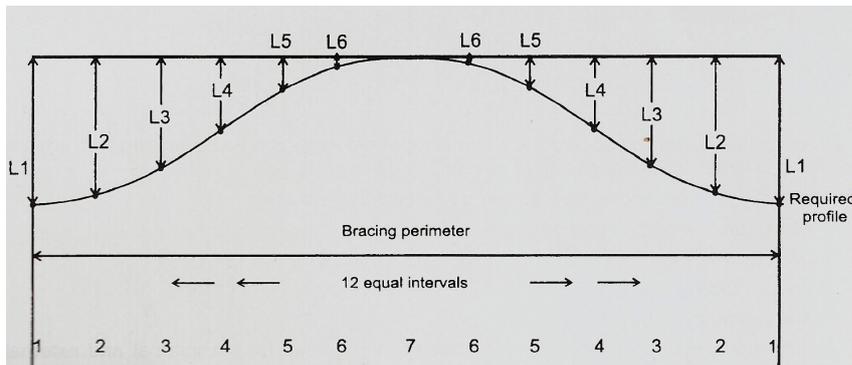
Figura 5.6: Ligação direta entre tubos através do corte “boca de lobo”, Fábrica Açotubo - SP.
Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

Segundo os fornecedores de estrutura metálica, há uma certa dificuldade na fabricação de elementos estruturais utilizando perfis tubulares de seção circular, já que os equipamentos necessários para a realização deste corte não estão disponíveis na maioria das fábricas. Esta dificuldade acaba por aumentar a demanda por mão-de-obra mais qualificada, resultando em custo mais elevado se comparado à fabricação

de estruturas com perfil tubular de seção retangular ou quadrada.



(a)



(b)

Figura 5.7 a, b: Procedimento usual para a execução manual do corte “boca de lobo”.
Fonte DUTTA et al, 1998.

Entretanto, atualmente o custo de produção dos tubos de seção quadrada e retangular no Brasil chega a ser 15% mais caro que o tubo de perfil circular. O processo que dá origem a estes é secundário na linha de produção da fábrica. Usam-se, como “matéria-prima”, tubos de seção transversal circular, produzidos por laminação a quente, que são conformados a frio como perfis de seção quadrada ou retangular por meio de máquinas perfiladoras (figuras 5.8 e 5.9).

Assim, optou-se pelo perfil tubular de seção circular para os elementos estruturais, apesar da fabricação da estrutura ser possivelmente mais onerosa para empresas de pequeno e médio porte. Entretanto, a condição inicial proposta para este sistema é o seu processamento em uma “célula de fabricação”, que será implantada na Usina Barreiro em Belo Horizonte. A intenção é a de se aparelhar esta célula de fabricação

com todo o maquinário necessário para a realização de cortes e soldas, tanto para tubos de seção circular quanto para tubos de seção retangular ou quadrada. Ou seja, a grande quantidade de peças e o alto índice de repetitividade, aliados a procedimentos de fabricação racionalizados, contribuirão para a redução do custo final da estrutura.



Figura 5.8: Quadradora de tubos V&M do Brasil, Belo Horizonte – MG.
Fonte: GERKEN, 2003.



Figura 5.9: Sistema perfilador cabeça turca V&M do Brasil, Belo Horizonte - MG.
Fonte: GERKEN, 2003.

Mas esta não é uma solução definitiva. Como foi colocado no início, trata-se de um produto em desenvolvimento e, a depender dos estudos e do seu custo final, pode-se decidir pela conveniência de modificar-se o sistema, passando-se a utilizar perfis de seção quadrada ou retangular.

5.3 – DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A estrutura de cobertura foi idealizada como um produto padronizado e industrializado, que busca contemplar uma série de fatores, já mencionados, relacionados à modulação e ao processo construtivo. É constituída pelos elementos citados abaixo:

- Vigas principais (VP);
- Vigas secundárias ou terças (VMJ);
- Correntes para travamento das vigas secundárias;
- Contraventamentos horizontais no plano da cobertura;
- Pilaretes de ligação das vigas principais e vigas secundárias ou terças de extremidade.

As siglas comerciais VP e VMJ (Vallourec & Mannesmann Joist) foram criadas para

facilitar a identificação das peças.

O esquema estático da estrutura foi determinado segundo o desenvolvimento dos cálculos. O dimensionamento da peças foi realizado de maneira a encontrar o melhor arranjo estrutural para se obter o menor peso. De acordo com os primeiros estudos, o valor da relação peso/vão do sistema é de 16kg/m^2 . Procurou-se também dimensionar as peças de tal forma a não dificultar os procedimentos de fabricação, de transporte e montagem.

No desenvolvimento do sistema, foram previstas possibilidades de ampliação das edificações, tanto no sentido transversal como longitudinal, sem alteração do dimensionamento da estrutura do módulo padrão. Esta ampliação é possível através de uma pequena variação dos pilaretes e do posicionamento das chapas que estão fixadas nos banzos das vigas principais e secundárias.

Os tubos da estrutura são em aço com resistência à corrosão atmosférica (também conhecidos como aços patináveis), com limite de escoamento igual a 350MPa. Para as chapas de ligação e perfis dobrados utilizou-se o aço ASTM A242, também anticorrosivo. As barras redondas são em aço ASTM-A36 e os parafusos, galvanizados, SAE 1020. A vantagem do aço patinável, além de dispensar a pintura em certos ambientes, é possuir uma resistência mecânica maior que a do aço comum. Além disso, caso os elementos tubulares apresentem alguma falha na vedação de suas extremidades, o aço patinável poderá garantir maior segurança quanto à corrosão interna do tubo, a depender do ambiente em que está inserido.

A pintura eletrostática aplicada à estrutura, além de oferecer melhor acabamento final, torna-se necessária para proteção quanto à corrosão em ambientes agressivos, onde a pátina protetora não pode ser formada em sua plenitude devido aos ciclos de umedecimento e secagem inconstantes. É também utilizada para se evitar, a longo prazo, a corrosão galvânica entre o aço patinável e os elementos galvanizados.

5.3.1 - Vigas Principais

A estrutura de cobertura foi concebida a partir de uma viga principal em forma de treliça plana, com altura total igual a 1,8 metros, composta por dois elementos padronizados de 10m cada, medidos a partir do eixo dos pilares de apoio, perfazendo um comprimento total inicial de 20m. Os elementos são conectados entre si através de flanges soldados nos tubos, com o auxílio de parafusos (figura 5.10).

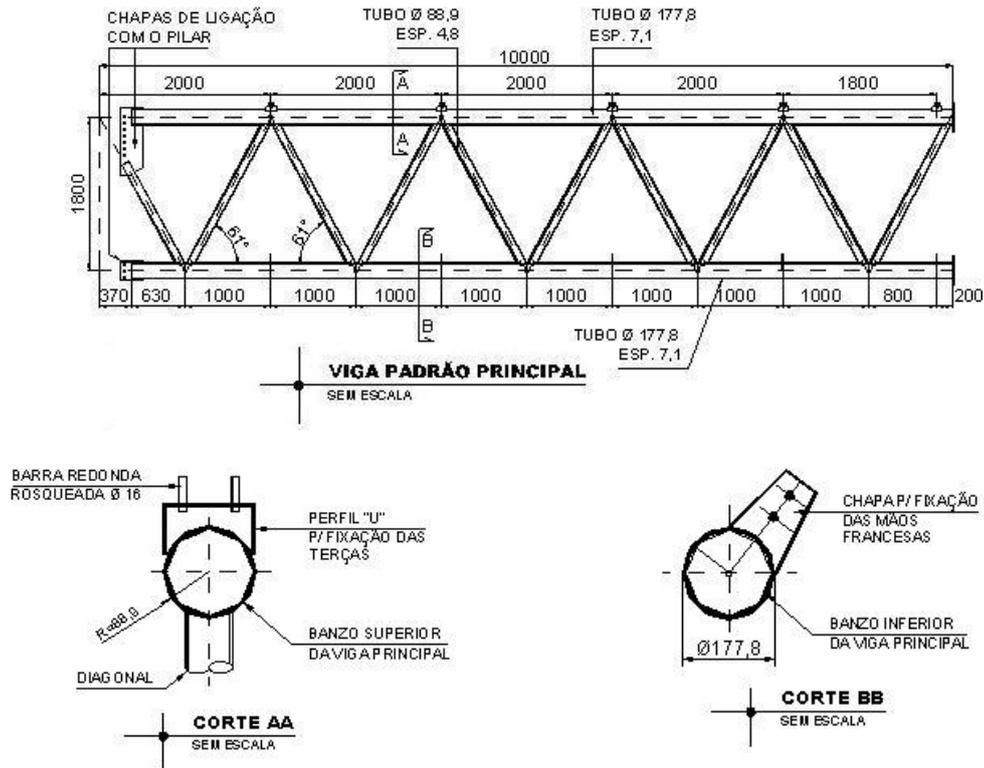


Figura 5.10: Detalhamento da viga padrão principal.
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

Caso seja necessário um vão maior, utiliza-se um elemento central (figura 5.11) de mesma altura que possui comprimentos variáveis de dois, quatro, seis, oito ou dez metros, o que possibilita à viga principal (figura 5.12) alcançar respectivamente, 22, 24, 26, 28 ou 30 metros de vão livre. A viga central possui os mesmos detalhes de ligação da viga padrão principal.

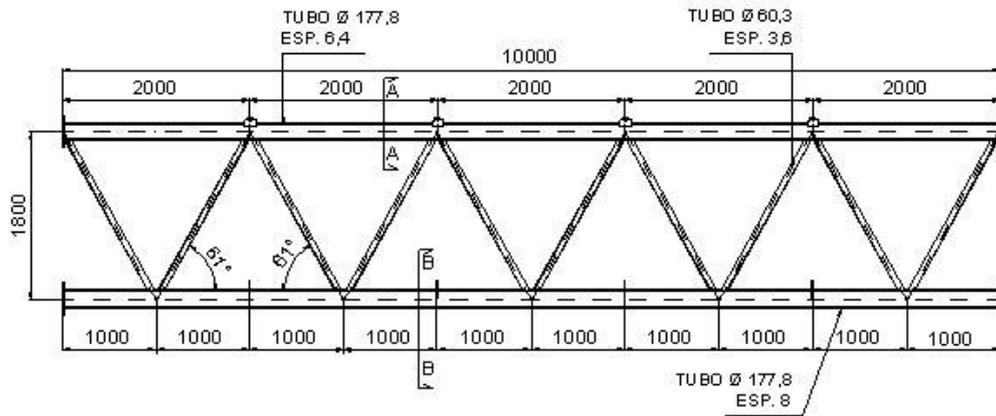


Figura 5.11: Viga treliçada central de 10 metros.
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

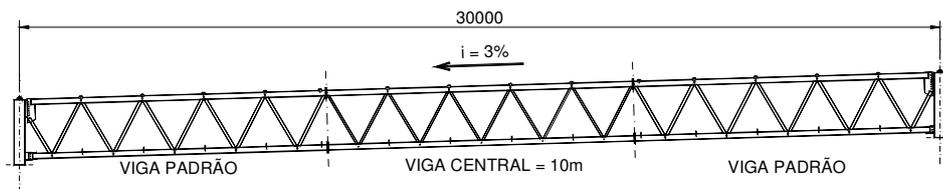


Figura 5.12: Viga treliçada principal.
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

O sistema de cobertura foi projetado para ter somente uma água com inclinação de 3%, de forma a receber, a princípio, a telha metálica zipada. A inclinação das vigas principais é dada pela geometria das chapas que estão soldadas no pilar (figura 5.13). Estas chapas são parafusadas às chapas soldadas aos banzos da treliça principal.

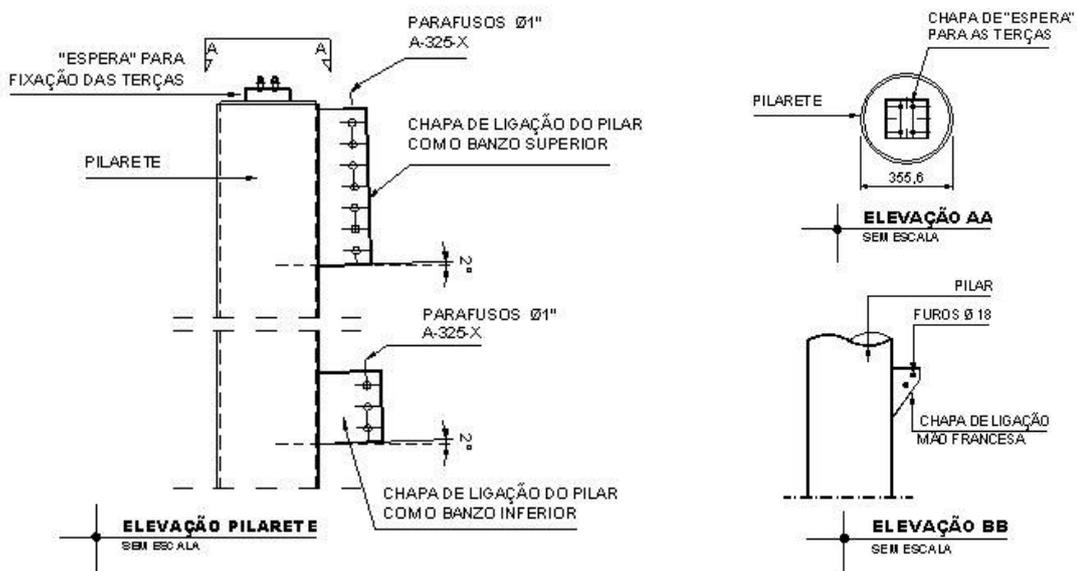


Figura 5.13: Chapas de ligação soldadas no pilar, detalhe de fixação das terças.
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

A opção pela cobertura de uma água em um mesmo módulo foi feita devido a sua simplicidade e aos custos adicionais que uma cobertura de duas águas geraria no produto final. Além do detalhamento de cumeeira, o que aumentaria o número de peças, ligações e o tempo de fabricação e montagem, a cobertura de duas águas necessita do sistema de escoamento pluvial (calhas, rufos, tubos de queda) e do sistema estrutural para o seu suporte nas duas laterais da edificação.

5.3.2 - Vigas Secundárias

Adotou-se o sistema de "joists" para as vigas secundárias ou terças, constituídas por treliças planas tubulares de 900mm de altura, formada por duas peças de 7,5m (figura

5.14) ou 6m cada, de modo a possibilitar a montagem de elementos totalizando 15m (figura 5.15), 12m ou 13,5m de vão livre. São posicionadas, no sistema de cobertura, a cada dois metros, sempre no encontro de diagonais no banzo superior (nós), ao longo da treliça principal. Nesses nós e no topo dos pilares, são soldados perfis tipo “U” invertidos com pinos rosqueados para aparafusar as terças.

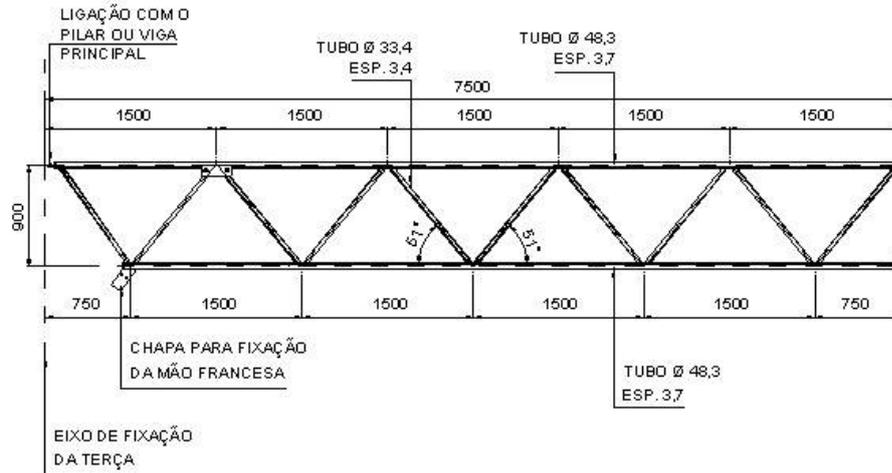


Figura 5.14: Elevação da terça de 7,5m.
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

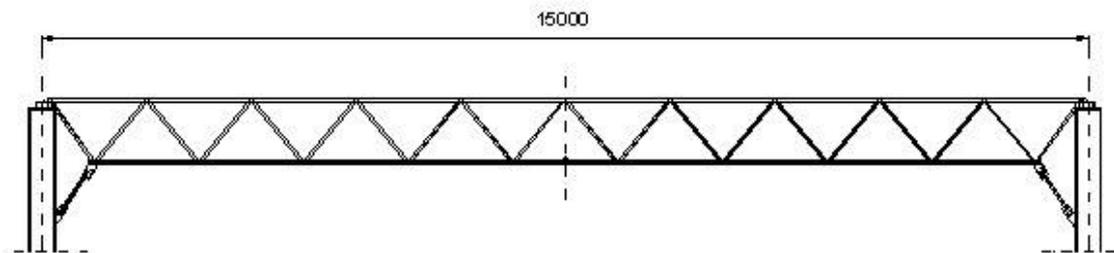


Figura 5.15: Elevação da terça completa de 15m.
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

Estas “esperas” nos pilares e vigas principais foram projetadas, inicialmente, para permitirem também a fixação de outros tipos de terças em perfil aberto.

A distância de dois metros entre terças na cobertura, como já citado, foi determinada de acordo com um conjunto de fatores, desde os cálculos até a definição da melhor geometria. Inclui também o respeito ao espaçamento máximo de 2500mm sugerido pela maioria dos fabricantes de telhas metálicas zipadas.

As diagonais das vigas principais e secundárias foram projetadas de maneira a se obter a dimensão mais econômica e melhor eficiência em relação ao ângulo formado com os banzos. A eficiência da diagonal é avaliada em função do menor esforço

necessário para que a peça esteja em equilíbrio com o carregamento aplicado sobre ela e em função do seu comprimento de flambagem. Este comportamento pode ser facilmente demonstrado, através de uma análise da decomposição das forças no nó “a” da treliça simples mostrada na figura 5.16.

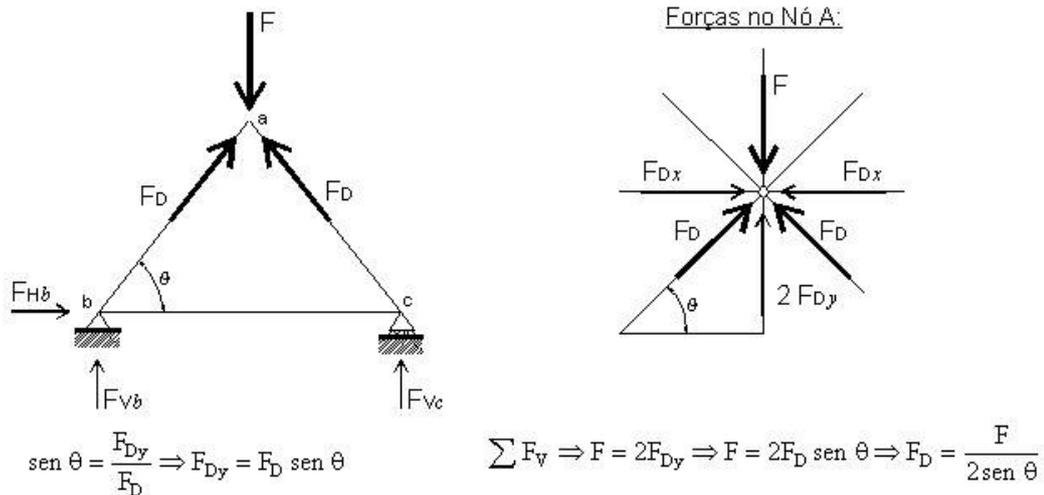


Figura 5.16: Esquema de forças em uma treliça simples

O carregamento F aplicado no nó da treliça, ao ser transmitido para as diagonais (FD), é decomposto em duas parcelas, FD_x e FD_y . As forças horizontais FD_x são auto-equilibradas, enquanto que as componentes verticais FD_y estabelecem o equilíbrio em oposição a F . Verifica-se, então, que a força FD é inversamente proporcional ao seno do ângulo θ .

Assim, quanto menor for o ângulo (θ), maior será o esforço nas barras (FD) e maiores deverão ser as suas componentes verticais (FD_y) para que o equilíbrio seja estabelecido. A quantidade de barras será menor, porém o comprimento de cada uma delas será maior. O contrário acontecerá para ângulos maiores, o que faz com que o projetista procure calcular valores intermediários para a melhor eficiência da peça.

A fixação das terças no banzo inferior da treliça principal é feita através de mãos francesas (figura 5.17), em perfil tubular, parafusadas aos elementos estruturais. A utilização desse tipo de elemento estrutural é necessária pelos seguintes motivos:

- 1) Os carregamentos aplicados na estrutura provocam compressão no banzo superior e tração no banzo inferior da viga principal. Nesta situação, as terças reduzem o comprimento de flambagem do banzo superior, já que estão fixadas a cada dois metros ao longo do seu comprimento. No caso de inversão dos esforços, causado pela combinação das ações do vento, o

banzo inferior, antes tracionado, passa a ser comprimido e as mãos francesas que são conectadas a ele é que reduzem o seu comprimento de flambagem.

- 2) Contribuir com a continuidade das terças de extremidade, no caso de engaste nos pilares metálicos.
- 3) Garantir maior estabilidade da terça no plano vertical, já que possibilita a ligação da terça em mais de um ponto da viga principal.

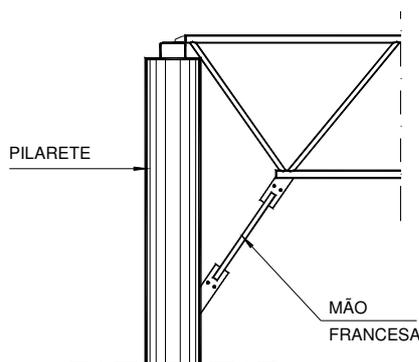


Figura 5.17: Fixação das terças pelo banzo inferior.
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

As mãos francesas possuem diferenças em seu comprimento dependendo da sua localização. Aquelas localizadas nas terças de extremidade são fixadas aos pilaretes que possuem um diâmetro de 355,6mm. O restante das terças está fixado nos banzos inferiores das treliças principais, que possuem diâmetro menor, da ordem de 177,8mm.

5.3.3 - Correntes

Da mesma forma que as treliças principais, as terças necessitam de algum travamento ao longo do seu eixo de menor inércia para a diminuir o comprimento de flambagem dos seus banzos superior e inferior (neste último devido à provável inversão dos esforços). Este travamento é feito através tirantes flexíveis em barra redonda que são introduzidas nos banzos das terças por meio de furos realizados com furadeira e posteriormente parafusadas (figura 5.18).

O travamento das terças também é realizado por alguns tubos que compõem o sistema de contraventamento localizado nas extremidades da cobertura. Estes tubos, dimensionados à compressão, são fixados nas treliças por meio de chapas e posteriormente parafusados.

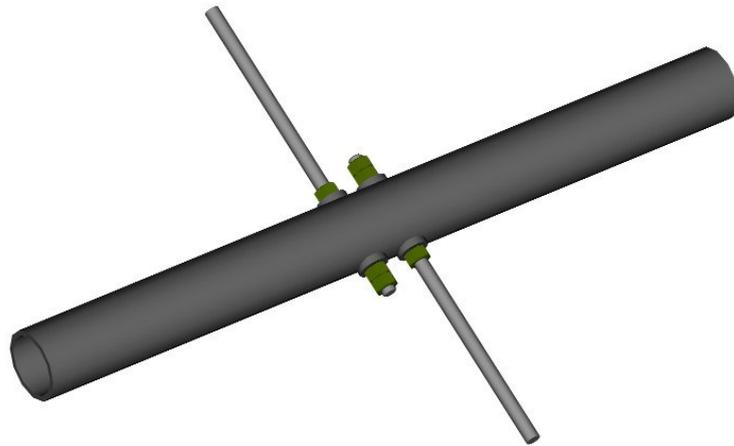


Figura 5.18: Fixação dos tirantes flexíveis nos banzos das terças.
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

5.3.4 - Contraventamentos

Em princípio, a estabilidade horizontal da estrutura é obtida através dos contraventamentos principais de cobertura, dispostos nas extremidades e nos eixos centrais da edificação, no plano do banzo superior. Estas estruturas principais de contraventamento também são utilizadas como elementos de contenção lateral dos nós das terças. O impedimento do deslocamento lateral desses nós é proporcionado pelas correntes, que os ligam ao sistema principal de contraventamento (figura 5.19).

