MESTRADO EM CONSTRUÇÃO METÁLICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESCOLA DE MINAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

REINALDO OTÁVIO ALVES DE
BRITO PINHEIRO

SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM ESTRUTURAS DE AÇO APLICADOS A MORADIAS EM ENCOSTAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Orientadores: Ricardo Azoubel da Mota Silveira
Márcia Veloso de Menezes Reis

Convênio USIMINAS/UFOP/FUNDAÇÃO GORCEIX

Ouro Preto, Janeiro de 1999

Sistemas Construtivos em Estruturas de Aço Aplicados à Moradia em Encostas

Reinaldo Otávio Alves de Brito Pinheiro

Dissertação apresentada ao corpo docente
do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil
do Departamento de Engenharia Civil,
Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto,
como parte dos requisitos necessários à obtenção
do título de Mestre em Ciências da Engenharia Civil.

Aprovada por:

Ricardo Silveira

Prof. Ricardo Azoubel da Mota Silveira, D.Sc.
Escola de Minas/UFOP
Presidente

Rodrigues

Prof. Francisco Carlos Rodrigues, D.Sc.
EE/UFMG

Prof. Ernani Carlos Araújo, D.Sc.
Escola de Minas/UFOP

Márcia Veloso de Menezes Reis

Profa. Márcia Veloso de Menezes Reis, M.Sc.
Escola de Minas/UFOP

Ouro Preto - MG, Brasil
Fevereiro de 1999

À memória de meu pai, Prof. Antônio Pinheiro Filho.

Agradecimentos,

À Ione, Leandro e Gustavo, pelo incentivo e compreensão.

Ao Professor Ricardo da Mota Silveira, pela sua importante e competente orientação na execução deste trabalho.

À professora Márcia Veloso de Menezes Reis, também pela sua valiosa orientação para execução deste trabalho.

Ao professor Francisco Carlos Rodrigues, pelo seu apoio e valiosa colaboração.

Ao professor Ernani Carlos de Araújo, pelo seu grande apoio e incentivo.

Ao engenheiro Eduardo Assis Fonseca, pela sua importante colaboração.

Ao engenheiro Erivelto Luís de Souza, pelo apoio na parte computacional.

À USIMINAS, em particular, ao corpo técnico do DGA pelas informações passadas.

Ao engenheiro Flávio Figueiredo da FLASAN também pelas importantes informações passadas.

Resumo

O presente trabalho, apresenta uma proposta de construção industrializada em estruturas metálicas para habitações populares, visando principalmente a ocupação de encostas ou áreas em declive.

Propõe-se nesta pesquisa a aplicação do aço com perfis leves de chapa dobrada em estruturas de pequenos vãos, com a aplicação de novos materiais e novas técnicas da construção industrializada, demonstrando-se com isso a sua viabilização como elemento construtivo tanto em pequena como em larga escala, pela economia de tempo e de recursos financeiros aplicados.

Tal pesquisa é baseada em projeto arquitetônico do arquiteto Paulo Martin Souto Maior – Estrutura Metálica para Moradia Popular em Encosta – (dissertação de mestrado, setembro/97), onde se procura a adequação da proposta do projeto elaborado a novas soluções construtivas, com o uso de novos materiais e técnicas de construção.

São estudados neste trabalho dois tipos de módulos habitacionais (módulos M4 e M 6) para dois tipos de soluções construtivas básicas, quais sejam:

A) – Um sistema construtivo denominado Sistema Construtivo I Tipo – "Dry wall," (paredes secas) – no qual as "paredes secas" têm função estrutural e não simplesmente divisórias, como é o seu uso atual.

B) – Um sistema estrutural composto de perfis leves feitos de chapa de aço dobrada a frio, combinado com alguns tipos fechamentos de paredes, lajes e outros materiais.

Verificou-se através de uma análise de custos das soluções abordadas, que o emprego do aço além de ser uma solução viável, é também a mais econômica para os modelos estudados.

Abstract

This work is a proposal of a model of steel structures for industrialized constructions desingned for popular low income residences. It aims maily at construction work in steep hills or slopes.