No plano do banzo inferior, estão posicionados outros tirantes os quais são responsáveis pela contenção lateral dos nós inferiores das terças (figura 5.20). Estes tirantes estão conectados aos contraventamentos principais de cobertura, através de um sistema de contraventamento inclinado.

O detalhamento das ligações entre as peças do contraventamento (tubos e barras rosqueadas) sofreu diversas modificações, de forma a obter uma solução prática e econômica em vista da quantidade de material necessária. Entretanto, até o momento a solução adotada ainda não é satisfatória. A peça possui muitos elementos o que a torna complexa para a fabricação devido às soldas e aos cortes necessários, além de contribuir negativamente para a estética da estrutura (figura 5.21).

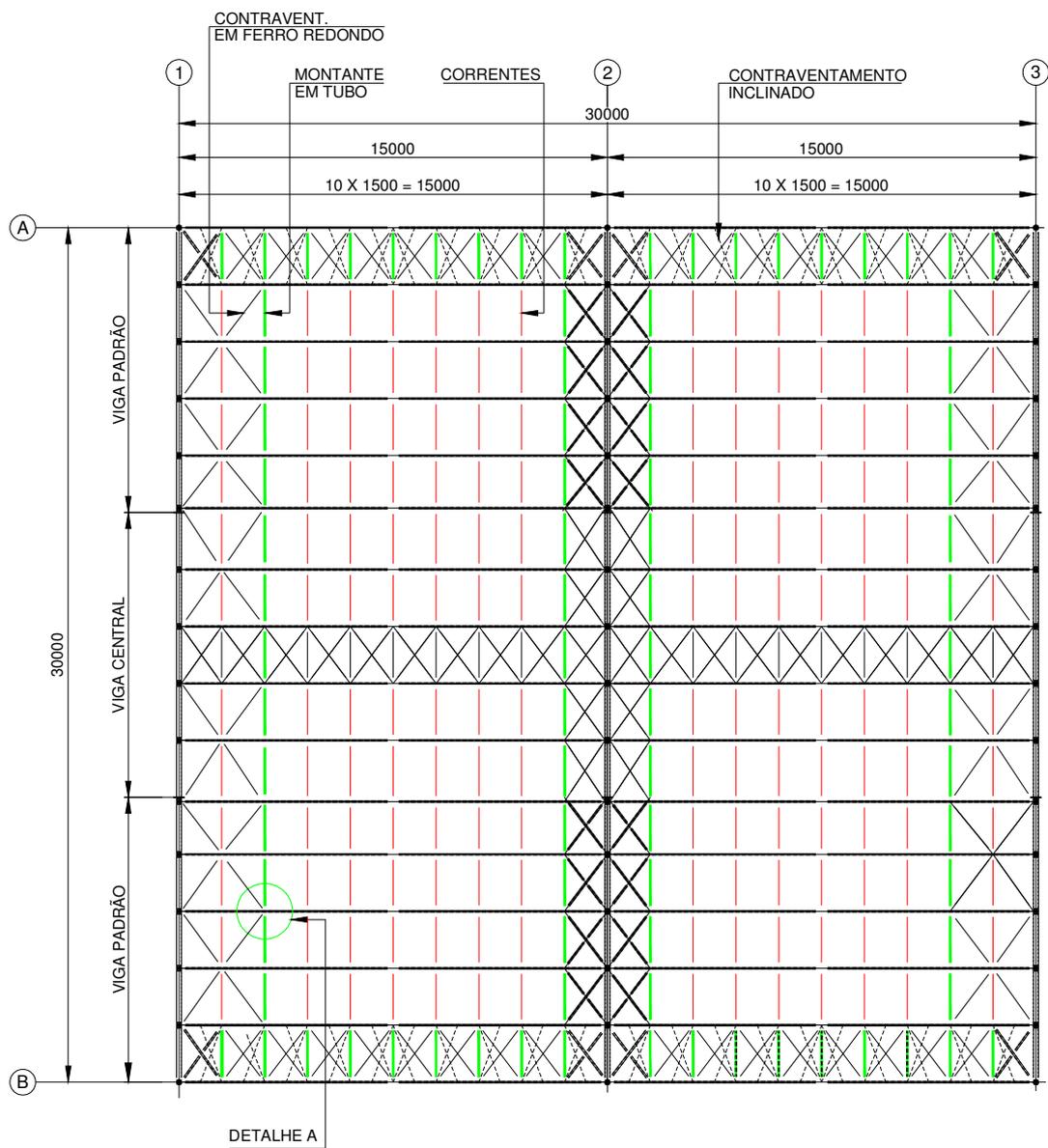


Figura 5.19: Contraventamento no plano do banzo superior, para estrutura composta por dois módulos. Fonte: V&M do Brasil, 2005.

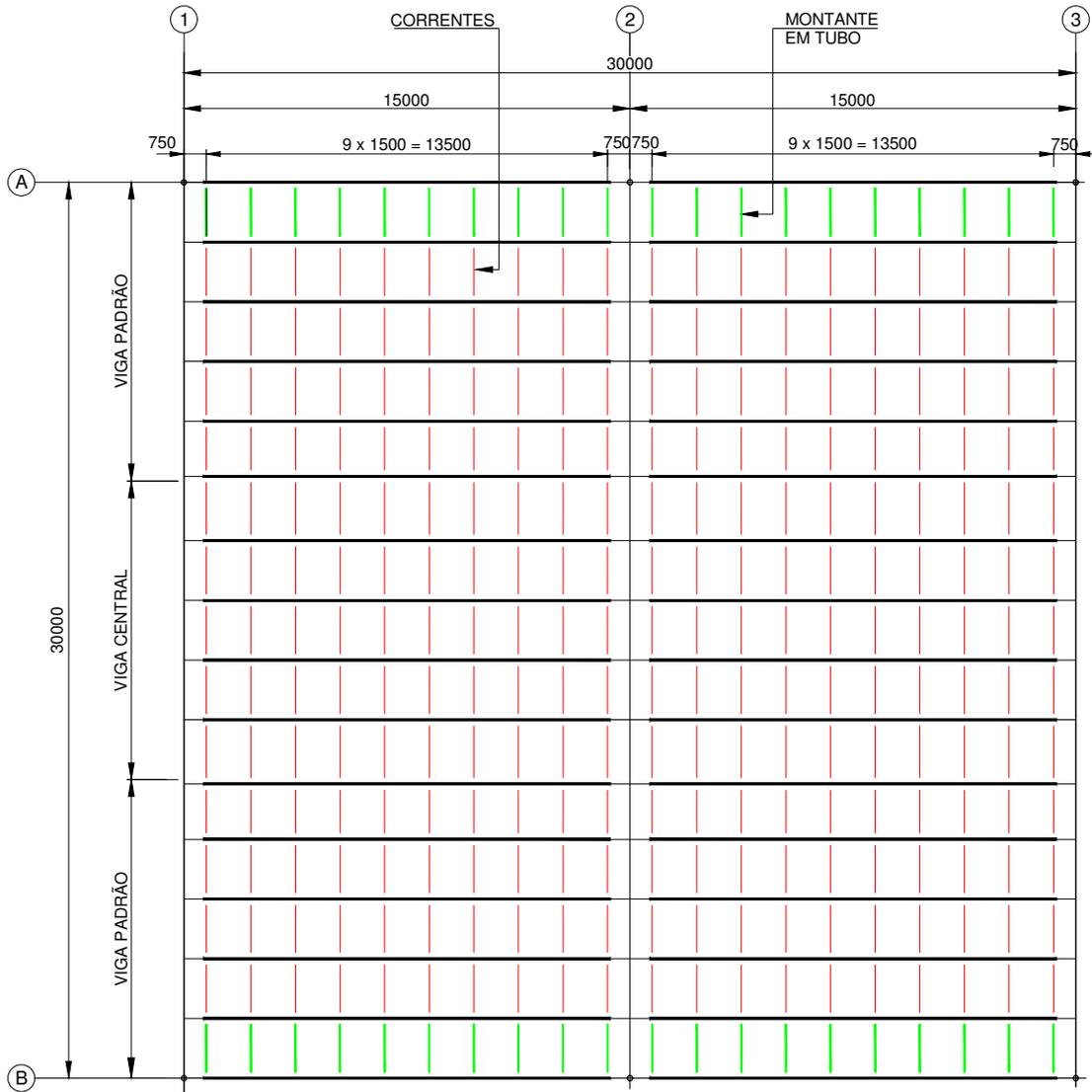


Figura 5.20: Contraventamento no plano do banzo inferior.
 Fonte: V&M do Brasil, 2005.

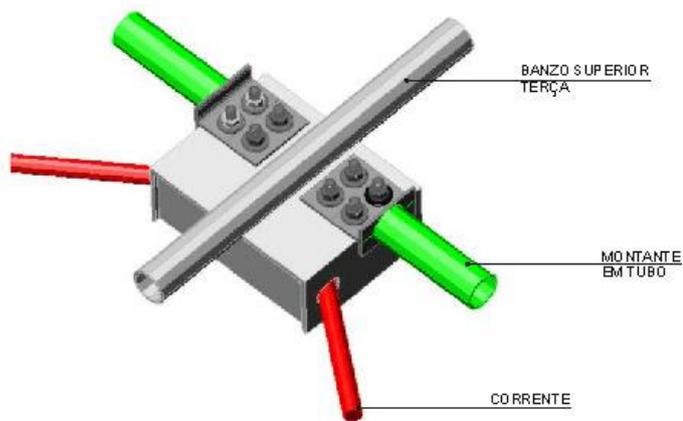


Figura 5.21: Detalhe da ligação A. Fonte: V&M do Brasil, 2005.

A flexibilidade necessária para a estrutura também se aplica às possibilidades de soluções construtivas, onde as opções de pilares metálicos e pilares de concreto armado pré-moldado ou moldado em loco são factíveis e dependerão da finalidade do empreendimento e das condições do mercado.

Desta forma, as possibilidades do sistema de estabilidade vertical são também variáveis em função do tipo de colunas empregadas e das suas vinculações com a fundação.

5.3.5 - Pilaretes

As vigas principais e as terças de extremidade podem ser conectadas tanto em pilares tubulares de aço quanto em pilares de concreto, através de pilaretes tubulares metálicos. A ligação das treliças nestes pilaretes é realizada através de chapas soldadas no tubo (figura 5.22), que são posteriormente parafusadas nos banzos superiores e inferiores. No caso das terças, a conexão do banzo inferior com o tubo é realizada através das mãos francesas.

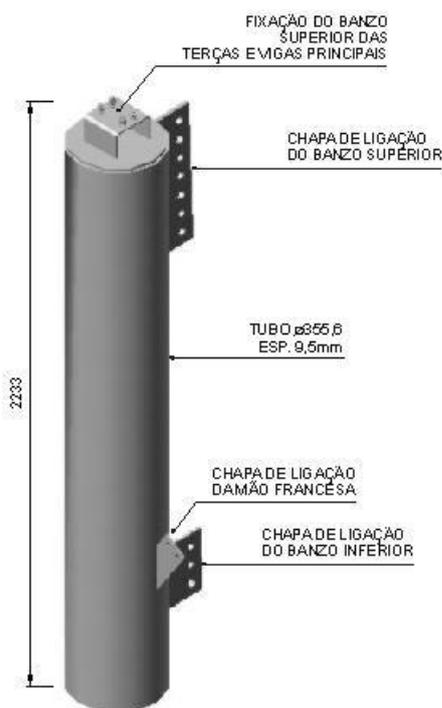


Figura 5.22: Pilarete para uso em pilares metálicos. Fonte: V&M do Brasil, 2005.

A altura do pilarete metálico foi dimensionada em função da altura total necessária para a fixação do conjunto viga principal/terça, o que inclui os espaçamentos para a soldagem das chapas responsáveis pela ligação das peças.

A transmissão dos esforços da estrutura de cobertura para os apoios é diferente para

as situações de utilização de pilares metálicos ou em concreto. Na primeira opção, as vigas principais e terças de extremidade são engastadas nos pilaretes e a fixação dos pilaretes nos pilares metálicos é feita por meio de solda, configurando um sistema aporticado. Para a junção das peças, o diâmetro e a espessura do tubo que compõe o pilarete são os mesmos para o pilar metálico.

Para pilares em concreto, adotou-se o sistema de vigas e terças biapoiadas em que os pilaretes são fixados no topo do pilar. A princípio, esta ligação ocorre através de um aparelho de apoio, constituído de chapas metálicas soldadas (figura 5.23). No entanto, é passível de modificações.

As dimensões foram determinadas baseando-se nas dimensões dos pilares metálicos e, conseqüentemente naquelas usuais mínimas dos pilares em concreto normalmente utilizados em obras similares. Nesta situação, as vigas principais e terças de extremidades são fixadas no pilarete somente através de seus banzos superiores.

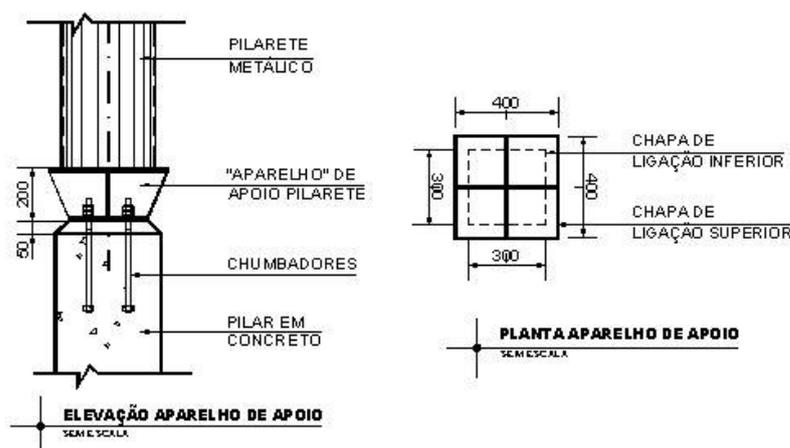


Figura 5.23: Pilarete para uso em pilares de concreto.
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

Em caso de utilização de pilares tubulares em aço, foi considerada a ligação rotulada com a fundação. Para pilares em concreto, a escolha pelo engastamento ou rótula é de responsabilidade do projetista estrutural da obra em questão. Cabe ao projetista da estrutura metálica fornecer as cargas a serem aplicadas no topo do pilar.

5.3.6 - Ligações

Todas as ligações executadas em campo (pilarete ↔ viga principal, pilarete ↔ terça de extremidade, terça ↔ viga principal e mão francesa da terça ↔ viga principal) concebidas para o sistema de cobertura são parafusadas, as quais propiciam maior

agilidade na montagem da estrutura (figura 5.24). O contraventamento de cobertura também foi concebido com ligações parafusadas, bem como as linhas de corrente (diagonais e montantes ↔ terço de cobertura, diagonais e montantes ↔ viga principal e linhas de corrente ↔ terço de cobertura).

As ligações diretas entre tubos (diagonal ↔ banzos da viga principal, diagonal ↔ banzos da terço de cobertura) foram realizadas através da soldagem dos componentes da estrutura, todas executadas em fábrica devido à maior facilidade em controlar a qualidade do procedimento (figura 5.25).



Figura 5.24: Ligações entre as peças e entre os elementos estruturais. Montagem da estrutura na empresa Brafer.
Fonte: Arquivo Pessoal, 2005.



Figura 5.25: Ligação soldada entre as peças. Montagem da estrutura na empresa Brafer.
Fonte: Arquivo Pessoal, 2005.

Para viabilizar as conexões parafusadas entre os elementos estruturais, são utilizadas chapas soldadas aos perfis tubulares, como mostrado na figura 5.26.



Figura 5.26: Chapa circular de ligação entre os banzos da viga principal (ligação flangeada) e chapa de ligação da diagonal da terço. Montagem da estrutura na empresa Brafer. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

Em alguns casos, as chapas são inseridas em rasgos feitos nas extremidades das peças tubulares e posteriormente soldadas (figuras 5.27 e 5.28).



Figura 5.27: Rasgo na extremidade da peça para ligação com chapa de gusset. Montagem da estrutura na empresa Brafer. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.



Figura 5.28: Ligação com chapa de gusset. Montagem da estrutura na empresa Brafer. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

5.3.7 – Particularidades do sistema

No sistema de cobertura, nota-se algumas diferenças entre os elementos estruturais de mesma natureza, necessárias para viabilizar a utilização de mais de um módulo em composições transversais ou longitudinais. A grande maioria das diferenças está na localização das chapas que fazem a ligação de cada elemento com o restante da estrutura.

Para efeito de padronização, na maioria dos elementos esta diferenciação não é considerada em sua magnitude, como no caso dos pilaretes, já que estão presentes na estrutura em uma porcentagem muito menor se comparado às vigas secundárias. O sistema estrutural padrão possui três tipos, classificados em função do posicionamento e inclinação das chapas de ligação das vigas principais: o pilarete de extremidade, o de cumeeira, e o de continuidade, localizado entre os dois primeiros (figura 5.29). O primeiro pode ser posicionado em qualquer extremidade do módulo (figura 5.30).

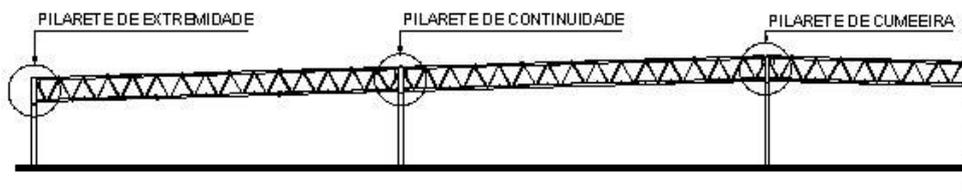


Figura 5.29: Tipos de pilaretes no sistema padrão

No caso das vigas secundárias, essas diferenciações também ocorrem devido ao seu posicionamento no módulo (figura 5.31). São dois os tipos em termos de geometria: as terças das extremidades, ligadas aos pilares, e aquelas que se encontram entre estas, ligadas às treliças principais. As terças de extremidade se diferem das terças centrais devido à aplicação do carregamento de vento, que será influenciado pelo sistema de apoio adotado.

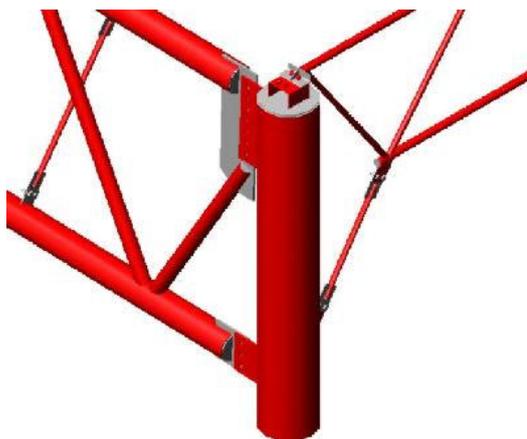


Figura 5.30: Pilarrete de extremidade
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

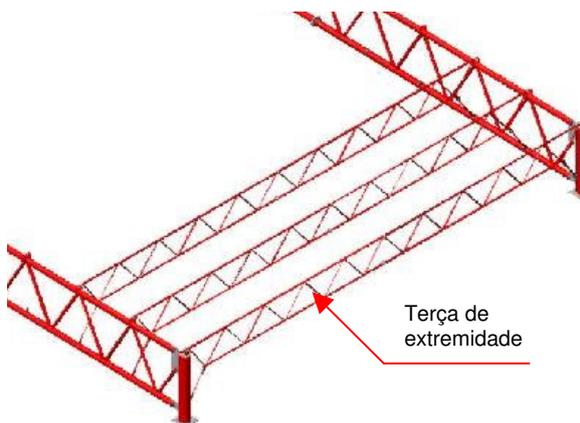


Figura 5.31: Posicionamento das terças
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

Nos procedimentos de dimensionamento e detalhes, inicialmente todas as terças foram imaginadas como uma única peça. Isto facilitaria a padronização dos elementos, mas poderia influenciar no custo final da estrutura devido às maiores dimensões e, conseqüentemente, ao peso das terças calculadas como biapoiadas e às condições de esforços diferentes entre elas.

A começar pela área de influência das terças de extremidade, que é a metade das terças centrais. No cálculo das ações, o valor do peso próprio das telhas leva em consideração as distâncias entre as peças, da mesma forma que, para o valor de sobrecarga, o cálculo é realizado em função desta área de influência.

As cargas provenientes da ação do vento influenciam sobremaneira o dimensionamento das peças em uma estrutura de grandes vãos. No caso do sistema de cobertura, para as combinações de cálculo realizadas, chegou-se a um esforço de compressão duas vezes maior nas terças de extremidade (onde a carga de vento foi aplicada) em relação às terças centrais, mesmo aquelas sendo engastadas nos pilares metálicos.

Assim, chegou-se a conclusão de que as terças de extremidade precisariam de área e inércia bem maiores que aquelas previstas para as terças centrais. Este fato

confirmava o alto custo implícito na estrutura, caso as peças fossem padronizadas a partir daquela mais solicitada. E não havia o interesse em se trabalhar com peças completamente diferentes umas das outras em dimensões ou geometria, pois iria contra todo o conceito de estrutura pré-engenhada, onde o menor número de peças facilita todo o processo de produção, de comercialização e de montagem.

A solução adotada para as terças foi realmente a padronização das peças, porém a partir daquelas menos solicitadas (terças centrais). Para as terças de extremidade, a utilização de duas destas peças bastava, já que para resistir aos esforços compressão eram necessárias área e inércia duas vezes maiores.

Caso seja utilizado o pilar em concreto, a transmissão do esforço horizontal do vento pode ser desprezada na terça de extremidade que o recebe. Este fato ocorre quando se determina o uso de uma platibanda em concreto para se fazer o fechamento da terça (figura 5.32). Esta platibanda é executada como uma continuidade do pilar, de forma que o esforço horizontal do vento é calculado para ser transmitido diretamente sobre ele. Nesta situação, a terça de extremidade pode ser montada somente com uma peça.

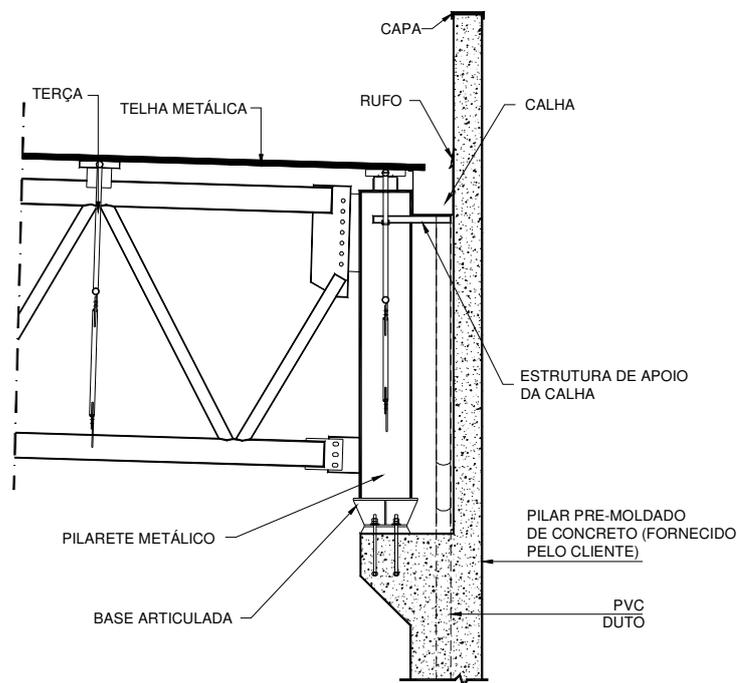


Figura 5.32: Platibanda em concreto.
Fonte: V&M do Brasil, 2005.