This research proposes the use of steel in ligth weigth profiles of folded sheets in structures used in small lengths. New materials and techniques should be applied. Thus adequacy of steel structures as constructions elements in large or small scale will be proven by time economy and financial savings.

This research is based on the architectural projet of Maior (1997), in whitch the edequacy of the project to the new construction solutions, whith the use of new materials and techniques, is searched.

Two types of housing models are studied for two types of construction:

A)- A construction system called "Contruction System I" – type "Dry Wall" – in which the dry walls have an structural function instead of their usual function.

B)- A structural system composed of light cold steel folded profiles combined with some types of wall closures, concrete floors and other materials.

It was concluded, through a cost analysis of the proposed models, that the use of steel, besides being a feasible solution, is also the most economical one.

Sumário

Página

Resumo..... i

Abstract..... ii

Lista de Figuras..... vii

Lista de Tabelas..... xii

***Capítulo 1* – INTRODUÇÃO**..... 1

1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O PROBLEMA DA HABITAÇÃO POPULAR NO BRASIL..... 1

1.2 – OBJETIVO DO TRABALHO..... 4

1.3 – ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO..... 5

***Capítulo 2* – NOVOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS**

2.1 – INTRODUÇÃO..... 7

2.2 – VANTAGENS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS..... 8

2.2.1 – Compatibilidade com Diversos Sistemas Construtivos..... 8

2.2.2– Grande Eficiência Construtiva..... 9

2.2.3 – Flexibilidade para Futuras Ampliações da Construção..... 9

2.2.4 – Economia..... 9

2.3 – VANTAGENS DA ESTRUTURA METÁLICA..... 10

2.3.1 – Alta Resistência às Tensões..... 10

2.3.2 – Eficiência Construtiva..... 11

2.3.3 – Alívio das Fundações..... 11

2.3.4 – Canteiro de Obras..... 12

2.3.5 –Espaço Útil..... 12

2.2.6 – Flexibilidade na Construção..... 12

2.3.7 – Economia da Obra..... 13
2. 4 – ALGUNS TIPOS DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE HABITAÇÕES POPULARES..... 13
2.4.1 – Sistema Etercasa..... 14
2.4.2 – Sistema 3P Construções..... 14
2.4.3 – Sistema Cabrini Monolite..... 15
2.4.4 – Sistema Sisbeton..... 15
2.4.5 – Sistema Epotec..... 16
2.4.6 – Sistema Batistella..... 16
2.4.7 – Sistema Kürten..... 17
2.4.8 – Sistema Todeschini..... 17
2.4.9 – Sistema Paineira..... 18
2.4.10 – Sistema Andrade Ribeiro..... 18
2.4.11 – Sistema Castellamare..... 19
2.4.12 – Sistema Andrade Gutierrez..... 19
2.4.13 – Sistema COHAB – PA..... 20
2.4.14 – Sistema Prefac..... 20
2.4.15 – Sistema Kit SICAL..... 21
2.4.16 – Sistema Casa Modular CSN..... 22
2.4.17 – Sistema COHAB MG..... 24
2.4.28 – Exemplos de Sistemas Construtivos em Países Diversos..... 27

Capítulo 3 – SISTEMA CONSTRUTIVO I: DRY WALL

3.1 – INTRODUÇÃO..... 30
3.2 – O SISTEMA TIPO DRY WALL..... 31
3.2.1 – Informações e Dados Técnicos..... 33
3.2.1.1 – Principais Componentes do Sistema..... 33
3.2.1.2 – Montagem das Paredes..... 35
3.2.1.3 – Procedimentos de Montagem..... 37
3.2.1.4 – Condições e Limitações de Uso..... 45
3.2.1.5 – Exemplos de Alguns Tipos de Paredes..... 48

3.3 – A IDÉIA BÁSICA DESTE TRABALHO..... 53
3.3.1 – Os Perfis Utilizados..... 54
3.3.2 – O Aço Utilizado..... 57
3.3.3 – As Chapas a Utilizar para Fechamentos das Paredes..... 58
3.3.4 – Ligações e Sistema de Estabilidade..... 59
3.4 – O MODELO CONSTRUTIVO..... 60
3.4.1 – As Unidades Habitacionais..... 59
3.4.2 – A implantação..... 64