Em relação à localização das chapas de ligação, as terças posicionadas próximas às extremidades e ao centro do módulo possuem chapas soldadas ao longo do seu

comprimento para a fixação dos contraventamentos, o que não ocorre nas outras. Essas diferenças, decorrentes do posicionamento das chapas de ligação dos contraventamentos nas terças, ainda se encontram em estudo, de forma a melhorar a condição da padronização das peças.

5.4 - ASPECTOS ARQUITETÔNICOS

Durante o processo de desenvolvimento da estrutura de cobertura, procurou-se por soluções racionalizadas para a interface dos diversos conjuntos de elementos que compõem o sistema de fechamento de cobertura como ventilação, iluminação e coleta de água pluvial.

A especificação de cada conjunto nos projetos irá depender da finalidade da construção, já que as possibilidades de utilização da estrutura de cobertura são inúmeras. No caso de um sistema pré-engenhado, as facilidades na adoção destes conjuntos são diversas, pois trata-se de elementos padronizados e bem solucionados para aquela estrutura específica, de pronta entrega e fácil execução.

Caso a opção seja a utilização de conjuntos que não estejam no “catálogo” proposto, deve-se observar as questões relativas aos detalhes de fixação das peças, aplicação de cargas superiores àquelas preestabelecidas para estrutura, bem como as possíveis conseqüências de uma solução mal resolvida como a ocorrência de algum estado limite de utilização.

5.4.1. Sistema de coleta de água pluvial

Inicialmente, o sistema de coleta de AP será desenvolvido para a utilização em estruturas de cobertura que utilizam as terças tubulares; posteriormente para aquelas compostas por outros tipos de perfil.

Para cada uma destas situações, pretende-se detalhar o sistema posicionado interna e externamente à edificação, junto à terça de extremidade. É necessário também o detalhamento deste sistema para áreas internas à edificação, na junção dos módulos estruturais, caso assim sejam utilizados.

A figura 5.33 apresenta um destes detalhes, para o sistema posicionado externamente à edificação, em um pilar de concreto.

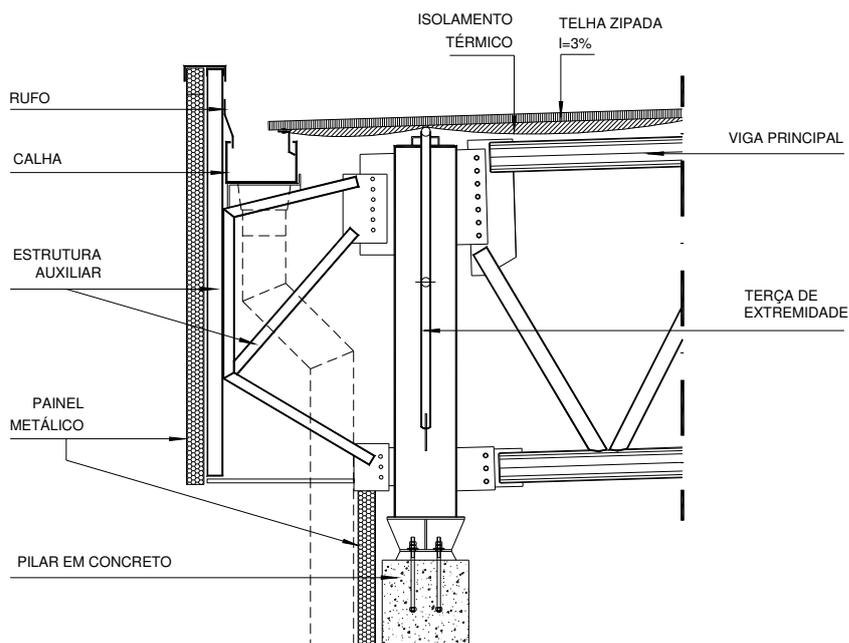


Figura 5.33: Detalhe para calha externa.
Fonte: Engipar / V&M do Brasil, 2005.

Observa-se pela figura a configuração de uma espécie de marquise, o que confere certa proteção contra intempéries à fachada da edificação e aos usuários, a depender da altura em que estiver posicionada a cobertura. Entretanto, deve-se realizar um estudo para estruturas maiores, externas e compatíveis com o sistema de cobertura, de forma a possibilitar o cobrimento de áreas como docas em supermercados e em centros de distribuição.

O detalhe de fechamento apresentado na figura 5.32 é uma outra possibilidade para o uso da calha externa à edificação, em que a estrutura auxiliar é mais simplificada e confere à fachada um aspecto limpo, isenta de interferências visuais.

O sistema ainda pode ser utilizado com a calha e complementos aparentes, em caso de edificações que não necessitem da vedação lateral como em pátios destinados à garagem de ônibus e espaços para feiras e eventos culturais em praças e parques públicos.

Como mencionado anteriormente, a especificação do sistema de cobertura e seus conjuntos complementares dependerão das premissas de projeto, aliadas à tipologia da edificação e à criatividade do arquiteto ou projetista responsável.

5.4.2. Sistemas de iluminação

O detalhe para fixação do sistema de iluminação zenital também terá variações, a depender do tipo de terça utilizada na estrutura. O detalhamento deste sistema deve ser minucioso, já que estabelece interface com outros elementos da cobertura, como telhas e mantas para o isolamento térmico.

Na figura 5.34 observa-se um dos detalhes que estão em desenvolvimento para a estrutura de cobertura. Trata-se da fixação do elemento translúcido zenital, perpendicular a terça tubular VMJ, por meio de chapas e perfis que são posicionados de forma a vedar a edificação contra umidade.

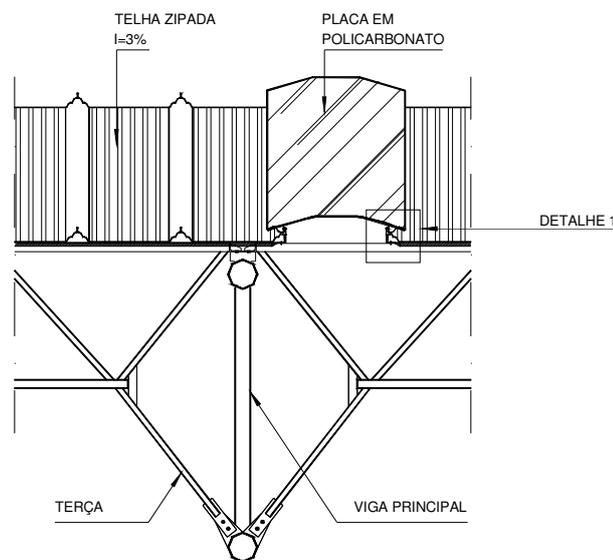


Figura 5.34: Iluminação zenital. Fonte: Engipar / V&M do Brasil, 2005.

No detalhe da figura 5.35, nota-se que a placa de policarbonato está fixada na estrutura metálica através de caixilhos, que conduzem a água para fora da cobertura, evitando vazamento para o lado interno da edificação.

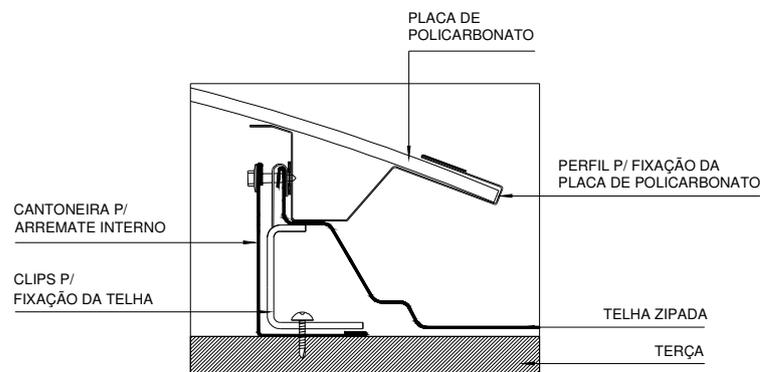


Figura 5.35: Detalhe. Fonte: Engipar / V&M do Brasil, 2005.

5.4.3. Sistemas de ventilação

A princípio, o sistema será desenvolvido para promover a ventilação natural e artificial da edificação, de acordo com a especificação do projeto. A ventilação natural pode ser resolvida através de lanternins pré-fabricados como o apresentado na figura 5.36. A fixação destes elementos é realizada através de perfis e chapas parafusadas nas terças, cujo detalhamento considera principalmente a vedação da edificação.

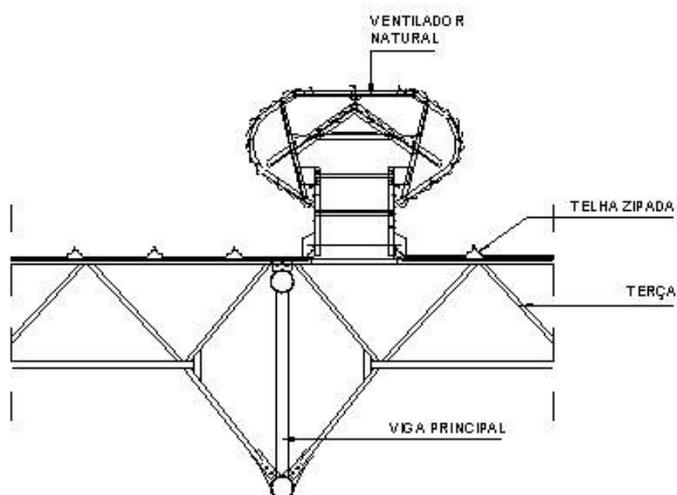


Figura 5.36: Sistema de ventilação natural
Fonte: Engipar / V&M do Brasil, 2005.

Observa-se que, para a eficiência do sistema de ventilação natural, deve-se executar aberturas na parte inferior da edificação, permitindo desta forma a renovação de ar provocada pelo movimento ascendente do ar quente. As entradas naturais de ar são realizadas de diversas formas, sendo o uso de venezianas a mais comum (ver capítulo 03, item 3.4.1).

CAPÍTULO 6

PROTÓTIPO

6.1. INTRODUÇÃO

A expectativa de repetitividade do sistema de cobertura em diversas edificações requer uma racionalização do sistema construtivo, o que impõe a padronização dos elementos estruturais.

Sendo assim, a fim de se comprovar a eficiência do produto e adquirir certificado de qualidade, o sistema estrutural foi fabricado e posteriormente montado no Campus da Unicamp (Campinas/SP), para a realização de ensaios no Laboratório de Estruturas e Materiais da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Este Laboratório é credenciado pelo INMETRO, o que garante a uniformidade e qualidade dos serviços prestados.

A elaboração do protótipo visa adequar os processos fabris e os procedimentos de montagem, além de propiciar uma avaliação real do comportamento estrutural. Cria-se, desta forma, um produto com qualidade de produção garantida, diferenciado dos demais existentes no mercado, com maiores possibilidades de sucesso.

Após a realização dos ensaios, a estrutura do protótipo será utilizada para a implantação do Laboratório de Estruturas Metálicas Tubulares e Mistas daquela Universidade. Para tal, pretende-se celebrar diversas parcerias com fabricantes e prestadores de serviço que possam, de alguma forma, contribuir com a construção do laboratório. Por outro lado, ao se tratar de um protótipo, serão realizadas algumas

experimentações de subsistemas (estrutura de piso do mezanino e seus pilares de sustentação, por exemplo) durante o período de execução da obra.

Neste capítulo são apresentadas as etapas cumpridas para o desenvolvimento do protótipo, desde a fabricação das peças até o início da montagem para o ensaio. As características arquitetônicas e estruturais também são abordadas.

6.2. ARQUITETURA

6.2.1. Características gerais

O protótipo foi implantado em uma área de aproximadamente 1600m² (figura 6.1) próxima a FEC, em uma região conhecida como Cotuca. Na área circunvizinha ao protótipo, situados na mesma quadra, localizam-se alguns dos laboratórios da Unicamp e existe ainda a previsão de implantação do Colégio Técnico do Cotuca, conforme figuras 6.2 e 6.3. Devido ao impacto gerado por este conjunto de empreendimentos na região, foi desenvolvido um completo estudo de urbanismo, com definição dos espaços destinados ao estacionamento, docas, convívio social, circulação de veículos e usuários. O projeto arquitetônico e urbanístico foi elaborado pela Coordenadoria de Projetos da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp (FEC).



Figura 6.1: Local de implantação do protótipo.
Fonte: V&M / Unicamp, 2005.

Adotou-se para o protótipo dois módulos de 30.000mm por 15.000mm, sustentados por pilares tubulares metálicos de seção circular, perfazendo uma área de projeção de 900m².

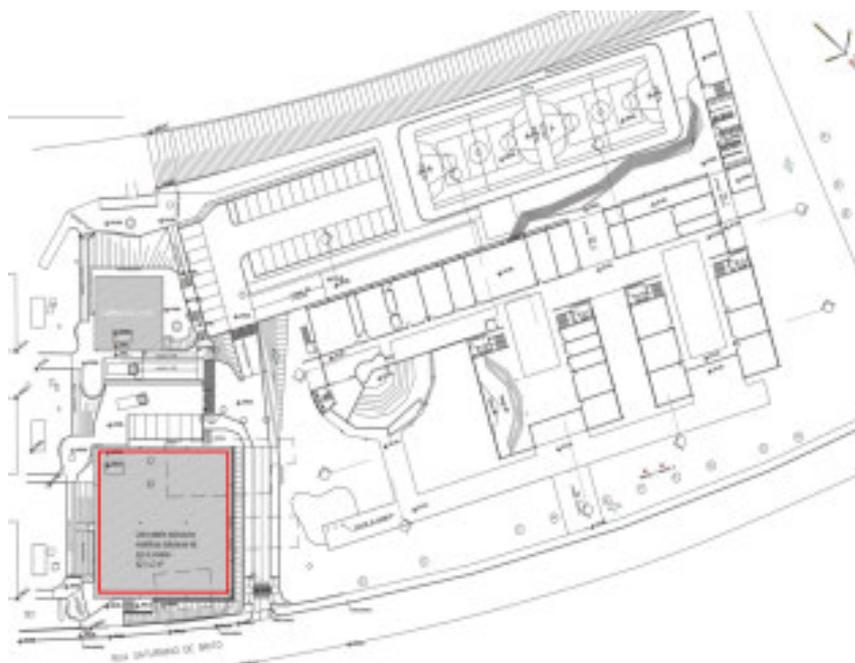


Figura 6.2: Implantação do laboratório.
Fonte: FEC, 2005.

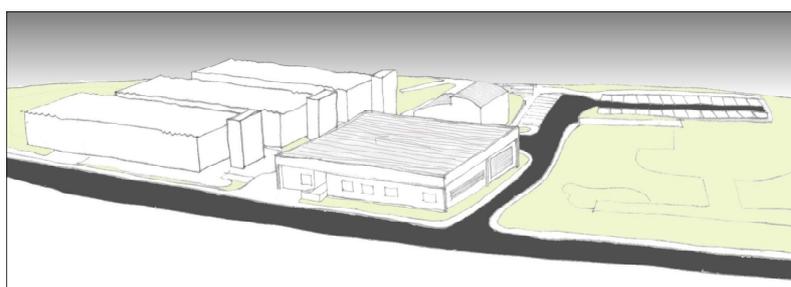


Figura 6.3: Perspectiva esquemática da implantação.
Fonte: FEC, 2005.

O projeto do Laboratório possui 1.350m² de área construída, dividida entre o mezanino e o pavimento térreo com o pé-direito total de 10m. No mezanino encontra-se o setor administrativo, salas de reunião, gabinetes e um espaço destinado ao show room dos produtos e serviços doados pelos parceiros do empreendimento. No pavimento térreo localiza-se o maquinário e as estruturas de apoio para a realização dos ensaios.

6.2.2. Sistemas de fechamento

Durante o estudo do projeto, definiu-se pela estrutura aparente em toda a edificação, com recuo frontal de 2m para que o sistema de cobertura fosse evidenciado logo na recepção do usuário, além de influenciar no aspecto estético do edifício. No restante da edificação, o sistema de fechamento é o convencional. Teve-se o cuidado em

estudar também a iluminação na edificação e a incidência solar direta em algumas elevações, o que acarretou no uso de brises e esquadrias com aletas horizontais, tipo venezianas.

O fechamento lateral do laboratório, de acordo com os primeiros estudos do projeto, será constituído por painéis metálicos e alvenaria de blocos de concreto. A alvenaria será utilizada próximo ao piso, de forma a melhor assegurar a proteção das chapas quanto à umidade naquele local.

Os painéis metálicos são pré-pintados e possuem dimensões máximas de 1.134mm por 12.000mm. A ligação entre eles é feita por encaixe (figura 6.4), o que melhora a fixação e a vedação em relação à água.

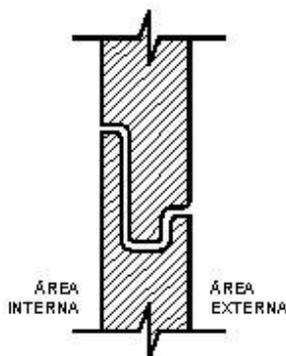


Figura 6.4: Esquema do encaixe dos painéis metálicos.

Em todo perímetro da edificação, adotou-se pilares de apoio além daqueles previstos na modulação para colaborar na sustentação e travamento dos elementos de fechamento lateral. Este artifício é bastante utilizado quando se tem panos extensos a serem vedados, principalmente em edificações de grandes vãos, e será adotado também para o sistema padrão.

Em caso de especificação do pilar metálico tubular para suporte da cobertura no sistema padrão, pode-se optar pelo mesmo tipo de perfil nos pilares de apoio, cuja concepção e detalhamento das conexões estão em desenvolvimento. Para o uso de pilares em concreto, o mercado dispõe de alternativas já conhecidas e de utilização generalizada, que não serão objeto de maior detalhamento neste trabalho.

A localização dos pilares no protótipo é indicada na figura 6.5. Os pilares P1 a P6 correspondem àqueles do sistema de cobertura e os pilares P7 a P10 foram previstos em função da necessidade de menores vãos para apoio do mezanino. A seção transversal para todos é a mesma adotada para o sistema de cobertura, ou seja,

diâmetro de 355,6mm, e serão preenchidos com concreto para resistirem aos carregamentos oriundos do mezanino (pilares mistos).

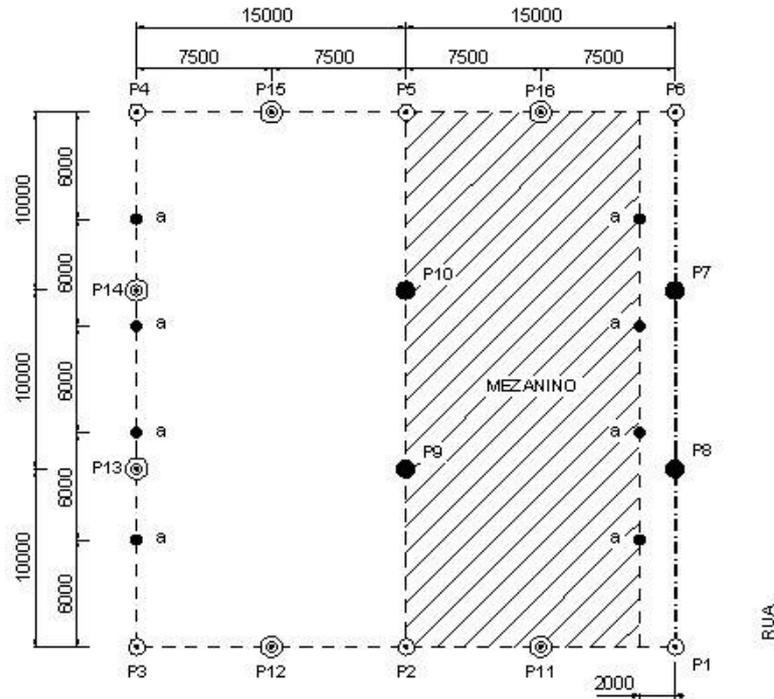


Figura 6.5: Disposição dos pilares no projeto do protótipo.

Os pilares P11 a P16 foram previstos devido à necessidade de travamento do sistema de fechamento. Os pilares P13 e P14 possuem o mesmo diâmetro daqueles do sistema padrão.

Os pilares identificados como “a”, denominados auxiliares, foram incorporados à estrutura após a determinação dos fornecedores das chapas metálicas, que alegaram um vão ideal de 5m e máximo de 7,5m para os produtos utilizados. Portanto, não possuem fundação, serão apoiados no piso do laboratório e terão projeto específico (ainda em desenvolvimento), estando em análise a possibilidade de anexá-los ao conjunto de projetos do sistema padrão, como uma opção de apoio para os elementos de fechamento em caso de se utilizar pilares em perfil tubular.

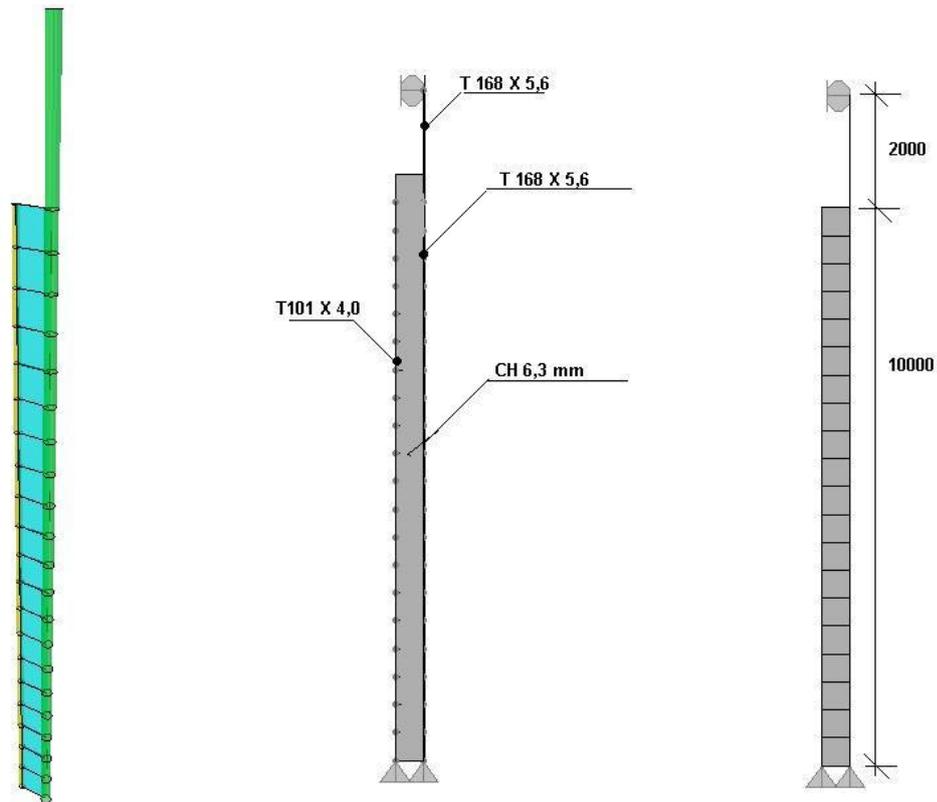
O estudo dos pilares auxiliares tem como base a pior condição de solicitação determinada pela altura entre o piso do 1º pavimento e o banzo inferior das terças de cobertura, somada ao carregamento horizontal do vento que será ali aplicado. Nesta situação, os pilares apresentarão comprimento destravado de 10m, correspondente ao pé-direito da edificação sem o mezanino. Esta altura poderá ser maior, caso o sistema de fechamento seja posicionado na frente da estrutura, pois o pilar auxiliar deve

possuir altura suficiente para promover a sua vedação.