Capítulo 4 – MODELO ESTRUTURAL: SISTEMA CONSTRUTIVO I

4.1 – INTRODUÇÃO..... 66
4.2 – CONSTRUÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL..... 67
4.2.1 – Características do Software Utilizado..... 67
4.2.2 – O Modelo Estrutural..... 68
4.3 –CARGAS ATUANTES..... 78
4.3.1 – Peso Próprio..... 78
4.3.2. – Cargas Permanentes nas Lajes..... 78
4.3.2.1 – Lajes de Concreto Armado Moldado “In locu”..... 79
4.3.2.2 – Lajes de Painéis de Concreto Celular Autoclavado..... 82
4.3.3 – Cargas Acidentais nas Lajes..... 87
4.3.4 – Peso Próprio da Cobertura..... 92
4.3.4.1 – Peso Próprio da Estrutura do Telhado..... 92
4.3.4.2 – Peso Próprio do Telhado..... 92
4.3.5 – Carga Acidental na Cobertura..... 94
4.3.6 – Peso Próprio dos Fechamentos..... 95
4.3.7 – Ação do Vento..... 96
4.3.8 – Combinações das Ações..... 111
4.4 – RESULTADOS ENCONTRADOS..... 111

Capítulo 5 – O SISTEMA CONSTRUTIVO II E SEUS MODELOS ESTRUTURAIS

5.1 – INTRODUÇÃO..... 117
5.2 – A IDÉIA BÁSICA DO SISTEMA CONSTRUTIVO..... 118
5.3 – MODELO ESTRUTURAL..... 119
5.4 – CARGAS ATUANTTES..... 121
4.3 – RESULTADOS ENCONTRADOS..... 124

Capítulo 6 – ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

6.1 – INTRODUÇÃO..... 128
6.2 – CUSTO DAS UNIDADES HABITACIONAIS SISTEMA CONSTRUTIVO I... 129
6.3 – CUSTO DAS UNIDADES HABITACIONAIS SISTEMA CONSTRUTIVO II.. 131
6.4 – CONCLUSÕES SOBRE OS CUSTOS..... 132

Capítulo 7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1 – INTRODUÇÃO..... 134
7.2 – SUGESTÕES..... 136

Referências Bibliográficas.....138

Anexos: **A**.....140
B.....147
C.....154
D.....160

Lista de Figuras

Capítulo 2

Página

Figura 2.1 – Sistema Etercasa 14
Figura 2.2 – Sistema 3P Construções 14
Figura 2.3 – Sistema Cabrini Monolite 15
Figura 2.4 – Sistema Sisbeton..... 15
Figura 2.5 – Sistema Epotec..... 16
Figura 2.6 – Sistema Batistella..... 16
Figura 2.7 – Sistema Kürten..... 17
Figura 2.8 – Sistema Todeschini..... 17
Figura 2.9 – Sistema Paineira..... 18
Figura 2.10 – Sistema Andrade Ribeiro..... 18
Figura 2.11 – Sistema Castellamare..... 19
Figura 2.12 – Sistema Andrade Gutierrez..... 19
Figura 2.13 – Sistema COHAB PA..... 20
Figura 2.14 – Sistema Prefac..... 20
Figura 2.15 A e B – Sistema Kit Sical..... 21
Figura 2.16 A e B – Sistema Casa Modular CSN..... 22
Figura 2.17A e B – Casa Popular em Ouro Preto..... 23
Figura 2.18 – Sistema COHAB MG..... 24
Figura 2.19 A e B – Sistema COHAB MG- Detalhe das Fundações e Vista da Estrutura..... 25
Figura 2.20 A e B – Sistema COHAB MG- Vista da Estrutura com Lajes e Alvenaria..... 26
Figura 2.21 – Construção em Painéis Pré-Fabricados em Aço no Reino Unido..... 27
Figura 2.22 – Sistema em Painéis Pré-Fabricados da Finlândia..... 28
Figura 2.23 A – Esquema de Construção de Moradias Multifamiliares..... 28
Figura 2.23 B e C – Vista da Montagem dos Componentes de Moradias Multifamiliares.... 29