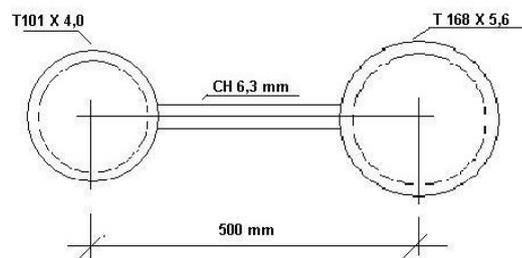
A princípio foi descartada a idéia de se utilizar as mesmas dimensões dos outros pilares nos pilares auxiliares, por serem consideradas superdimensionadas para o propósito. Trabalha-se então com duas opções, a depender da localização em planta:

→ **1ª Opção** (figura 6.6):

Pilar composto por dois tubos paralelos, em que a união é realizada através de chapas intermitentes soldadas ao longo do comprimento das peças.



(a) Perspectiva (b) Dimensionamento das peças (c) Elevação central



(d) Planta

Figura 6.6: Pilar auxiliar – 1ª opção.

→ 2ª Opção (figura 6.7):

Pilar de seção triangular treliçada, em que a união entre as peças também é realizada por chapas intermitentes soldadas ao longo dos tubos.

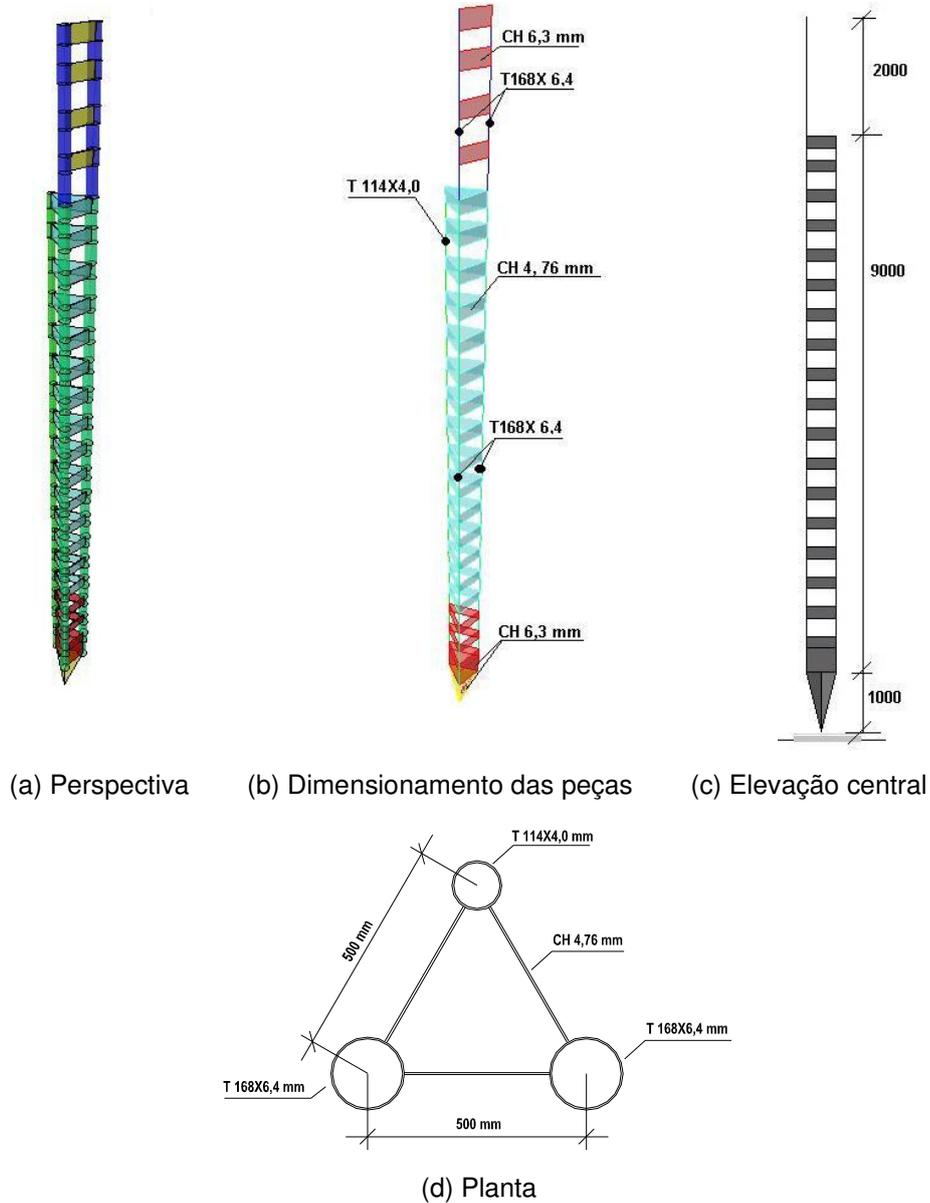


Figura 6.7: Pilar auxiliar – 2ª opção.

A primeira opção foi concebida para se posicionar na lateral da edificação que possui o menor vão entre pilares, que é de 6m, localizados nas elevações onde estão situadas as vigas principais. O pilar deve ser posicionado de forma que o seu eixo de maior inércia esteja perpendicular à incidência do vento nas fachadas (figura 6.8).

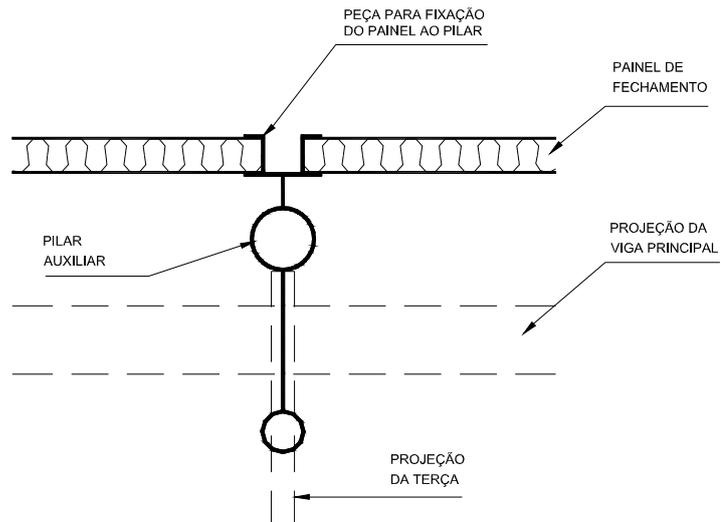


Figura 6.8: Detalhe da fixação dos painéis no pilar tipo 1.

A segunda opção, que possui dimensões e inércia maiores (figura 6.9), foi desenvolvida para as laterais onde estão localizadas as terças, em que o espaçamento dos vãos é de 7,50m.

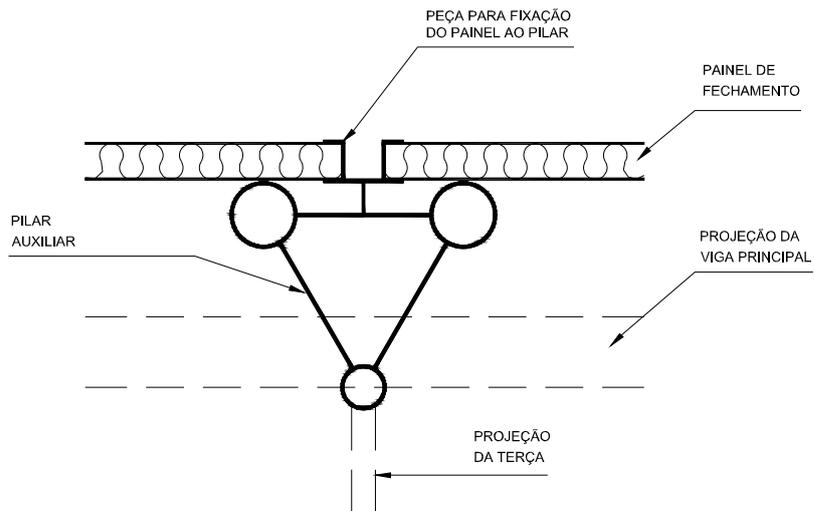


Figura 6.9: Detalhe da fixação dos painéis no pilar tipo 2.

Como não foi executada a fundação para cada pilar auxiliar, a solução adotada foi apoiá-los no piso através de um aparelho de apoio feito em chapas, similar àquele adotado para o pilarete, em que somente esforços verticais são transmitidos.

O piso do pavimento térreo do laboratório, com resistência de $500\text{Kg}/\text{m}^2$, será executado com concreto reforçado com fibras de aço, lançado por cima de uma camada de brita corrida. De acordo com LOPES (2005), o concreto reforçado com

fibras de aço constitui, atualmente, um dos materiais mais promissores para utilização estrutural, pois a presença das fibras possibilita ao concreto suportar grandes deformações na carga de pico ou próximo a ela. Além disso, as fibras aumentam a resistência à tração, flexão e compressão do concreto devido à capacidade de transferir cargas através das fissuras.

As duas opções apresentadas são consideradas viáveis e compatíveis com os propósitos do sistema quanto ao cálculo. Entretanto, a fabricação das peças é complexa, pois envolve uma grande quantidade de soldas e chapas, principalmente na segunda opção.

A fixação dos painéis metálicos e da alvenaria nestes pilares será executada através de chapas e cantoneiras que serão soldadas aos tubos. COSTA (2004) apresenta as possibilidades de interface existentes entre a utilização de perfis tubulares estruturais e o sistema de fechamento vertical, externo e interno, bem como os cuidados referentes às técnicas de execução (figura 6.10).

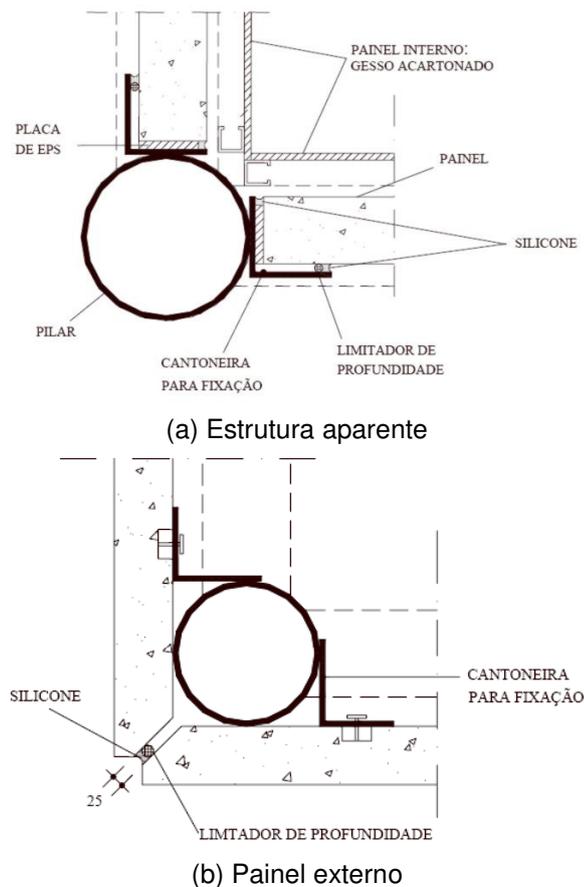


Figura 6.10: Interface do painel com o pilar. Fonte: Costa, 2004.

As figuras 6.11 e 6.12 exemplificam uma das possibilidades de interface entre os materiais.



Figura 6.11: Elevation conjunto pilar / alvenaria. Sede da Açotubo, Guarulhos. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.



Figura 6.12: Detalhe da conexão entre o pilar tubular de seção circular e a alvenaria. Sede da Açotubo, Guarulhos. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

O sistema de cobertura do laboratório está em desenvolvimento, juntamente com os detalhes dos conjuntos de iluminação, ventilação e coleta de água pluvial do sistema padrão.

Dos estudos realizados para o sistema de coleta de água pluvial, aquele mostrado no item 5.4.1 do capítulo 5 provavelmente será adotado na arquitetura do laboratório. Entretanto, a escolha dependerá de condicionantes determinados pelas empresas que doarão os materiais e serviços, no momento da definição do anteprojeto.

O fechamento de cobertura será feito em telhas metálicas zipadas. O detalhe de fixação das telhas metálicas nas terças varia conforme o tipo de terça que se pretende utilizar. Para terças que não possuem perfil tubular de seção circular, um dos tipos de detalhe para fixação é apresentado na figura 6.13.

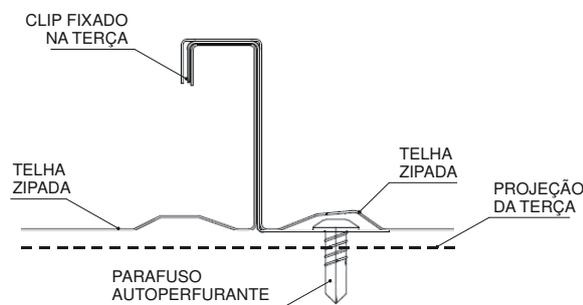


Figura 6.13: Sistema de fixação da telha zipada.

6.3. ESTRUTURA

6.3.1. Características Gerais

A estrutura da cobertura que será avaliada possui as seguintes características (figuras 6.14 e 6.15):

- Dimensões em planta: 30m x 30m;

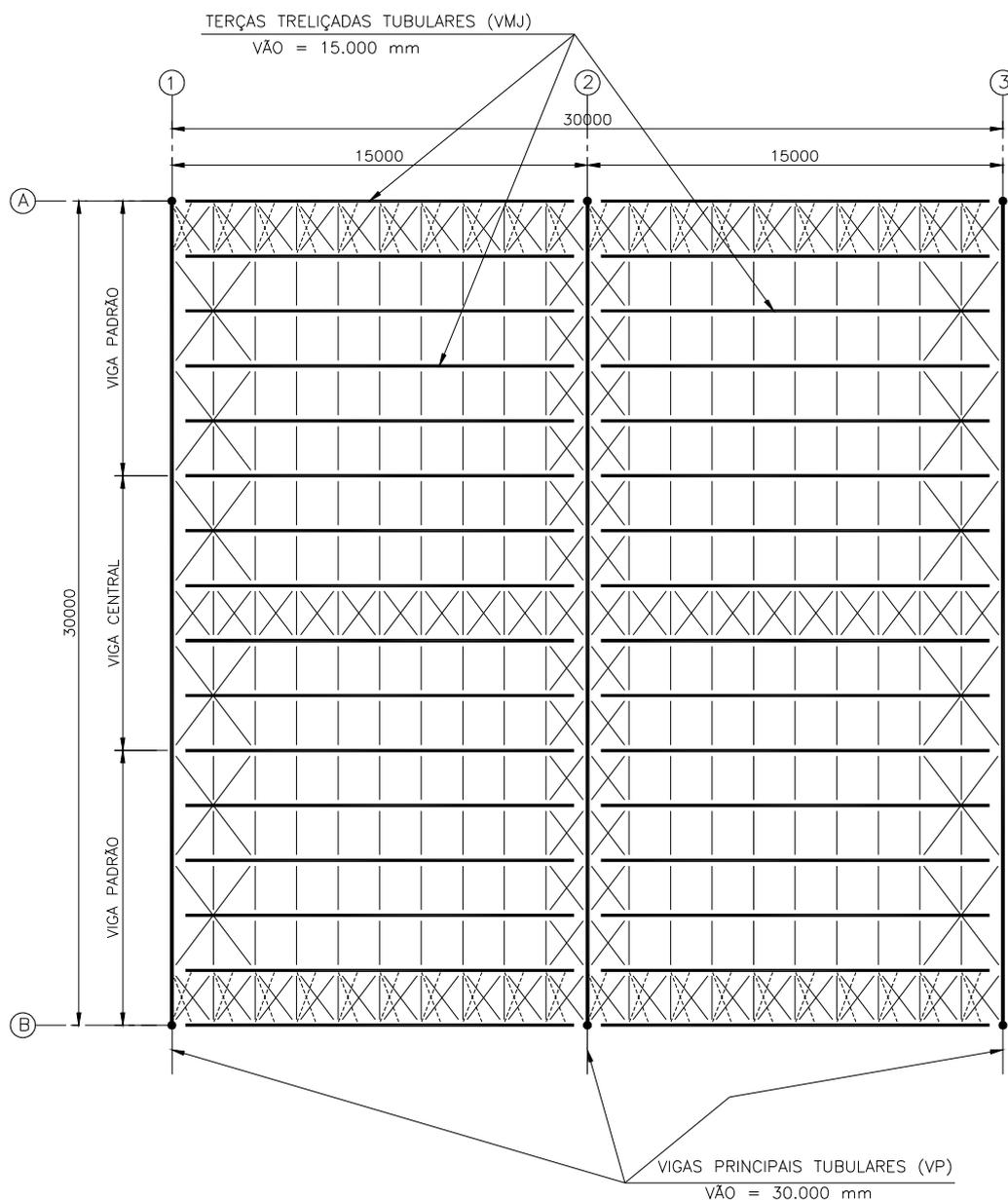


Figura 6.14: Planta de cobertura do protótipo – Banzo superior. Fonte: V&M do Brasil, 2005.

- Vão das vigas principais (VP): 30m;

- Altura (entre eixos dos banzos) das Vigas Principais (VP): 1.800mm;
- Vão das terças (VMJ): 15m;
- Altura (entre eixos dos banzos) das terças (VMJ): 90mm;
- Altura das Colunetas: 2,3m.

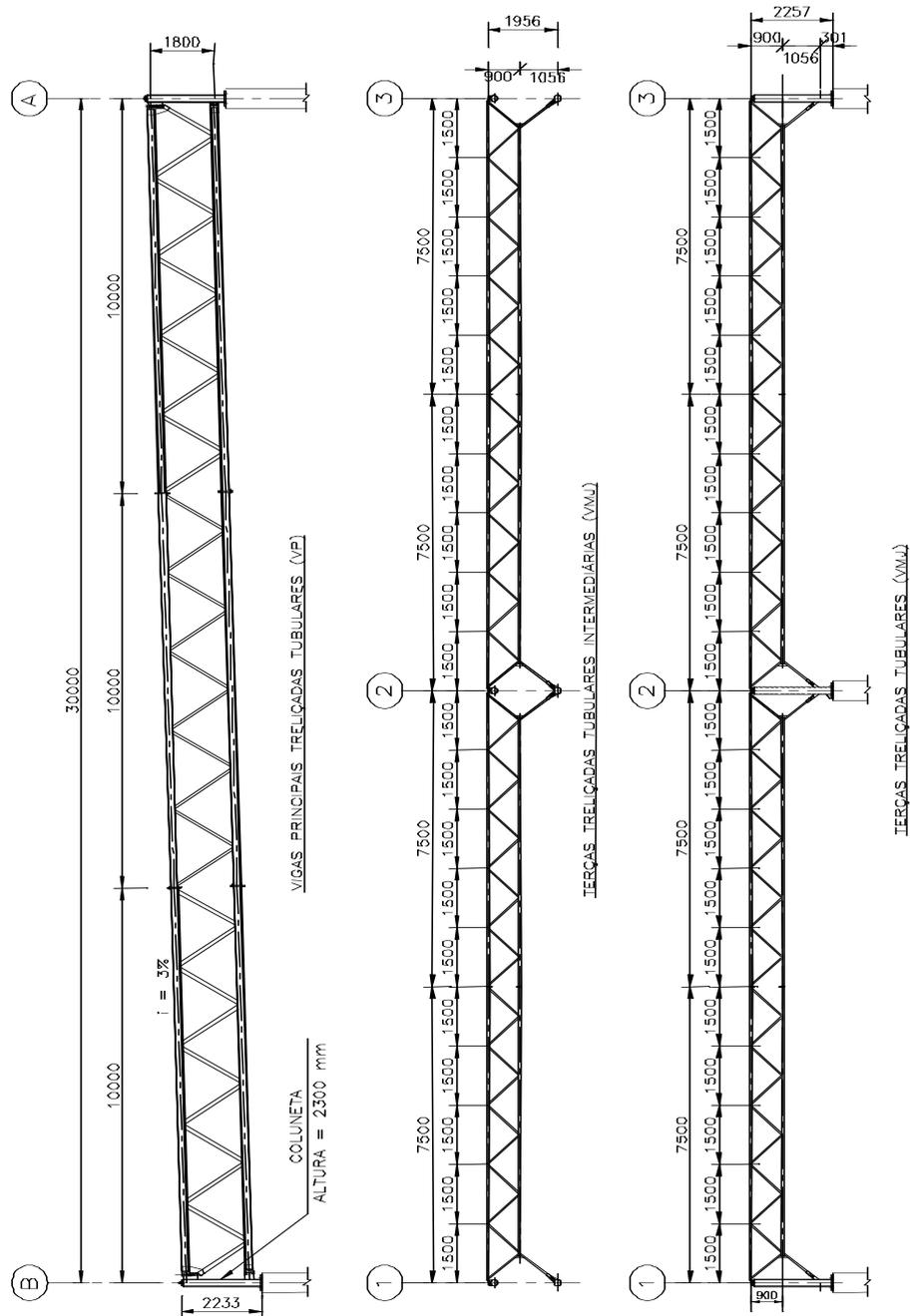


Figura 6.15: Vigas principais e terças. Fonte: V&M do Brasil, 2005.

A cobertura é composta por três vigas principais (VP), distantes 15m e 32 terças (VMJ) espaçadas a cada 2m. O sistema de cobertura do laboratório será apoiado em seis pilares tubulares metálicos, de diâmetro igual a 355,6mm e a altura total da edificação, somada às alturas dos pilaretes será igual a 10m.

Para a realização dos ensaios, a estrutura do protótipo foi projetada apoiando-se sobre colunas metálicas tubulares com alturas de 1,5m e 2,4m (figura 6.16), para facilitar as medições de campo (próximo ao solo) e fornecer a inclinação de 3% da cobertura. Estas colunas auxiliares de ensaio apóiam-se sobre os blocos de concreto da fundação através de placa de base, possuindo ainda chapas de cabeça para a conexão com os pilaretes do protótipo.



(a) Coluneta metálica tubular



(b) Ligação Pilarete/Coluneta



(c) Configuração da altura da estrutura para o ensaio

Figura 6.16: Apoio da estrutura de cobertura.

Fonte: V&M / Unicamp, 2005.

Ao final dos ensaios, um terceiro elemento será anexado entre a coluna que se apóia no bloco de fundação e o pilarete da cobertura, configurando a altura final da estrutura.

6.3.2. Sistema de Estabilidade da Estrutura

A estabilidade da estrutura do protótipo é apresentada no item 5.3.4 do capítulo 5.

6.3.3. Fundação

A sondagem feita no terreno acusou boa resistência do solo, com o lençol freático a 14m de profundidade. Determinou-se então, para o projeto de fundação do Laboratório, a realização de seis tubulões, um para cada pilar de sustentação da cobertura. O restante dos pilares se apoiará em estacas executadas por trado mecânico, conforme a figura 6.17.

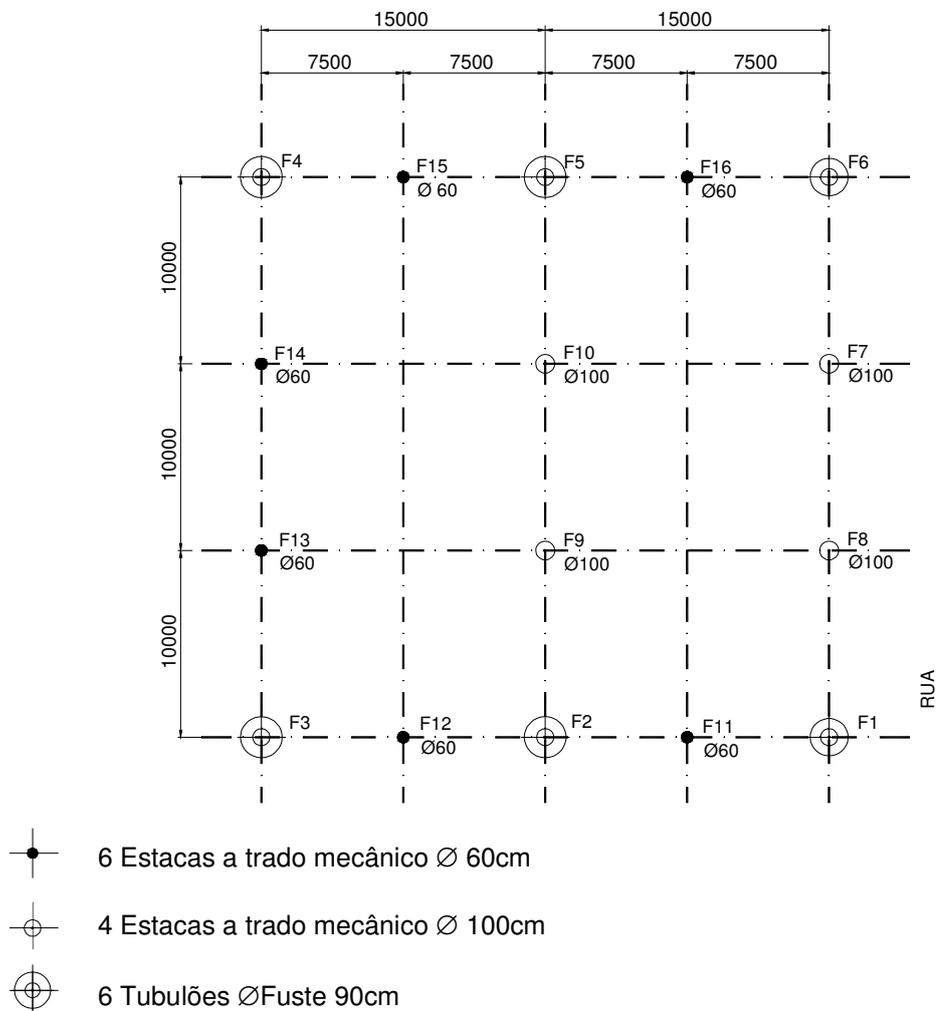


Figura 6.17: Posicionamento dos tubulões e das estacas.

No perímetro da edificação, construiu-se um baldrame (figura 6.18) para travamento da cabeça dos blocos de fundação, bem como para servir de apoio à alvenaria do fechamento lateral.



Figura 6.18: Detalhe do baldrame.
Fonte: V&M / Unicamp, 2005.

6.3.4. Mezanino

Para satisfazer as necessidades do programa definido para o laboratório, a edificação foi projetada com um mezanino, que ocupa a área de projeção de um módulo da cobertura (30m x 15m) e será executado ao término dos ensaios do sistema de cobertura.

O apoio do mezanino será composto pelos pilares já citados e pelo sistema de vigamento misto. Este sistema é constituído por uma viga de aço suportando laje de concreto maciça ou laje com forma metálica incorporada, capaz de melhor resistir aos esforços de flexão, através da ação conjunta aço-concreto.

No protótipo, o vigamento misto poderá ser feito através de lajes pré-moldadas, como exemplificado na figura 6.19 ou então através de lajes moldadas in loco com forma incorporada em aço, conforme as parcerias que serão realizadas.

É necessária, nos dois casos, a fixação de conectores de cisalhamento no banzo superior da treliça, de forma a transmitir o cisalhamento horizontal entre a laje de concreto e a viga de aço.



(a) Execução



b) Detalhe do apoio da laje pré-moldada na viga metálica, já com os conectores soldados.



(c) Detalhe dos conectores

Figura 6.19: Viga mista com laje pré-moldada, executada no Centro administrativo da V&M do Brasil, Usina de Belo Horizonte. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

6.4. FABRICAÇÃO

Para melhor compreender o processo de fabricação de uma estrutura em aço, deve-se primeiramente conhecer os pontos indispensáveis das várias etapas que compõem a fabricação final das peças. Vários autores abordam este assunto e, para complementar a leitura deste trabalho, recomendam-se os textos de BELLEI (1994), DUTTA et al (1998), RAAD Jr. (1999), SALES et al (1999) e GERKEN (2003).

O processo de fabricação da estrutura do protótipo iniciou-se nas empresas Complaser (Curitiba/PR) e Açotubo (Guarulhos/SP), com os cortes dos tubos após a laminação na Usina da V&M. A primeira utiliza máquina de corte a laser e a segunda máquina para corte a plasma.

A escolha das duas empresas para realizar o mesmo processamento ocorreu devido aos diferentes diâmetros dos tubos utilizados na estrutura, bem como para o melhor conhecimento dos procedimentos específicos adotados por cada uma. Como a

capacidade da máquina a plasma para corte é a partir de diâmetros de 50mm, todos os cortes em tubos com diâmetros menores foram realizados na Complaser. Ambas realizam o corte tridimensional curvo nas peças, tipo “boca-de-lobo”, com algumas particularidades.

As empresas dispõem de uma metodologia de implementação e automação dos serviços baseada na sistemática CAE/CAD/CAM. Os softwares de CAE (Computer Aided Engineering) e CAD (Computer Aided Design), ao serem aplicados juntamente com alguns programas complementares, geram automaticamente arquivos de CAM (Computer Aided Manufacture) para os equipamentos que utilizam o sistema CNC (Computer Numeric Control) ou controle por comando numérico. As vantagens em se utilizar o sistema CNC são inúmeras, comparativamente aos procedimentos convencionais. Este sistema, a depender dos softwares CAM utilizados, proporciona desperdício mínimo de material e máximo aproveitamento na equalização dos tamanhos, possibilitando a configuração dos movimentos das peças e controle da produção (RAAD Jr., 1999).

A descrição das características e procedimentos de corte de cada empresa é apresentada a seguir.

a) Corte a laser

O corte de tubos a laser é uma tecnologia relativamente nova e possibilita recortes do tipo encaixe, penetração parcial e ou total dos tubos (figura 6.20), com excelente qualidade. A precisão do corte é de um décimo de milímetro e não causa distorção, além de afetar termicamente uma reduzida região das peças.



(a) Corte 3D a laser em tubo de alumínio



(b) Precisão do laser no corte “boca de lobo”.

Figura 6.20: Tipos de cortes realizados pela máquina a laser da empresa Complaser.

Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

Os cortes de todas as peças tubulares das terças e montantes dos contraventamentos horizontais do protótipo foram realizados por este procedimento (figura 6.21). A tabela 6.1 apresenta a especificação técnica da máquina de corte a laser utilizada pela empresa.



Figura 6.21: Corte para encaixe tipo “boca-de-lobo” em diagonal da terça. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

Tabela 6.1: Especificação técnica da máquina a laser.
Fonte: Catálogo Complaser

Dimensões	
Diâmetro mínimo do tubo	20mm
Diâmetro máximo do tubo	150mm
Espessura máxima de corte	6,4mm
Comprimento máximo do tubo	6.500mm
Perda mínima em cada peça devido ao sistema de fixação da máquina	150mm
Peso máximo do tubo bruto	120kgf

As máquinas utilizam o princípio "Flying Optical", em que não há contato da peça com nenhum tipo de ferramenta. Através de uma placa rotativa que fixa o tubo dentro da máquina, o laser trabalha sobre o tubo sem interferência externa, a uma distância de aproximadamente 1 milímetro. O corte é realizado sempre perpendicular à superfície do tubo e não é possível realizar chanfros nas bordas.

Devido à rapidez do procedimento, a logística de entrega da peça pronta é racionalizada, com um período de duração de um dia para recebimento, corte e devolução, a depender do volume de material.

b) Corte a plasma

A máquina para corte a plasma (figura 6.22) também permite a realização dos cortes com qualidade e precisão, apesar do acabamento do corte a laser ser melhor. A máquina é capaz de cortar tubos em formatos especiais já com os chanfros nas bordas para receber a solda.



Figura 6.22: Máquina de corte a plasma.
Fonte: Catálogo Açotubo

Outra vantagem desta máquina é a sua capacidade de realizar cortes em peças que possuem dimensões maiores. O corte no restante das peças tubulares, como banzos (figura 6.23a), diagonais das vigas principais (figura 6.23b) e pilaretes do protótipo foram realizados por este procedimento.



(a) Tubos dos banzos da Viga Principal.



(b) Tubos das diagonais da Viga Principal.

Figura 6.23: Tipos de corte da máquina a plasma. Empresa Açotubo.

Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

A especificação técnica da máquina de corte a plasma é apresentada na tabela 6.2.

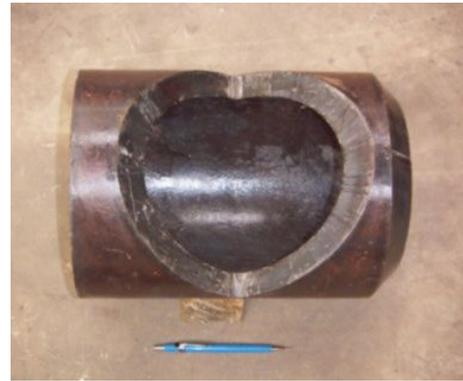
Tabela 6.2: Especificação técnica da máquina a plasma.
 Fonte: Catálogo Açotubo

Dimensões	
Diâmetro mínimo do tubo	50 mm
Diâmetro máximo do tubo	610 mm
Espessura da parede	2,9 a 16 mm
Comprimento máximo do tubo	13.000 mm
Perda mínima em cada peça devido ao sistema de fixação da máquina	150mm
Peso máximo do tubo por metro	300 kgf/m
Peso máximo do tubo	3 t

Na figura 6.24 apresenta-se a diversidade de tipos de cortes realizados pela máquina:



(a) Corte encaixe “boca-de-lobo” bisel 45° sela



(b) Corte encaixe “boca-de-lobo”.



(c) Corte tipo sela 45°

Figura 6.24: Exemplos de cortes efetuados pela máquina a plasma. Empresa Açotubo.
 Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

Após o procedimento de corte, os tubos foram encaminhados à fábrica da Brafer, em

Curitiba, para a industrialização dos elementos estruturais. A esta empresa coube:

- A manufatura das chapas de ligação, através de cortes e perfurações, para execução das ligações parafusadas;
- A soldagem das chapas de ligação nos perfis tubulares;
- A execução das ligações diretas entre tubos;
- A vedação das extremidades dos tubos com chapas-tampão;
- A listagem e o envio dos parafusos, arruelas e porcas para montagem em campo;
- A pintura;
- A embalagem e o acondicionamento das peças para transporte;
- O transporte e a entrega das peças no local da montagem.

Para os cortes das chapas com espessuras de até 12,5mm foi utilizada a guilhotina e para aquelas com espessuras maiores utilizou-se o sistema de corte a chama, conhecido como oxi-corte.

A furação das chapas com espessuras até 16mm foi realizada por puncionamento, utilizando-se brocas para as de maior espessura.

A soldagem das chapas nos perfis foi realizada pelo processo MIG/MAG. Este processo é considerado semi-automático, uma vez que a alimentação do arame e o fluxo de gás propelido pela máquina são de responsabilidade do soldador, bem como a velocidade de deslocamento e a extensão livre do arame (stick-out).

As vantagens do processo MIG/MAG são a rapidez, a reduzida área afetada pelo calor e a ausência de escória, entre outras (GERKEN, 2003). O processo possui grande versatilidade, pois permite, na maioria das aplicações, a soldagem em todas as posições cobrindo ampla faixa de espessura. (RAAD Jr., 1999). Como não existe escória a ser removida, o tempo de soldagem e o custo de fabricação são menores.

Antes da soldagem final, as peças da estrutura receberam solda ponteadada para pré-montagem (figura 6.25), realizada pelo processo de arco elétrico com eletrodo revestido.

Para o caso específico do protótipo, os banzos superiores das vigas padrão são formados por dois tubos que possuem espessuras diferentes, como está representado

na figura 6.26.



(a) Junção dos banzos inferiores da Viga Padrão Principal.



(b) Nó do banzo inferior da Viga Padrão Principal

Figura 6.25: Solda pontuada na pré-montagem. Montagem da estrutura na empresa Brafer. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

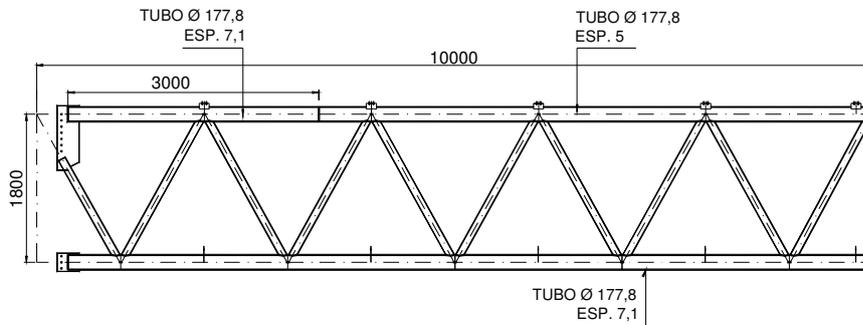


Figura 6.26: Elevação Viga padrão Principal. Fonte: V&M do Brasil, 2005.

A união destas duas peças foi realizada por solda de penetração total (figura 6.27), de forma a dar continuidade ao banzo.



(a) Vista do banzo



(b) Detalhe da Solda

Figura 6.27: Solda de penetração total. Montagem da estrutura na empresa Brafer. Fonte: Arquivo pessoal, 2005.

Esta diferença entre as peças não será adotada no sistema padrão, devido ao tempo

gasto para realização da solda e acabamento, bem como com o trabalho necessário para a execução dos chanfros das bordas dos tubos.

A pintura utilizada nas peças do protótipo foi a do tipo Epóxi, pelo processo de caneca de sucção e tanque de pressão através da pulverização por pistolas. Antes de iniciar o processo de pintura, o material deve ser limpo de forma a remover óleo, gordura, graxa, poeira entre outros. Essa limpeza foi realizada com jato de granalha padrão SA 2 1/2.

De acordo com relatório fornecido pela Brafer, as condições gerais para pintura da estrutura do protótipo foram as seguintes:

- A verificação da temperatura do ar, que deve estar entre 5 a 50 °C;
- A umidade relativa do ar, que não pode ser superior a 85%;
- A temperatura da superfície que receberá a pintura, que não deve ultrapassar os 50°C;
- As peças só devem receber a pintura no máximo até 6 horas após o jateamento;
- Verificação do tempo de cura e intervalo para próxima demão.

O estudo racional da modulação possibilitou o transporte das peças pré-montadas, o que evitou trabalhos extras e perda de tempo no local da montagem.

6.5. MONTAGEM

Após o recebimento e aferição dos elementos estruturais, a seqüência de montagem adotada no canteiro obedeceu a seguinte ordem:

- a) Preparo das bases das colunetas metálicas;
- b) Deslocamento e deposição das peças pré-montadas;
- c) Estabilização do conjunto;
- d) Ajustes;
- e) Execução das ligações definitivas.

A montagem teve início com a união dos elementos pré-montados de fábrica, através de ligações provisórias (figura 6.28), como as conexões dos pilaretes com as respectivas metades das vigas principais e as ligações entre estas metades o trecho

central (figura 6.29).

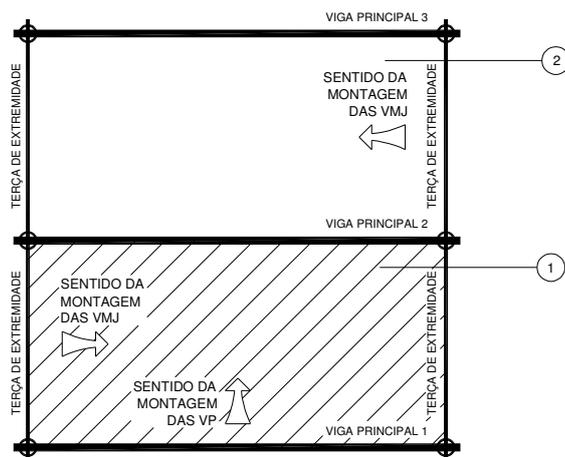


Figura 6.28: Seqüência de montagem do conjunto viga principal / pilarete no Campus da Unicamp. Fonte: V&M / Unicamp, 2005.



Figura 6.29: Montagem viga principal. Fonte: V&M / Unicamp, 2005.

A logística de montagem (figura 6.30) foi elaborada priorizando a segurança, a qualidade e o prazo determinado.



- 1) Primeira etapa da montagem.
- 2) Segunda etapa da montagem

RUA

Figura 6.30: Sentido de montagem.

A logística de montagem da estrutura foi realizada desta forma devido aos condicionantes existentes no entorno, como topografia, edificações e passarelas para pedestres, o que tornava inviável o acesso do caminhão.

As vigas principais 1 e 2 foram então içadas (figura 6.31) e posicionadas sobre as colunetas já fixadas na fundação.



(a) Içamento da viga principal 1.



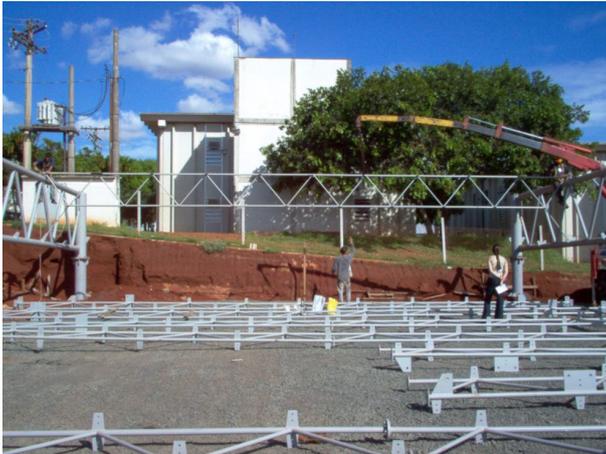
(b) Posicionamento da viga principal 1 na Coluneta.



(c) Viga principal 2 posicionada na coluneta.

Figura 6.31: Início da primeira etapa da montagem. Fonte: V&M / Unicamp, 2005.

Em seguida, as metades das terças foram unidas e erguidas, conforme figura 6.32.



(a) Início do içamento da terça na primeira etapa



(b) Detalhe da terça sem o travamento durante a montagem na primeira etapa.



(c) Finalização do içamento da terça na primeira etapa

Figura 6.32: Montagem das terças.
Fonte: V&M / Unicamp, 2005.

O procedimento de montagem foi realizado com o auxílio do caminhão tipo “Munck”, veículo dotado de guindaste que possibilita alguns serviços de movimentação em mais de uma direção. A lança alcança nove metros na direção horizontal e onze metros na direção vertical, com capacidade para seis toneladas no caso de estar totalmente recolhida e uma tonelada para a situação oposta.

Após o içamento e posicionamento das vigas principais e terças nas duas fases da montagem, iniciou-se o travamento destas últimas através da fixação das correntes (figuras 6.33 e 6.34) e a ligação da estrutura com os contraventamentos horizontais (figura 6.35).



Figura 6.33: Travamento das terças.
Fonte: V&M / Unicamp, 2005.



Figura 6.34: Fixação das correntes.
Fonte: V&M / Unicamp, 2005.

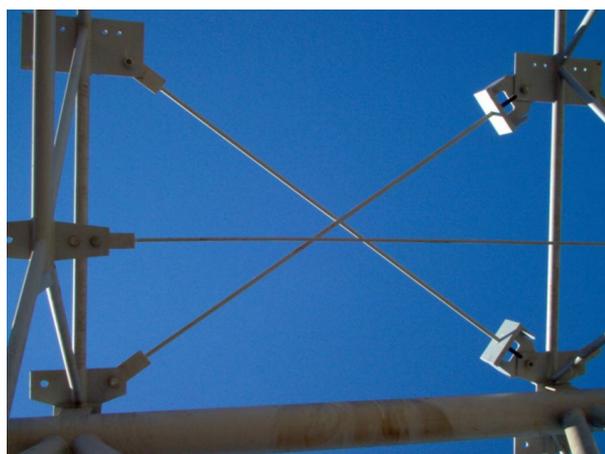


Figura 6.35: Detalhe da montagem do contraventamento.
Fonte: V&M / Unicamp, 2005.

O detalhamento das ligações dos contraventamentos apresentado no item 5.3.4 foi alterado de forma a melhorar o processo de fabricação devido à quantidade de peças

e complexidade de montagem. Novos detalhamentos estão fase de estudo e serão incorporados ao projeto do sistema padrão para a análise experimental.

Com os contraventamentos e correntes posicionados e a estrutura estabilizada, são feitos os ajustes finais nas ligações (figura 6.36).



Figura 6.36: Ajustes finais das ligações das mãos francesas.
Fonte: V&M / Unicamp, 2005.

6.6. ANÁLISE EXPERIMENTAL

A análise numérica foi realizada utilizando-se o programa computacional para as situações envolvendo ações permanentes, sobrecarga e ações devidas ao vento, aplicadas como cargas concentradas nos nós das treliças. A análise experimental consiste da avaliação das tensões nominais críticas provocadas por estas ações nos banzos e diagonais das vigas principais e das terças, juntamente com os respectivos deslocamentos.

A análise experimental foi inicialmente planejada para ser realizada em três etapas, a saber:

- 1ª etapa: Avaliação das solicitações produzidas pelas ações permanentes e pela sobrecarga;
- 2ª etapa: Avaliação das solicitações produzidas pelas ações permanentes e decorrentes da ação do vento (sucção na cobertura).
- 3ª etapa: Avaliação das solicitações produzidas pelas ações permanentes, pela sobrecarga e decorrentes da ação do vento horizontal e de sucção na cobertura.

A primeira e a segunda etapa do ensaio serão realizadas simulando-se a estrutura da cobertura do protótipo apoiada em pilares de concreto. Para tal, as mãos francesas das terças de extremidades serão desconectadas dos pilaretes, bem como o banzo inferior das vigas principais. A previsão do carregamento será da ordem de 42 toneladas. Na segunda etapa, a estrutura de cobertura será invertida para facilitar a execução dos ensaios. Cerca de 52 toneladas de cargas serão suspensas na estrutura em fases pré-determinadas.

Na terceira etapa, a estrutura será erguida e posicionada na sua altura final. A análise será feita com a estrutura de cobertura apoiada nos pilares metálicos, para avaliação dos esforços nos pórticos.

CAPÍTULO 7

ENSAIOS

7.1. SUGESTÕES DE APLICAÇÃO DO SISTEMA

Como forma de mostrar as possibilidades de aplicação do sistema tubular V&M, realizou-se o estudo preliminar de edificações utilizando a estrutura de cobertura em quatro situações distintas: um ginásio de esportes, o refeitório de uma unidade escolar, um espaço multiuso e um terminal rodoviário.

A utilização do sistema nestas edificações teve como objetivo a busca por segmentos de mercado que não estivessem inseridos naqueles que usualmente fazem parte do imaginário coletivo, como indústrias, hipermercados, centros de distribuição, depósitos ou fábricas, onde os sistemas pré-fabricados e industrializados já são bem conhecidos.

7.1.1. Ginásio de esportes

O estudo para o ginásio de esportes foi realizado considerando uma condição real, em que se faziam necessárias cinco variações evolutivas do programa inicialmente proposto, de acordo com as possibilidades e porte das localidades em que seriam implantados. O interessante deste projeto é que o sistema de cobertura V&M pôde ser utilizado em todas as variações, o que comprova a flexibilidade permitida pela sua diversidade de combinações das peças.

Apresenta-se neste item duas versões destes estudos. A primeira, mais simplificada, possui três módulos iguais de 26x15m, suportados por pilares metálicos tubulares e dispostos ao longo do seu comprimento. Consta somente da quadra e de uma pequena área de apoio, e não possui arquibancadas (figuras 7.1 e 7.2).

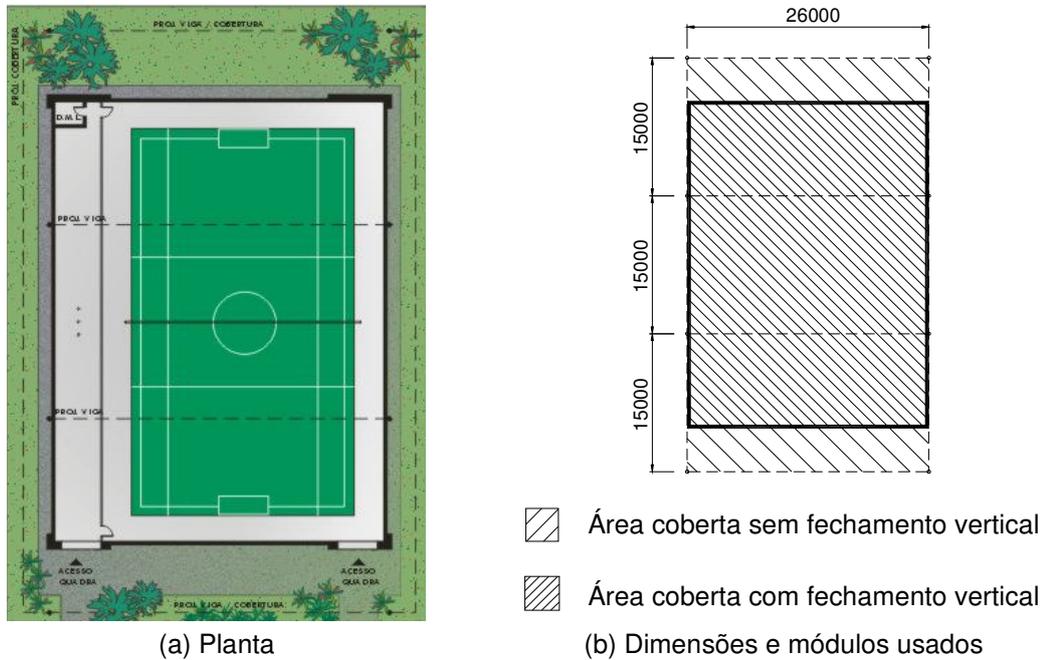
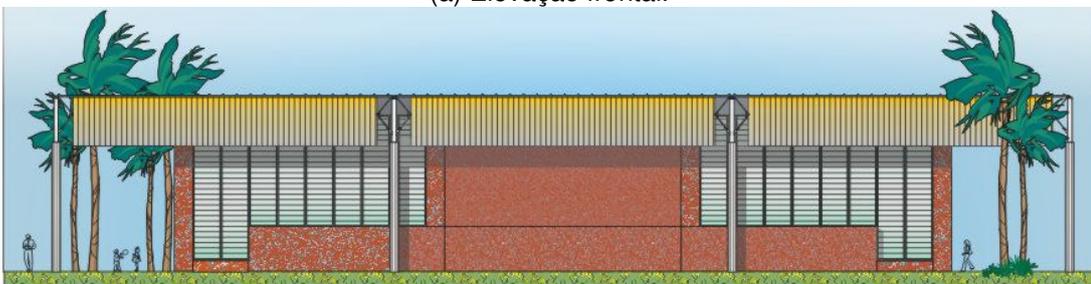


Figura 7.1: Ginásio de esportes tipo 1.



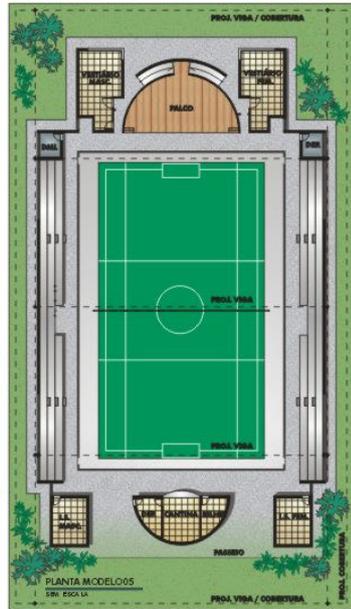
(a) Elevação frontal.



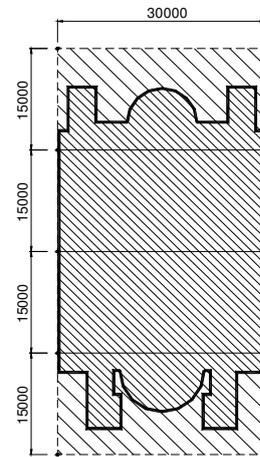
(b) Elevação lateral.

Figura 7.2: Elevações do ginásio de esportes tipo 1.

O segundo estudo apresentado é relativo ao projeto completo do ginásio. Possui quatro módulos iguais de 30x15m, também dispostos ao longo do comprimento da edificação. Consta da quadra, arquibancadas, cantina, vestiários, áreas de apoio e um espaço destinado a eventos (figuras 7.3 e 7.4).



(a) Planta.



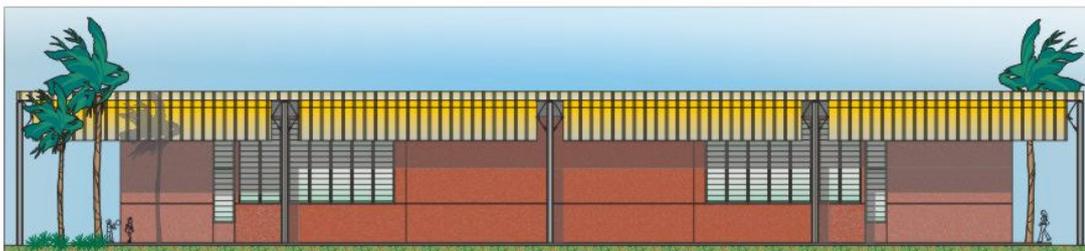
-  Área coberta sem fechamento vertical
-  Área coberta com fechamento vertical

(b) Dimensões e módulos usados

Figura 7.3: Ginásio de esportes tipo 5.



(a) Elevação frontal



(b) Elevação lateral.

Figura 7.4: Elevações do ginásio de esportes tipo 5.

A disposição do sistema de cobertura possibilitou, em todos os casos, uma área de proteção contra intempéries nas entradas principais da edificação.

7.1.2. Unidade escolar – Refeitório / área de convívio

A opção por se aplicar o sistema de cobertura V&M em uma unidade escolar surgiu da possibilidade de intercâmbio de experiências e soluções entre dissertações de mestrado, desenvolvidas durante o mesmo período na UFOP.

HENRIQUES (2005) desenvolveu um modelo de unidade escolar para ensino infantil, fundamental e médio, utilizando um sistema construtivo bastante flexível em termos de espaço, funcionamento e qualidade construtiva, direcionado à implantação em pequenas comunidades, áreas rurais e municípios carentes. O sistema consiste em dois módulos construtivos individuais, que se repetem em todo o projeto de forma a simplificar a solução estrutural e a arquitetônica. As possibilidades de agrupamento destes módulos são variadas e dependem das condições do terreno, da região em que será implantada e das necessidades da comunidade, entre outros fatores.

Esta flexibilidade também permite a utilização de diversos tipos de sistemas de cobertura para acolher o ambiente do refeitório, independente da conformação adotada para os módulos.

Dado o interesse em mostrar a flexibilidade e adaptabilidade do produto industrializado já mencionado, estudou-se uma possibilidade para a aplicação do sistema de cobertura da V&M neste ambiente, a partir de um projeto de implantação da unidade escolar desenvolvida pela autora (figura 7.5 e 7.6). O módulo de cobertura utilizado possui 20x13m, suportado por perfis metálicos tubulares.

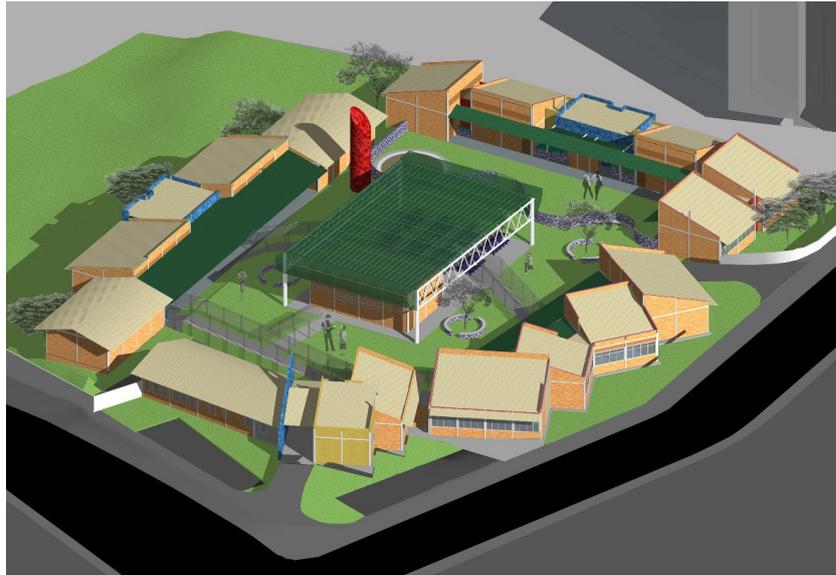


Figura 7.5: Perspectiva geral da implantação.



(a) Perspectiva do refeitório.



(b) Perspectiva do módulo.



(c) Perspectivas do módulo.

Figura 7.6: Vistas da estrutura.

Por se tratar de uma intervenção, percebe-se nas figuras uma boa interação entre os dois tipos de sistemas. A cobertura, apesar de possuir elementos estruturais de maiores dimensões se comparados aos do módulo escolar, não interfere de forma agressiva na permeabilidade visual do lugar. O sistema estrutural em treliça e o uso do perfil tubular de seção circular contribuem para tal, bem como o uso de cores claras para o acabamento da estrutura.

7.1.3. Espaço multiuso

O estudo preliminar deste projeto refere-se a um módulo do sistema de cobertura em

sua maior dimensão (30x15m), disposto em um espaço qualquer para conferir proteção e acolhimento às diversas atividades que se queira realizar. A depender do evento ou localidade, este módulo pode tornar-se fixo ou não, sustentado por pilares metálicos ou em concreto.

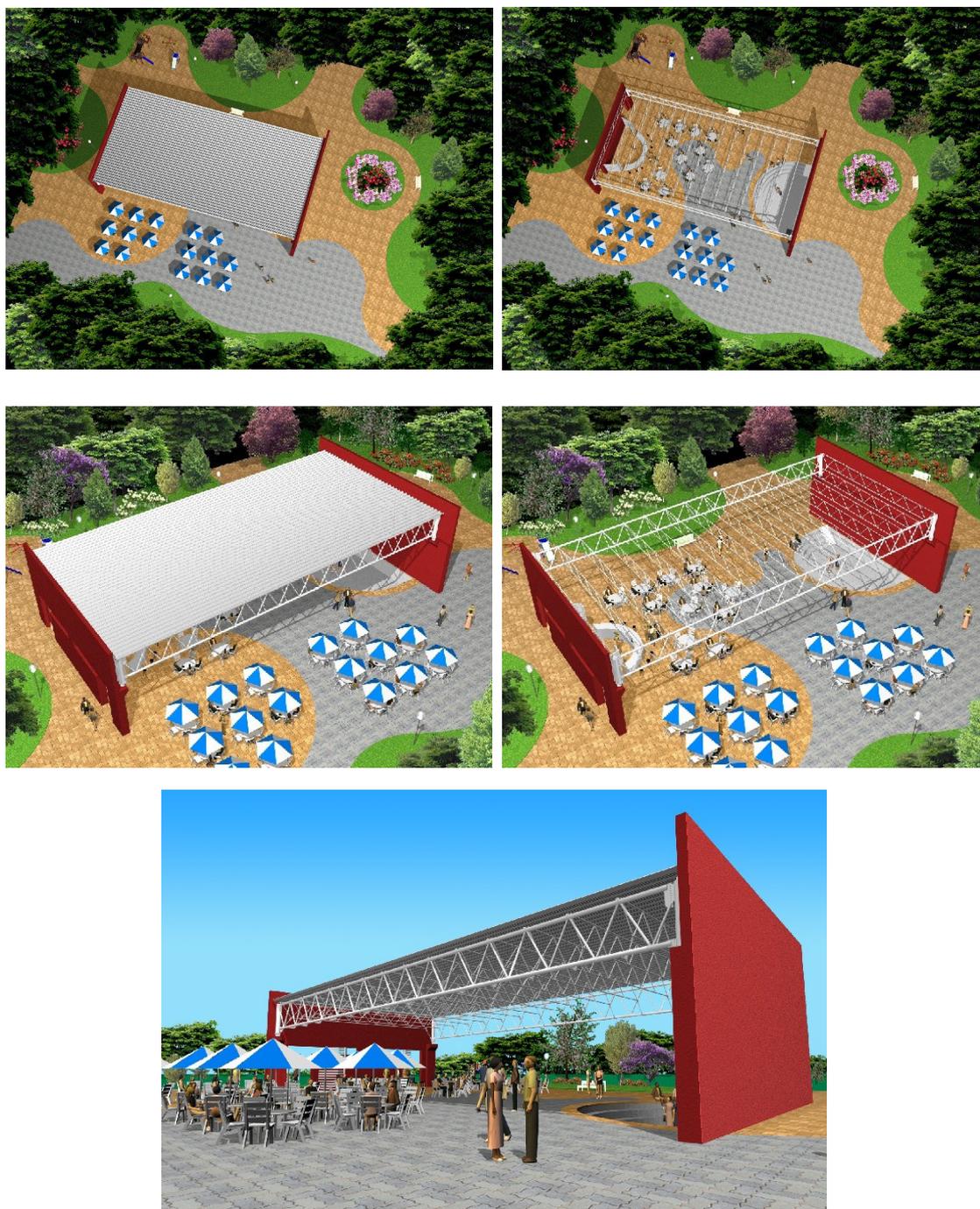


Figura 7.7: Perspectivas espaço multiuso.

A intenção é mostrar que o sistema de cobertura industrializado supre necessidades

diversificadas e não necessariamente precisa de fechamentos laterais para configurar o espaço.

O estudo foi realizado para uma área de eventos em um parque ou praça, dotado de um bar e um teatro de arena. A cobertura é sustentada por pilares em concreto e, neste caso, optou-se por realizar o fechamento lateral das extremidades da edificação em função do uso e do lay-out proposto (figura 7.7).

7.1.4. Terminal Rodoviário

O estudo para o terminal rodoviário baseou-se no trabalho de MEYER (1997), em que foram apresentadas as vantagens e potencialidades do uso do aço nesta categoria de edificações. O modelo adotado é classificado, segundo o manual de implantação de terminais rodoviários de passageiros (MITERP), como “G”, com um número médio de partidas entre 25 e 80.

Trata-se de uma tipologia arquitetônica que, em razão das suas funções específicas, requer amplos espaços contínuos, destinados às áreas de espera e circulação de usuários, além das plataformas de embarque e desembarque. Para tal, utilizou-se cinco módulos de diferentes dimensões (figuras 7.8 e 7.9).

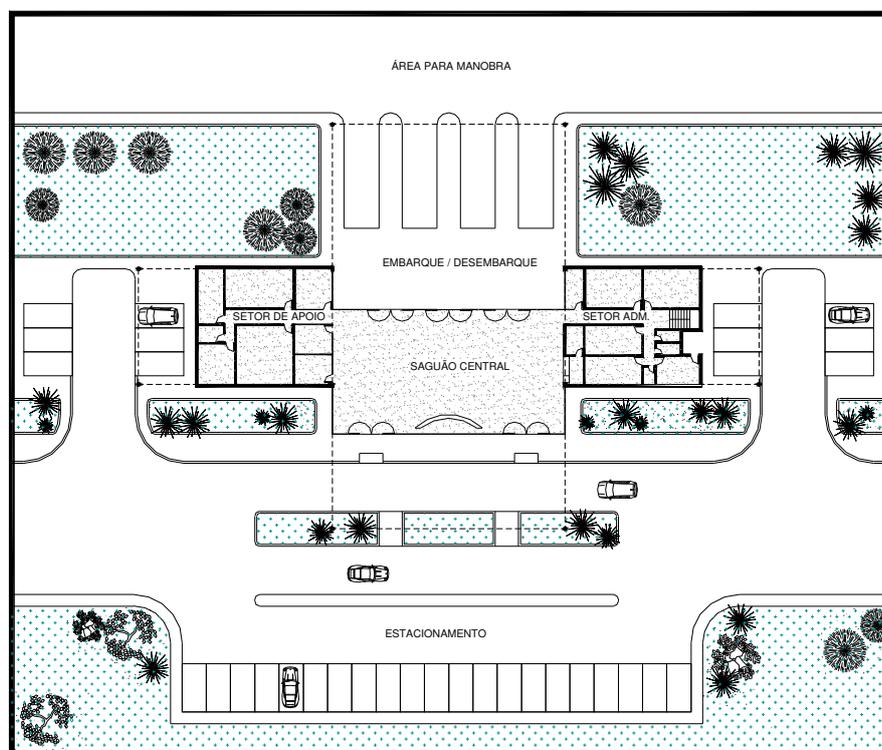


Figura 7.8: Estudo para terminal rodoviário – planta.
Fonte: Adaptado de MEYER, 1997.

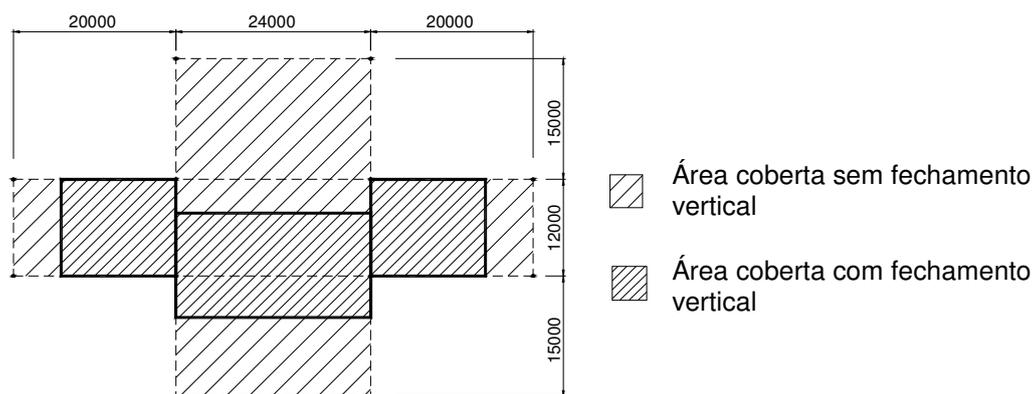


Figura 7.9: Dimensões e módulos usados.

Optou-se pelos pilares metálicos e pela utilização de parte da cobertura como marquise para proteção dos usuários na recepção da edificação (figuras 8.10 a 8.12).



(a) Com a telha.



(b) Sem a telha.

Figura 7.10: Perspectiva geral do terminal rodoviário.



Figura 7.11: Perspectiva do acesso principal.



(a) Vista Frontal.



(b) Vista posterior.

Figura 7.12: Elevações frontal e posterior do Terminal rodoviário.

CAPÍTULO 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1. COMENTÁRIOS RELATIVOS AO PRESENTE TRABALHO

O conceito de flexibilização dos espaços abordado neste trabalho é definido pela capacidade da edificação em possibilitar condições de utilização ou circunstâncias mutáveis, de forma que não seja necessária uma quantidade significativa de recursos para viabilizá-las. O espaço flexível é aquele que acolhe e possibilita, satisfatoriamente, a alteração de diferentes funções em diversas formas de organização ao longo do tempo.

Entretanto, esta flexibilidade estará comprometida a depender da quantidade de obstáculos físicos fixos distribuídos no espaço construído. É neste contexto que as estruturas de cobertura para grandes vãos têm sido utilizadas, como forma de garantir que a edificação esteja capacitada para o atendimento de diferentes exigências funcionais. O termo “grandes vãos” poderia ser definido como um espaço qualquer, isento de obstáculos que impeçam ou dificultem a sua adaptabilidade.

Em função de suas características, um espaço denominado flexível geralmente não é considerado um espaço otimizado, já que o conceito de otimização pressupõe uma definição precisa e restrita das necessidades e funções a serem cumpridas pela edificação. Satisfazer a diferentes condições, como é o caso de sistema flexíveis, inviabilizaria a exata correspondência entre as funções e desempenhos dos edifícios.

O conceito de otimização pode então, de certa forma, ser relacionado ao conceito de

identidade arquitetônica dos edifícios. As edificações denominadas otimizadas, em sua grande maioria, possuem identidades próprias, fruto das necessidades e condições específicas que deverão satisfazer.

Através desta analogia e durante o desenvolvimento do trabalho, percebeu-se que a ausência de otimização dos espaços configurados por estruturas pré-fabricadas para grandes vãos pode gerar uma certa restrição à aplicação deste tipo de sistema por parte de alguns arquitetos, principalmente em edificações de caráter não industriais/comerciais, devido à simplificação e objetividade da forma.

A explicação para este fato pode estar em uma negativa da arquitetura contemporânea em relação aos conceitos da arquitetura moderna, que preconizava o espaço livre de ornamentos, a criação e o estudo de espaços abstratos, geométricos e mínimos. Um segmento desta arquitetura, denominado racionalista, tinha como característica o propósito social de democratizar o acesso à arquitetura, através da redução de custos obtida pela simplificação e pela padronização das soluções.

Otra possível justificativa observada para o fato é que, aliada a uma suposta limitação da criatividade arquitetônica proporcionada por estas estruturas, estaria o desenvolvimento da industrialização na construção, acompanhado pela utilização crescente de elementos construtivos pré-fabricados que impõem certo conhecimento técnico para a especificação.

No entanto, como mencionado no início deste trabalho, as características inerentes às estruturas de grandes vãos, bem como o processo de produção adotado para a sua realização não são aplicáveis a qualquer tipologia. É necessário que os projetos também sejam desenvolvidos segundo uma modulação coordenada com a pré-fabricação dos elementos construtivos. No caso das estruturas de cobertura, a aplicação pode ser considerada mais ampla, pois é independente dos fechamentos do corpo da edificação.

O sistema construtivo atual é baseado nas relações entre os diversos materiais. De certa forma, as várias possibilidades de associação dos elementos construtivos em um espaço que permita a livre combinação (flexibilidade), podem determinar as características individuais de cada edificação de acordo com suas necessidades ou funções.

Este é um fator que contribui para a especificação destes sistemas em alguns setores da engenharia das construções como o hoteleiro, shopping centers ou hipermercados,

em que a industrialização nas edificações significa redução no prazo de entrega das obras, menor desperdício de materiais, menor retrabalho, conduzindo a um rápido retorno dos investimentos aplicados. Percebe-se ainda um interesse crescente destes segmentos de mercado por sistemas estruturais de cobertura pré-fabricados para grandes vãos, em que grandes espaços livres de obstáculos se fazem necessários.

Neste contexto, os sistemas de cobertura pré-fabricados e industrializados surgem como uma opção racional e com qualidade garantida pela padronização dos seus elementos, de acordo com todos os preceitos determinados pela industrialização. O conceito de produto de catálogo ou de “prateleira”, pronto para o consumo, facilita a especificação em projetos pela pequena diversidade de peças produzidas, favorece e agiliza o processo de fabricação pela padronização das peças e contribui para a rapidez e simplificação na montagem.

Contudo, a industrialização destes sistemas ainda é pouco desenvolvida no país, o que torna este mercado pouco competitivo e bastante atraente, se comparado à oferta de estruturas pré-fabricadas.

O sistema construtivo de cobertura proposto pela V&M do Brasil está em desenvolvimento para suprir este mercado, atendendo a todos os quesitos levantados neste trabalho. O contínuo aperfeiçoamento do produto é de extrema importância e virá através da experiência adquirida nos diversos empreendimentos em que pode ser utilizado.

O sistema também é um excelente meio de divulgação das características, vantagens e possibilidades de utilização do perfil tubular, já que se trata de um segmento da construção civil em ascensão, constituído basicamente por elementos estruturais em perfil aberto. O próprio conceito de estrutura industrializada favorece o aprimoramento dos procedimentos que envolvem o perfil tubular, desde o projeto e detalhamento das ligações até à fabricação e montagem das estruturas.

8.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As sugestões para trabalhos futuros concentram-se nos elementos construtivos das estruturas de cobertura para grandes vãos e suas relações, a saber:

- Promover o estudo comparativo dos sistemas similares existentes quanto à viabilidade econômica, atrelada à eficiência estrutural e à relação vão/peso;

- Realização de avaliação pós-ocupação em edificações que utilizaram estruturas de grandes vãos, em termos de estanqueidade das coberturas, conforto térmico e acústico dos espaços, verificação dos sistemas de coleta pluvial e da compatibilidade dos carregamentos aplicados à estrutura após o início das atividades com aqueles especificados no cálculo;
- Estudo das possibilidades de interface da estrutura com outros tipos de sistema de vedação na cobertura como as membranas, que possibilitam maior luminância do espaço coberto reduzindo o consumo de energia durante o dia;
- Aprimoramento das ligações parafusadas entre os elementos estruturais, de forma a reduzir o número de peças necessárias para a montagem da estrutura, tornando o sistema mais racional e leve;
- Desenvolvimento de sistema estrutural e concepção arquitetônica para as marquises e adendos à estrutura para proteção contra intempéries em estacionamentos externos, docas ou espaços similares, compatíveis com a estrutura tubular.

REFERÊNCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1980). **Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações – NBR 6120**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1988). **Forças devidas ao vento em edificações – NBR 6123**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1984). **Ações e segurança nas estruturas – NBR 8681**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1986). **Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios (Método dos Estados Limites) – NBR 8800**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1990). **Proteção contra incêndio por chuveiro automático - NBR10897**. Rio de Janeiro.

ANDRADE, Péricles Barreto de. (1994). **Curso básico de estruturas de aço**. IEA Editora. 192p. Belo Horizonte.

BELLEI, Ildony H. (1994). **Edifícios industriais em aço**. 1ª.Ed. Pini. 494p. São Paulo.

BEDÊ, Raimundo C. F. (1998). **Sistemas estruturais**. Notas de aula da disciplina Sistemas estruturais do curso de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Minas Gerais. 318p. Belo Horizonte.

BITELLI, Flávio Cesar., GARCIA, Anderson. (2001). **Utilização de Joists no mercado da construção civil**. Contribuição técnica apresentada no IV Seminário Internacional O Uso de Estruturas Metálicas na Construção Civil / I Congresso Internacional da Construção Metálica (I CICOM) – São Paulo.

BLESSMANN, Joaquim. (1986). **Acidentes causados pelo Vento**. 3ª Ed. Editora da UFRS. 81p. Porto Alegre.

BRUNA, Paulo Júlio Valentino. (2002). **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. 2ª ed. Perspectiva, Ed. da Universidade de São Paulo. 310p. São Paulo.

CARDOSO, Francisco Ferreira. (2000). **Coberturas em telhados**. Notas de aula da disciplina Tecnologia da Construção de Edifícios II, do Departamento de engenharia de construção civil. Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARVALHO, Antonio Pedro Alves de. (2005). **Coordenação modular**. Notas de aula da disciplina Análise, Racionalização e Coordenação de Projetos, do curso de Especialização em Gestão e Tecnologia da Produção de Edifícios. Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Construção Metálica. (2005). Publicação especializada do CBCA, n. 68. São Paulo.

Construção Metálica. (2005). Publicação especializada do CBCA, n. 70. São Paulo.

COSTA, Regina Xavier. (2004). **O uso de perfis tubulares metálicos em estruturas de edifícios e sua interface com o sistema de fechamento vertical externo**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, UFOP. 180p. Ouro Preto.

D'ALAMBERT, Flávio. (2004). **Galpões em pórticos com perfis estruturais laminados**. Coletânea do Uso do Aço, Volume 3, Gerdau Açominas.

DIAS, L. A. de Matos. (2001). **Aço e Arquitetura: estudo de edificações no Brasil**. Editora Zigurate, São Paulo.

DIAS, L. A. de Matos. (1997). **Estrutura de Aço: conceitos, técnicas e linguagem**. Editora Zigurate, São Paulo.

DORFMAN, Gabriel. (2001). **Flexibilidade como balizador do desenvolvimento das técnicas de edificação no século XX**. Cadernos eletrônicos da pós, vol.3. Brasília.

DUTTA, D., WARDENIER, J., YEOMANS, N., SAKAE, K., BUCAK, Ö. AND PACKER, J. A. (1998). **Design Guide for Fabrication, Assembly and Erection of Hollow Section Structures**. CIDECT (Ed.) and TÜV Verlag, Cologne, Germany.

EEKHOUT, Mick. (1996). **Tubular structures in architecture**. TU Delft: CIDECT.125p. Genebra.

ESTÉVEZ, Vera Lúcia F. de. (2002). **Edifícios de grandes vãos: Aspectos arquitetônicos, estruturais e econômicos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

EUROCODE-3. (2000). **Design of steel structures**. European Committee of Standardization.

FIRMO, Célio da Silveira. (2003). **Estruturas tubulares enrijecidas por superfícies de dupla curvatura (hiperbólicas)**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, UFOP. 210p. Ouro Preto.

FURTINI, Flávia Macedo. Arquivo pessoal de imagens.

GERKEN, Fernanda de Souza. (2003). **Perfis Tubulares: aspectos arquitetônicos e estruturais**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, UFOP. 388p. Ouro Preto.

HENRIQUES, Cristiane Lopes. (2005). **Sistema Construtivo em Perfis Formados a Frio Para Unidades Escolares de Pequeno e Médio Porte**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, UFOP. 188p. Ouro Preto.

GONÇALVES, Orestes M. (2005). **Sistemas prediais de combate a incêndios – Sprinklers**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Notas de aula Sistemas Prediais I. São Paulo. Disponível no site: www.pcc465.pcc.usp.br

KRÜGER, Paulo Gustavo von. (2000). **Análise de painéis de vedação nas edificações estrutura metálica**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, UFOP. 167p. Ouro Preto.

LOPES, Maira Moraes. (2005). **Substituição parcial de armadura de flexão por fibras de aço em vigas de concreto**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). COPPE/UFRJ. 130p. Rio de Janeiro.

MANUAL VALLOUREC & MANNESMANN TUBES – Catálogos com Informações Técnicas – Tubos Estruturais de Seção Circular (MSH) – Dimensões, propriedades geométricas e materiais, 2000.

MANUAL VALLOUREC & MANNESMANN TUBES – Catálogos com Informações Técnicas – Tubos Estruturais de Seções Circulares, Quadradas e Retangulares, 2002.

MAZON, A. A. O. (2005). **Ventilação natural em galpões utilizando lanternins**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, UFOP. 214p. Ouro Preto.

MEDEIROS, Heloisa. (2003). **Quebra de recordes, seja fast**. Revista Técnica n° 79. São Paulo. Disponível no site <<http://www.piniweb.com>> Acesso em: fevereiro de 2005.

MEYER, Karl Fritz. (2002). **Estruturas Metálicas: estruturas com tubos: projeto e introdução ao cálculo**. KM Engenharia Ltda, 224p. Belo Horizonte.

MEYER, Marcus Vinicius Rios. (1997). **O aço como opção construtiva e expressão arquitetural em terminais rodoviários**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, UFOP. 243p. Ouro Preto.

NETO, Mário Danieli. (2001). **Análise Setorial: Galpões Industriais e Comerciais – Volume I**. Gazeta Mercantil. 155p. São Paulo.

NETO, Mário Danieli. (2001). **Análise Setorial: Galpões Industriais e Comerciais – Volume II**. Gazeta Mercantil. 155p. São Paulo.

NUIC, Laila. (2003). **Proposta de sistema estrutural modular em perfis metálicos tubulares para galpões**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, UFOP. 243p. Ouro Preto.

PBS/ Building Big: Banco de dados. Disponível em:
<<http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig>>. Acesso em: agosto de 2005.

PACKER, Jeffrey A., HENDERSON, J.E. (1997). **Hollow structural section connections and trusses**. 2nd. Canadian Institute of Steel Construction. Toronto.

PANNONI, Fabio Domingos. (2004). **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. Coletânea do Uso do Aço, volume 2, Gerdau Açominas.

PAULETTI, Ruy Marcelo de Oliveira. (2003). **História, Análise e Projeto das Estruturas Retesadas**. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para o concurso de Livre-Docência junto ao Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. São Paulo

PELLICO, Hilda Cotegipe. (2004). **Proposta de sistema construtivo modular para coberturas usando Perfis Tubulares**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, UFOP. 202p. Ouro Preto.

QUEIROZ, Gílson. (1988). **Elementos das Estruturas de Aço**. 2^a edição. Belo Horizonte.

RAAD Jr, Antoine Aziz. (1999). **Diretrizes para a fabricação e montagem das estruturas metálicas**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, UFOP. 218p. Ouro Preto.

RAJA, Raffaella. (1993). **Arquitetura pós-industrial**. Editora Perspectiva, São Paulo

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. (2000). **A Concepção Estrutural e a Arquitetura**. Editora Zigurate, 271p. São Paulo.

Revista TÉCNNE – Quando tudo se encaixa. São Paulo, n.37. nov./dez.1998. Disponível no site: <http://www.piniweb.com> Acesso em agosto 2005.

Revista TÉCNNE – Uma nova era para o aço. São Paulo, n.36. set./out.1998. Disponível no site: <http://www.piniweb.com> Acesso em fevereiro 2005.

Revista TÉCNNE – A flexibilidade do aço. São Paulo, n.53. agosto de 2001. Disponível no site: <http://www.piniweb.com> Acesso em fevereiro 2005.

Revista TÉCNNE – Proteção para telhados. São Paulo, n.80. novembro de 2003. Disponível no site: <http://www.piniweb.com> Acesso em agosto 2005.

Revista TÉCNNE – Coberturas. São Paulo, n.87. junho de 2004. Disponível no site: <http://www.piniweb.com> Acesso em fevereiro 2005.

RODRIGUES, Cláudio Marcelo de Faria. **Estudo sobre a utilização do aço na arquitetura.** Universidade Brás Cubas, São Paulo. Disponível no site: <http://www.arquiteturadoaco.cjb.net/> Acesso em agosto 2005.

SÁLES, José Jairo, MALITE, Maximiliano, GONÇALVES, Roberto Martins. (1999). **Ação do Vento nas Edificações.** Editora da EESC - USP. São Carlos.

SÁLES, J.J.,MALITE M., PRELOURENTZOU P.A, GONÇALVES R.M. (1999). **Construções em Aço: Projeto.** Apostila. Editora da EESC – USP. São Carlos.

SÁLES, José Jairo, MALITE, Maximiliano, GONÇALVES, Roberto Martins. (1998). **Sistemas Estruturais – Elementos Estruturais.** Editora da EESC - USP. São Carlos.

SANTOS, Paulo Ferreira. (1961). **Arquitetura da sociedade industrial.** EA/UFMG, Belo Horizonte.

SANTOS, Ana Laura E.F. (2003). **Ligações de barras tubulares para estruturas metálicas planas.** Dissertação (Mestrado em engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. 155p. Campinas.

SIDERBRÁS – Siderurgia Brasileira S.A. (1987). **Galpões para Usos Gerais:** publicações técnicas para o desenvolvimento da construção metálica. Brasília.

SILVA, Geraldo G da. (1986). **Arquitetura do Ferro no Brasil**. Nobel, 249p. São Paulo.

VALLOUREC & MANNESMANN do Brasil. Arquivo de imagens.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Arquivo de imagens.

WARDENIER, J. (2000). **Hollow sections in structural applications**. The Netherlands: CIDECT. Delft University of Technology.

ANEXO I

QUESTIONÁRIOS

Esta é uma pesquisa acadêmica, de uma dissertação de Mestrado a ser desenvolvida pela mestranda Flávia Macedo Furtini durante o período de 2004/05 pela Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. Tem por interesse conhecer o mercado de estruturas metálicas de coberturas de grande porte e colher dados para um posterior desenvolvimento de proposta arquitetônica e estrutural para edificações comerciais/industriais de grandes vãos.

Além destas novas propostas a serem apresentadas, são objetos deste estudo os conhecimentos do seu mercado, bem como a análise de seus custos e sua competitividade, apresentando também soluções para as diversas falhas de projeto e de execução a serem levantadas como parte do escopo do presente trabalho.

As patologias deste tipo de construção são fundamentais para o desenvolvimento deste estudo e as falhas dos processos construtivos serão objeto de busca intensiva.

PERFIL DO ENTREVISTADO

Empresa	
Endereço	
Telefone/Fax	
Home Page	
Nome do entrevistado	
Função	
E-mail	

PÚBLICO ALVO DA PESQUISA
Arquitetos e projetista de Estruturas Metálicas

01	Cite, em ordem de importância, os 03 (três) principais clientes de estrutura metálica de cobertura da sua Empresa.	
	Cliente A	
	Cliente B	
	Cliente C	
02	Cite, em ordem de importância, os 03 (três) principais fornecedores/fabricantes de estrutura metálica:	
	Fornecedor A	
	Fornecedor B	
	Fornecedor C	
03	Dentre os três fabricantes citados, deixe claro aquele que na sua opinião presta os melhores serviços e aquele que não presta os melhores serviços:	Melhor serviço
		Pior serviço
04	O fornecedor/fabricante escolhido por prestar o melhor serviço possui sistema de estrutura metálica pré-concebido? Este executa também estrutura metálica de acordo com um projeto (arquitetônico e/ou estrutural) desenvolvido por outras empresas?	
	Tipo de obra executada em função do projeto	Porcentagem (%)
	Obras pré-concebidas	
	Obras com arquitetura definida	
	Obras com projeto estrutural definido	
05	As estruturas geralmente projetadas por sua empresa são para edificações de quantos pavimentos?	
	Nº de pavimentos	Porcentagem (%)
	01 pavimento	
	02 pavimentos	
	03 pavimentos ou mais	
06	Modulação da estrutura	
	Quais as modulações comumente projetadas para a estrutura principal dos galpões?	

	Na escolha da modulação, quais os requisitos adotados?	
	Existem restrições impostas pelos clientes quanto à modulação? Especifique.	Restrições impostas pelos clientes
		Lay Out interno
		Preservação de grandes vãos livres
		Economia / racionalidade.
		Boa relação vão/custo
		Limitações devido a estacionamento no subsolo
		Outros. Quais?
07	Aspectos de Projetos	
	Na fase de concepção do projeto, quais são os fatores que você considera na escolha do tipo de estrutura a ser empregada?	
	Qual a importância, no seu conceito, da estética do produto que você projeta?	
	E em relação à funcionalidade?	
	Existe alguma restrição do mercado no que diz respeito aos materiais a serem empregados em obras onde a estética é um fator a ser explorado?	
	Em termos arquitetônicos, na sua opinião, quais são as principais necessidades que o mercado busca satisfazer?	Características arquitetônicas
		Acabamento da estrutura
		Esbeltez e leveza
		Arquitetura desenvolvida de forma a tornar a estrutura viável
		Grandes vãos
	Outros. Quais?	
	Quais são os principais pontos que sua empresa se preocupa ao projetar um sistema de cobertura em estrutura metálica?	

08	Você pode indicar pelo menos três fornecedores de sua confiança para as especialidades a seguir?		
8.1	Telhas ZIPADAS	A	
		B	
		C	
8.2	Isolamento térmico para cobertura	A	
		B	
		C	
8.3	Calhas, rufos, cumeeiras e fechamentos	A	
		B	
		C	
8.4	Elementos zenitais translúcidos	A	
		B	
		C	
8.5	Ventiladores industriais naturais, lineares.	A	
		B	
		C	
8.6	Pintura intumescente	A	
		B	
		C	
8.7	Sistema de Piso (laje)	A	
		B	
		C	
09	Comente as soluções adotadas para os sistemas de cobertura metálica projetados por sua empresa, nos itens a seguir:		
9.1	Sistema principal de apoio da cobertura metálica		
	Em projetos realizados pela sua empresa, é comum a utilização de pilares de concreto pré-moldado e vigas de cobertura metálica? Em caso positivo comente as vantagens e desvantagens. Em caso negativo, também emita uma opinião.	Incidência de projetos com:	
		Pilar Concreto (%)	Pilar Aço (%)
		Vantagens	Vantagens
		Desvantagens	Desvantagens
Comentários			

Em caso de utilização de pilares metálicos para estruturas principais de apoio da cobertura metálica, quais as restrições (por ordem de importância) já enfrentadas por você? Enumerar abaixo.					
Necessidade de proteção contra incêndio					
Custo da estrutura metálica em relação ao concreto					
Corrosão					
Resistência do arquiteto / construtor (falta de informação)					
Problemas estéticos					
Custo de seguro					
Outros					
As vigas de cobertura (tesouras, terças, vigas secundárias) em seus projetos são normalmente constituídas de treliças ou vigas de alma cheia? Comente os tipos de perfis predominantes.		Perfis conformados a frio	Perfis alma cheia	Seções treliçadas	Outros
	Terça				
	Viga secundária				
	Viga principal				
Qual a proteção contra corrosão normalmente sua empresa recomenda nos projetos de obras em meio agressivo e em situações não agressivas?	Meio Agressivo		Meio Não Agressivo		
Para as estruturas de cobertura, quais são as cargas com seus respectivos valores mais freqüentemente adotados (cargas acidentais e cargas permanentes)?	Cargas				Valores (KN/m ²)
	Cargas Permanentes				

		Cargas Acidentais		
	Em seus projetos, você solicita esta especificação das cargas aos seus clientes?			
9.2	Sistemas de Piso			
	Qual o sistema de piso (laje) que você usualmente especifica?	Tipos de Piso (lajes)		Porcentagem (%)
		Lajes maciças (moldadas em loco)		
		Lajes pré-fabricadas alveolares		
		Lajes ou painéis pré-fabricados maciços		
		Lajes pré-fabricadas em concreto com tijolos cerâmicos		
		Outros tipos. Cite.		
	O sistema de deck metálico é especificado? Qual o fabricante? Em quais situações?			
	Comentários / vantagens / desvantagens dos sistemas mais empregados.			
9.3	Telhas utilizadas			
	Tipo / fabricante			
	São zipadas?			
	Inclinação adotada			
	Material de constituição da telha			
	Citar problemas encontrados na fase de projeto			
9.4	Isolamento térmico ou acústico			

	Você especifica o material isolante térmico e/ou acústico nos seus projetos? Qual o mais empregado e o fabricante?		
	Quais motivos levam à escolha da solução adotada?		
9.5	Elementos zenitais (iluminação natural)		
	Os elementos zenitais são projetados e/ou especificados por você?		
	Qual o material translúcido adotado e o fabricante?		
	A vedação do sistema especificado é competente? Ocorrem vazamentos?		
	Comentários / vantagens / desvantagens.		
9.6	Plataformas metálicas sobre a cobertura		
	Você normalmente projeta e/ou especifica passarelas metálicas para manutenção e instalação de equipamentos sobre a cobertura?		
	Qual a carga adotada para o seu dimensionamento?		
	Comente a solução projetada e suas vantagens e eventuais problemas ocorridos.		
9.7	Ventilação natural		
	São projetados/especificados ventiladores ou exaustores naturais?		
	Qual o tipo, material de composição e fabricante?		
	Comente a solução, vantagens e desvantagens.		
10	Quais são, por ordem de importância, as desvantagens em se utilizar nos seus projetos sistemas pré-engenhados:	Sistema de Cobertura	Sistema Estrutural

	Custo elevado		
	Demora no fornecimento		
	Incompatibilidade de projeto		
	Estanqueidade duvidosa		
	Histórico de problemas do fornecedor		
	Acabamento inadequado		
	Má qualidade do material que compõe o sistema		
	Complexidade de montagem e inflexibilidade em caso de interferências		
	Limitação na absorção de cargas		
	Atendimento ruim pós-obra		
	Baixa durabilidade		
	Demonstrações de incapacidade para planejamento e elaborações de plano de ação		
	Histórico de pessoal despreparado para montagem		
	Falta de segurança na montagem		
11	Comente casos (que não necessariamente contaram com a sua participação) que levaram grandes estruturas metálicas ao colapso ou necessitaram de reforços não previstos para correção de falhas. Caso seja possível indique as causas do problema e o que poderia ser feito evitá-lo.		
12	Qual é a mídia que você mais utiliza em suas atividades?		
13	Existe algum aspecto importante sobre o tema que não foi abordado nesta pesquisa? Favor comentar e enumerar.		

PÚBLICO ALVO DA PESQUISA
Clientes finais de obras em Estruturas Metálicas

01	Características da Empresa			
1.1	Dentre os segmentos a seguir destacados, qual identificaria melhor a sua área de atuação?	Segmento de mercado		
		Obras padronizadas (OP) - Centros de operadores logísticos e grandes distribuidores, Shopping Center (espaço de lojas e mall), Atacadistas, Materiais de construção, Concessionárias de veículos, Supermercados, Centros de distribuição ligados aos varejistas.		
		Obras especiais (OE) – Ginásios Esportivos, Centros de convenções, Teatros, Parques de exposições e diversões, Shopping center (cúpulas/Sky light), Aeroportos, Igrejas e Terminais rodoviários.		
		Obras industriais (OI) – Indústrias, Termoelétricas e Galpões destinados a cargas especiais e estoque horizontalizado.		
1.2	Qual é a expectativa de crescimento da sua empresa e quais os índices/indicadores econômicos ou outro parâmetro você utiliza nesta previsão?	Ano	Expectativa de crescimento (%)	Índice/indicador adotado
		2005		
		2006		
		2007		
1.3	Você sabe estimar em m ² o histórico de crescimento da sua Empresa nos últimos cinco anos?	Ano	Área construída (m ²)	
		1999		
		2000		
		2001		
		2002		
		2003		
	Quais os tipos de materiais	Tipos de Materiais	Porcentagem (%)	

	são normalmente empregados nas estruturas de suas obras?	Estrutura Metálica	
		Estrutura em concreto pré-moldado	
		Estrutura de Concreto Moldada "in loco"	
1.4	Em suas obras, quais os tipos de contrato são mais frequentes?	Modalidade de contrato	Porcentagem (%)
		Empreitada Global	
		Administração	
		Administração custo alvo	
		Preços unitários	
1.5	A sua empresa possui estrutura própria ou terceiriza o sistema de Controle de Qualidade de materiais e serviços?		
02	Você pode indicar pelo menos três profissionais/empresas para as especialidades a seguir?		
	Projetistas	A	
		B	
		C	
	Gerenciadores	A	
		B	
		C	
	Fabricantes de Estrutura Metálica	A	
		B	
		C	
	Construtores	A	
		B	
		C	
03	Dentre os três citados no item 02, deixe claro aqueles que, em sua opinião, prestam os melhores serviços e aqueles que não prestam os melhores serviços:		Melhor serviço
		Projetistas	Pior serviço
		Gerenciadores	
		Fabricantes	
		Construtores	

04	O melhor fabricante de estrutura metálica escolhido (item 03) possui sistema pré-concebido ou fabricou/montou a estrutura metálica de acordo com um projeto (arquitetônico e/ou estrutural) desenvolvido pelos projetistas?		
	Tipo de obra executada em função do projeto	Porcentagem (%)	
	Obras pré-concebidas		
	Obras com arquitetura definida		
	Obras com projeto estrutural definido		
05	As estruturas geralmente utilizadas por sua empresa são para edificações de quantos pavimentos?		
	Nº de pavimentos	Porcentagem (%)	
	01 pavimento		
	02 pavimentos		
	03 pavimentos ou mais		
06	Modulação da estrutura		
	Quais as modulações comumente solicitadas / utilizadas pela sua empresa, para a estrutura principal de suas obras?		
	Na escolha da modulação, quais são os fatores, em ordem de importância, mais relevantes?	Fatores	
		Layout interno	
		Preservação de grandes vãos livres	
		Economia / racionalidade.	
		Boa relação vão / custo	
Limitações devido a estacionamento no subsolo			
Outros. Quais?			
07	Aspectos de projeto		
	Qual a importância, no seu conceito da identidade visual da sua Empresa?		
	A estética é valorizada no seu empreendimento?		

	E a funcionalidade?		
	Em termos arquitetônicos, em sua opinião, quais são as principais necessidades que o mercado busca satisfazer?	Características arquitetônicas	
		Acabamento da estrutura	
		Esbeltez e leveza	
		Arquitetura desenvolvida de forma a tornar a estrutura viável e agradável	
		Grandes Vãos	
		Outros	
08	Comente as soluções adotadas para o sistema de cobertura metálica, nos itens a seguir:		
8.1	Sistema principal de apoio da cobertura metálica		
	Em suas obras, é comum a utilização de pilares de concreto pré-moldado e vigas de cobertura metálica? Em caso positivo comente as vantagens e desvantagens. Em caso negativo, também emita uma opinião.	Incidência de obras com:	
		Pilar Concreto (%)	Pilar Aço (%)
		Vantagens	Vantagens
		Desvantagens	Desvantagens
		Comentários	
	A estrutura principal da cobertura era formada por tesouras, treliças ou vigas de alma cheia? Comente os tipos de perfis predominantes.		
	Existem restrições à utilização de pilares metálicos? Quais?		
	Quais são as cargas que você considera como sendo cargas de utilização (elementos sustentados pela estrutura após o término da montagem)?		
	Comentários / vantagens / desvantagens		
8.2	Sistema de piso		
	Qual o sistema de piso (laje) mais utilizado em seus empreendimentos?	Tipos de Piso (lajes)	Porcentagem %

	Lajes maciças (moldadas em loco)	
	Lajes pré-fabricadas alveolares	
	Lajes ou painéis pré-fabricados maciços	
	Lajes pré-fabricadas em concreto com tijolos cerâmicos	
	Outros tipos. Cite	
	O sistema de deck metálico é utilizado? Qual o fabricante? Em quais situações?	
	Comentários / vantagens / desvantagens	
8.3	Qual o tratamento adotado para proteção/pintura para estruturas em suas obras?	
8.4	Telhas utilizadas	
	Tipo / fabricante	
	São zipadas?	
	Inclinação adotada	
	Apresentou vedação eficiente?	
	Apresentou problema de corrosão? Comente	
	Material de constituição da telha	
	Citar problemas encontrados	
8.5	Isolamento térmico ou acústico	
	Nas estruturas de cobertura, é comum a utilização de material isolante térmico e/ou acústico? Qual é o mais empregado e fabricante?	
	Quais motivos levam à escolha da solução adotada?	
8.6	Elementos zenitais (iluminação natural)	
	A sua empresa normalmente têm utilizado sistemas de iluminação zenital? Qual o material translúcido adotado e fabricante?	
	A vedação do sistema zenital empregado é eficiente? Ocorrem vazamentos?	
	Comentários / vantagens / desvantagens deste sistema.	

8.7	Passarelas metálicas sobre a cobertura		
	São utilizadas passarelas metálicas sobre a cobertura com a finalidade de absorver eventual trânsito de pessoas e instalação de equipamentos em seus empreendimentos?		
	Qual a carga adotada para o seu dimensionamento?		
	Comente a solução adotada e eventuais problemas ocorridos.		
8.8	Ventilação natural		
	São utilizados ventiladores ou exaustores naturais em suas obras?		
	Qual o tipo, material de composição e fabricante?		
	Comente a solução, vantagens e desvantagens		
09	Indique quais são, em ordem de importância, os pontos principais que seriam capazes de convencê-lo a adquirir um determinado:	Sistema de Cobertura	Sistema Estrutural
	Preço competitivo		
	Agilidade no fornecimento e montagem		
	Acabamento da estrutura, leveza e esbeltez.		
	Flexibilidade na absorção de cargas		
	Capacidade de adequar-se ao projeto arquitetônico proposto		
	Durabilidade		
	Credibilidade do fornecedor		
	Flexibilidade de montagem		
	Sistema prático e inteligente		
	Sistema oferece pouca manutenção		
	Bom atendimento durante a montagem		
	Garantia dos serviços executados		
	Atendimento pós-obra		
	Experiência da empresa fornecedora		
Proposta técnica detalhada			
Capacidade de oferecer grandes vãos livres (sem apoios)			

	Garantia de estanqueidade		
10	Da mesma forma, indique, em ordem de importância, os pontos negativos que fariam você desistir de adquirir um determinado:	Sistema de Cobertura	Sistema Estrutural
	Custo elevado		
	Demora no fornecimento		
	Incompatibilidade de projeto		
	Estanqueidade duvidosa		
	Histórico de problemas do fornecedor		
	Acabamento inadequado		
	Má qualidade do material que compõe o sistema		
	Complexidade de montagem e inflexibilidade em caso de interferências		
	Limitação na absorção de cargas		
	Atendimento ruim pós-obra		
	Baixa durabilidade		
	Demonstrações de incapacidade para planejamento e elaborações de plano de ação		
11	Existiram problemas relativos ao prazo já enfrentados por você nos casos de utilização de cobertura metálica (orçamento, fechamento do contrato, projeto, fabricação, montagem) em suas obras?		
12	Comente casos (que não necessariamente contaram com a sua participação) que levaram grandes estruturas metálicas ao colapso ou necessitaram de reforços não previstos para correção de desvios. Caso seja possível indique as causas do problema e o que poderia ser feito evitá-lo.		
13	Comente os principais problemas de manutenção das estruturas metálicas de cobertura.		
14	Qual é a mídia que você mais utiliza em suas atividades?		
15	Existe algum aspecto importante sobre o tema que não foi abordado nesta pesquisa? Favor comentar e enumerar.		

PÚBLICO ALVO DA PESQUISA
Fabricantes de Estruturas Metálicas

01	Características do processo de fabricação					
1.1	Qual é a expectativa de crescimento da sua empresa e quais os índices/indicadores econômicos ou outro parâmetro você utiliza nesta previsão?	Ano	Expectativa de crescimento (%)		Índice/indic. adotado	
		2005				
		2006				
		2007				
1.2	Qual é o histórico de crescimento da sua Empresa nos últimos cinco anos, considerando as toneladas produzidas.	Ano da produção	Tonelagem produzida		Área de cobertura (m ²)	
			Estrutura	Cobertura		Área de estrut. (m ²)
		1999				
		2000				
		2001				
		2002				
1.3	Qual é o preço de mercado das estruturas que você mais freqüentemente produz?	Produto			Valor (R\$)	
		Estruturas pesadas				
		Estruturas leves de perfis dobrados				
		Estruturas de cobertura				
		Estruturas tubulares				
1.4	Quais são os componentes do custo na fabricação de estruturas em sua empresa?	Componentes do Custo			Porcentagem em (%)	
		Aço				
		Projetos				
		Mão de obra de fábrica				
		Mão de obra de montagem				
		Transporte				
		Impostos				
Insumos (eletrodos, oxigênio, etc.)						

		Outros. Quais?	
1.5	Você terceiriza algum serviço na sua produção? Se sim especifique quais.	Tipo de serviço	
		Projeto	
		Fabricação (todo ou parte da estrutura)	
		Jateamento e pintura	
		Montagem	
		Outros (calhas, rufos, elementos zenitais, isolamentos, etc)	
1.6	Nas obras nas quais sua empresa é contratada, quais os tipos de contrato são mais frequentes?	Modalidade de contrato	Porcentagem (%)
		Empreitada Global	
		Administração	
		Administração custo alvo	
		Preços unitários	
1.7	Dentre os segmentos a seguir destacados, qual seria a sua porcentagem de fabricação considerando a tonelagem produzida por segmento?	Segmento de mercado	Porcentagem fabricada (%)
		Obras padronizadas (OP) - Centros de operadores logísticos e grandes distribuidores, Shopping Center (espaço de lojas e mall), atacadistas, materiais de construção, Concessionárias de veículos, Supermercados, Centros de distribuição ligados aos varejistas.	
		Obras especiais (OE) – Ginásios Esportivos, Centros de convenções, Teatros, Parques de exposições e diversões, Shopping center (cúpulas/Sky light), aeroportos, igrejas e terminais rodoviários.	
		Obras industriais (OI) – Indústrias, termoelétricas e galpões destinados a cargas especiais e estoque horizontalizado.	

1.8	Você sabe estimar a área construída para cada um dos segmentos relacionados na questão 1.9 (OP, OE, OI)?	Segmento de mercado		Área construída(m ²)	
		Obras Padronizadas			
		Obras Especiais			
		Obras Industriais			
1.9	Quais os tipos de perfis normalmente empregados na fabricação das estruturas?	Tipos de perfis		Porcentagem (%)	
		"I" ou "H" soldados			
		"I" ou "H" laminados			
		Cantoneiras laminadas			
		"U" laminados			
		Tubos de seção quadrada e retangular			
		Tubos de seção circular			
		Perfis conformados a frio			
		Outros (especificar)			
1.10	Dentre os perfis especificados na questão anterior, cite os que você tem maior facilidade na fabricação da estrutura e os que têm maior dificuldade (Especifique os motivos).				
	Grau de dificuldade	Tipo de perfil		Motivo da opção	
	Maiores facilidades				
	Maiores dificuldades				
1.11	Os cortes e ligações nas estruturas apresentam dificuldades para a sua empresa?	Perfil	Corte	Ligação Soldada	Ligação Parafusada
		"I" ou "H" soldados			
		"I" ou "H" laminados			
		Cantoneiras laminadas			
		"U" laminados			
		Tubos de seção quadrada e retangular			

		Tubos de seção circular			
		Perfis conformados a frio			
1.12	Em relação ao item anterior, qual seria o tipo de perfil que apresentaria a maior e menor dificuldade, relativo aos cortes e ligações?	Maior dificuldade	Menor dificuldade		
1.13	Existe previsão de expansão da Fábrica? Se a resposta for afirmativa, esta previsão está voltada para qual investimento? Especifique.	Maior área construída			
		Novos Equipamentos			
		Novas unidades industriais			
		Outros. Quais?			
1.14	A sua empresa possui estrutura própria ou terceiriza o sistema de Controle de Qualidade de materiais e serviços?				
02	Cite, em ordem de importância, os 03 (três) principais clientes de estrutura metálica de cobertura da sua Empresa:				
	Cliente A				
	Cliente B				
	Cliente C				
03	A sua empresa fornece prioritariamente estruturas pré-concebidas ou fabrica estruturas de acordo com um projeto (arquitetônico e/ou estrutural) desenvolvido pelo cliente ou pelo seu construtor?				
		Tipo de obra executada em função do projeto		Porcentagem (%)	
		Obras pré-concebidas			
		Obras com arquitetura definida			
		Obras com projeto estrutural definido			
04	As estruturas geralmente fabricadas por sua empresa são para edificações de quantos pavimentos?				
		Nº de pavimentos		Porcentagem (%)	

	01 pavimento	
	02 pavimentos	
	03 pavimentos ou mais	
05	Modulação da estrutura	
	Quais as modulações comumente solicitadas / utilizadas pelos seus clientes, para a estrutura principal das obras OP (citadas no item 1.9)?	
	Na escolha da modulação, na sua opinião, qual o fator mais importante?	
	Existem restrições impostas pelos clientes quanto à modulação? Especifique.	Restrições impostas pelos clientes
		Lay Out interno
		Preservação de grandes vãos livres
		Economia / racionalidade.
		Boa relação vão / custo
		Limitações devido a estacionamento no subsolo
	Outros. Quais?	
06	Aspectos de projeto	
	Qual a importância, no seu conceito, da estética do produto que a sua empresa oferece?	
	E em relação à funcionalidade?	
	Em termos arquitetônicos, na sua opinião, quais são as principais necessidades que o mercado busca satisfazer?	Características arquitetônicas
		Acabamento da estrutura
		Esbeltez e leveza
		Arquitetura desenvolvida de forma a tornar a estrutura viável
		Grandes Vãos
	Outros. Quais?	

07	Você pode indicar pelo menos três sub-fornecedores para as especialidades a seguir?			
	Telhas Zipadas	A		
		B		
		C		
	Isolamento térmico para cobertura	A		
		B		
		C		
	Calhas, rufos, cumeeiras e fechamentos	A		
		B		
		C		
	Elementos zenitais translúcidos	A		
		B		
		C		
	Ventiladores industriais naturais, lineares.	A		
		B		
		C		
	Pintura intumescente	A		
		B		
		C		
	Sistema de piso (laje)	A		
		B		
		C		
	08	Dentre os sistemas complementares utilizados em suas obras, comente as principais soluções adotadas nos itens a seguir:		
	8.1	Sistema principal de apoio da cobertura metálica usual		
	Em obras onde sua empresa é a fornecedora, é comum a utilização de pilares de concreto pré-moldado e vigas de cobertura metálica? Em caso positivo comente as vantagens e desvantagens. Em caso negativo, também emita uma opinião.	Incidência de obras com:		
		Pilar Concreto (%)	Pilar Aço (%)	
		Vantagens	Vantagens	
		Desvantagens	Desvantagens	
		Comentários		
A estrutura principal da cobertura do seu sistema é formada por tesouras, treliças ou vigas de alma cheia? Comente os tipos de perfis predominantes.				
Tipo de estrutura		Perfil predominante	Porcentagem (%)	

	Tesouras		
	Treliças planas		
	Treliças espaciais		
	Vigas de alma cheia		
	Em caso de utilização de pilares metálicos para estruturas principais de apoio da cobertura metálica, quais as restrições (por ordem de importância) já enfrentadas por você? Enumerar abaixo.		
	Necessidade de proteção contra incêndio		
	Custo da estrutura metálica em relação ao concreto		
	Corrosão		
	Resistência do arquiteto / construtor (falta de informação)		
	Problemas estéticos		
	Custo de seguro		
	Outros		
	Existe conhecimento do seu cliente em relação às cargas permanentes, acidentais e de utilidades (elementos sustentados pela estrutura após o término da montagem) que devem ser utilizadas no dimensionamento da estrutura?	Permanentes	Acidentais
			Utilização
	Existem cargas freqüentemente solicitadas, por seus clientes, em acréscimo às especificadas pelas normas brasileiras? Se afirmativo, favor especificar quais e se possível os valores.	Cargas	
		Valores (kN/m ²)	
8.2	Sistema de piso		
	Qual o sistema de piso (lajes) mais requisitado pela sua Empresa?	Tipos de Piso (lajes)	
		Porcentagem %	
		Lajes maciças (moldadas em loco)	
		Lajes pré-fabricadas alveolares	
		Lajes ou painéis pré-fabricados maciços	

		Lajes pré-fabricadas em concreto com tijolos cerâmicos	
		Outros tipos. Cite	
	O sistema de deck metálico é utilizado? Qual o fabricante? Em quais situações?		
	Comentários / vantagens / desvantagens		
8.3	Qual o tratamento adotado para proteção contra corrosão em seu sistema?		
8.4	Telhas utilizadas		
	Tipo / fabricante		
	São zipadas?		
	Inclinação geralmente adotada		
	Material de constituição da telha		
	Citar problemas enfrentados		
8.5	Isolamento térmico ou acústico		
	Nas estruturas de cobertura, é comum a utilização de material isolante térmico e/ou acústico? Qual é o mais empregado e fabricante?		
	Quais motivos levam à escolha da solução adotada?		
8.6	Elementos zenitais (iluminação natural)		
	A sua empresa, normalmente têm utilizado sistemas de iluminação zenital? Qual o material translúcido adotado e fabricante?		
	A vedação do sistema zenital empregado é eficiente? Ocorrem vazamentos?		
	Comentários / vantagens / desvantagens deste sistema.		

8.7	Passarelas metálicas de serviço sobre a cobertura		
	São utilizadas passarelas metálicas sobre a cobertura com a finalidade de absorver eventual trânsito de pessoas e instalação de equipamentos em seu sistema?		
	Qual a carga adotada para o seu dimensionamento?		
	Comente a solução adotada e eventuais problemas ocorridos.		
8.8	Ventilação natural		
	São utilizados ventiladores ou exaustores naturais em suas obras?		
	Qual o tipo, material de composição e fabricante?		
	Comente a solução, vantagens e desvantagens.		
09	Indique, em ordem de importância, as principais vantagens e características do seu sistema:	Cobertura	Estrutura
	Preço competitivo		
	Agilidade no fornecimento e montagem		
	Acabamento da estrutura, leveza e esbeltez		
	Capacidade de absorver cargas		
	Capacidade de adequar-se ao projeto arquitetônico proposto		
	Durabilidade		
	Credibilidade de sua empresa		
	Flexibilidade de montagem		
	Sistema prático e inteligente		
	Sistema oferece pouca manutenção		
	Bom atendimento durante a montagem		
	Garantia dos serviços executados		
	Atendimento pós-obra		
Experiência da sua empresa			

	Proposta técnica detalhada		
	Capacidade de oferecer grandes vãos livres (sem apoios)		
	Garantia de estanqueidade		
10	Existe alguma tendência em aperfeiçoar os seus produtos?		
11	Comente os problemas já enfrentados por você nos casos de utilização de cobertura metálica (prazo, orçamento, fechamento do contrato, projeto, fabricação, montagem)		
12	Aborde agora os principais problemas de manutenção das estruturas metálicas de cobertura.		
13	Comente casos (que não necessariamente contaram com a sua participação) que levaram ””” grandes estruturas metálicas ao colapso ou necessitaram de reforços não previstos para correção de desvios. Caso seja possível indique as causas do problema e o que poderia ser feito evitá-lo.		
14	Qual é a mídia que você mais utiliza em suas atividades?		
15	Existe algum aspecto importante sobre o tema que não foi abordado nesta pesquisa? Favor comentar e enumerar.		

PÚBLICO ALVO DA PESQUISA
Gerenciadores de obras em Estruturas Metálicas

01	Qual é a expectativa de crescimento da sua empresa e quais os índices/indicadores econômicos ou outro parâmetro você utiliza nesta previsão?	Ano	Expectativa de crescimento (%)	Índice/indicador adotado
		2005		
		2006		
		2007		
02	Faça comentários a respeito de custo das estruturas metálicas de cobertura. Qual a sua experiência na análise destes valores? Qual seria o valor específico adequado (R\$/m ²)?			
03	Cite, em ordem de importância, os 03 (três) principais fornecedores/fabricantes de estrutura metálica de cobertura já experimentados em obras sob a sua gestão:			
	Fornecedor A			
	Fornecedor B			
	Fornecedor C			
04	Dentre os três fornecedores citados, deixe claro aquele que na sua opinião presta os melhores serviços e aquele que não presta os melhores serviços:	Melhor serviço	Pior Serviço	
05	O melhor fornecedor escolhido possui sistema de estrutura metálica pré-concebido ou fabricou/montou a estrutura metálica de acordo com um projeto desenvolvido pelo cliente ou pelo construtor?			
	Tipo de obra executada em função do projeto			Porcentagem (%)
	Obras pré-concebidas			
	Obras com arquitetura definida			
Obras com projeto estrutural definido				
06	As estruturas geralmente projetadas por sua empresa são para edificações de quantos pavimentos?			
	Nº de pavimentos			Porcentagem (%)
	01 pavimento			
	02 pavimentos			
03 pavimentos ou mais				

07	Modulação da estrutura		
	Quais as modulações comumente projetadas para a estrutura principal dos galpões?		
	Na escolha da modulação, quais os requisitos adotados?		
	Existem restrições impostas pelos clientes quanto à modulação? Especifique.	Restrições impostas pelos clientes	
		Lay Out interno	
		Preservação de grandes vãos livres	
		Economia / racionalidade.	
Boa relação vão/custo			
Limitações devido a estacionamento no subsolo			
Outros. Quais?			
08	Você pode indicar pelo menos três fornecedores para as especialidades a seguir? Caso haja necessidade, pesquise junto a pessoas que já utilizaram		
8.1	Telhas ZIPADAS	A	
		B	
		C	
8.2	Isolamento térmico para cobertura	A	
		B	
		C	
8.3	Calhas, rufos, cumeeiras e fechamentos	A	
		B	
		C	
8.4	Elementos zenitais translúcidos	A	
		B	
		C	
8.5	Ventiladores industriais naturais, lineares.	A	
		B	
		C	
8.6	Pintura intumescente	A	
		B	

		C				
8.7	Sistema de piso	A				
		B				
		C				
04	Para o melhor fornecedor citado na questão anterior, comente as soluções adotadas para o sistema de cobertura metálica, nos itens a seguir:					
4.1	Sistema principal de apoio da cobertura metálica					
	Em obras gerenciadas pela sua empresa, é comum a utilização de pilares de concreto pré-moldado e vigas de cobertura metálica? Em caso positivo comente as vantagens e desvantagens. Em caso negativo, também emita uma opinião.	Incidência de obras com:				
		Pilar Concreto (%)		Pilar Aço (%)		
		Vantagens		Vantagens		
		Desvantagens		Desvantagens		
		Comentários				
	A estrutura principal da cobertura é formada por tesouras, treliças ou vigas de alma cheia? Comente os tipos de perfis predominantes.		Perfis conformados a frio	Perfis alma cheia	Seções treliçadas	Outros
		Terça				
		Viga secundária				
		Vigas principais				
	Em caso de utilização de pilares metálicos para estruturas principais de apoio da cobertura metálica, quais as restrições (por ordem de importância) já enfrentadas por você? Enumerar abaixo.					
	Necessidade de proteção contra incêndio					
	Custo da estrutura metálica em relação ao concreto					
	Corrosão					
Resistência do arquiteto / construtor (falta de informação)						
Problemas estéticos						
Custo de seguro						
Qual o tratamento adotado para proteção contra corrosão?						
Existe uma capacidade de carga da cobertura especificada (cargas		Cargas		Valores KN/m ²		

	acidentais e cargas permanentes)? Caso não se lembre deste detalhe, estimar os valores.	Cargas permanentes		
		Cargas Acidentais		
Comentários / vantagens / desvantagens				
4.2 Sistemas de Piso				
Qual o sistema de piso (laje) mais requisitado nas obras que a sua empresa gerencia?	Tipos de Piso (lajes)		Porcentagem (%)	
	Lajes maciças (moldadas em loco)			
	Lajes pré-fabricadas alveolares			
	Lajes ou painéis pré- fabricados maciços			
	Lajes pré-fabricadas em concreto com tijolos cerâmicos			
	Outros tipos. Cite.			
O sistema de deck metálico é utilizado? Qual o fabricante? Em quais situações?				
Comentários / vantagens / desvantagens dos sistemas mais empregados.				
4.3 Telhas utilizadas				
Tipo / fabricante				
São zipadas?				
Inclinação adotada				
Apresentou vedação eficiente?				
Apresentou problema de corrosão? Comente				
Material de constituição da telha				

	Citar problemas encontrados	
4.4	Isolamento térmico ou acústico	
	É utilizado material isolante térmico e/ou acústico?	
	Comentar a solução adotada e fabricante	
4.5	Elementos zenitais (iluminação natural)	
	São utilizados?	
	Qual o material translúcido adotado?	
	A vedação é competente? Ocorreram vazamentos?	
	Comentários / vantagens / desvantagens.	
4.6	Plataformas metálicas sobre a cobertura	
	São utilizadas passarelas metálicas sobre a cobertura com a finalidade de absorver eventual trânsito de pessoas e instalação de equipamentos?	
	Comente a solução adotada e eventuais problemas ocorridos.	
4.7	Ventilação natural	
	São utilizados ventiladores ou exaustores naturais?	
	Qual o tipo e material de composição?	
	Comente a solução, vantagens e desvantagens	
05	Como contratante de sistemas de cobertura, indique quais os pontos principais que você observa na escolha de determinado produto.	
06	Da mesma forma indique os pontos negativos que fariam você a desistir de adquirir um determinado sistema de estrutura metálica.	

07	Comente casos (que não necessariamente contaram com a sua participação) que levaram grandes estruturas metálicas ao colapso ou necessitaram de reforços não previstos para correção de falhas estruturais. Caso seja possível indique as causas do problema e o que poderia ser feito evitá-lo.	
08	Comente os problemas já enfrentados por você nos casos de utilização de cobertura metálica (prazo, orçamento, fechamento do contrato, projeto, fabricação, montagem)	
09	Aborde agora os principais problemas de manutenção das estruturas metálicas de cobertura.	
10	Qual é a mídia que você mais utiliza em suas atividades?	
11	Existe algum aspecto importante sobre o tema que não foi abordado nesta pesquisa? Favor comentar e enumerar.	