Capítulo 3

Figura 3.1 – Esquema Construtivo do Sistema "Dry Wall"..... 32
Figura 3.2 A, B e C – Elementos Componentes de Alguns Tipos de Paredes..... 36
Figura 3.3 A, B e C – Marcação e Colocação das Guias..... 38
Figura 3.4 – Colocação dos Montantes..... 38
Figura 3.5 A e B – Colocação das Chapas de Gesso..... 39
Figura 3.5 C – Colocação das Chapas de Gesso..... 40
Figura 3.6 A, B e C – Detalhes das Juntas..... 41
Figura 3.7 A, B e C – Detalhes de Fixação dos Marcos de Portas..... 42
Figura 3.8 – Impermeabilização para Ambientes Molháveis..... 43
Figura 3.9 A e B – Peças para Fixação de Elementos em Paredes..... 44
Figura 3.10 – Peças Pesadas Fixadas sobre Reforços..... 44
Figura 3.11 – Paredes D/100/75..... 49
Figura 3.12 – Paredes D 13/75..... 50
Figura 3.13 – Paredes S 20/48 ou S 120/75..... 52
Figura 3.14 A, B e C – Seção dos Perfis Escolhidos..... 54
Figura 3.15 A e B – Esquema das Construções Escalonadas..... 61
Figura 3.16 – Planta Baixa dos Modelos M4 e M4A..... 62
Figura 3.17 – Planta Baixa dos Modelos M6 e M6A..... 63
Figura 3.18 – Planta da Implantação..... 64
Figura 3.19 A e B – Cortes C1 e C2..... 65

Capítulo 4

Figura 4.1 – Esquema do Modelo M4 (Vista Isométrica)..... 69
Figura 4.2 A, B e C – Vistas do Modelo M4..... 70
Figura 4.3 – Vista zy1 do Modelo M4..... 71
Figura 4.4 – Esquema do Modelo M6 (Vista Isométrica)..... 72
Figura 4.5 A, B e C – Vistas do Modelo M6..... 73
Figura 4.6 – Vista zy1 do Modelo M6..... 74

Figura 4.7 – Vista Parcial da Estrutura do Modelo M4..... 76
Figura 4.8 – Vista da Estrutura com as Lajes..... 76
Figura 4.9 – Vista da Estrutura Completa com Detalhes das Guias e Montantes..... 77
Figura 4.10 – Reações das Lajes de Piso do 1º e 2º Pavimentos (M4 e M4A)..... 80
Figura 4.11 – Reações das Lajes de Cobertura (M4 e M4A)..... 80
Figura 4.12 – Reações das Lajes de Piso do 1º e 2º Pavimentos (M6 e M6A)..... 81
Figura 4.13 – Reações das Lajes de Cobertura (M6 e M6A)..... 81
Figura 4.14 – Esquema de um Painel de Laje de Concreto Celular Autoclavado..... 82
Figura 4.15 A e B – Seção e Justaposição dos Painéis..... 83
Figura 4.16 – Detalhe Isométrico dos Painéis e Juntas de Amarração..... 84
Figura 4.17 – Reações das Lajes de Piso do 1º e 2º Pavimentos (M4 e M4A)..... 85
Figura 4.18 – Reações das Lajes de Cobertura (M4 e M4A)..... 85
Figura 4.19 – Reações das Lajes de Piso do 1º e 2º Pavimentos (M6 e M6A)..... 86
Figura 4.20 – Reações das Lajes de Cobertura (M6 e M6A)..... 86
Figura 4.21 – Reação das lajes do 1º e 2º Pisos: Carga Acidental (M4 e M4A)..... 87
Figura 4.22 – Reação das Lajes de Cobertura: Carga Acidental (M4 e M4A)..... 88
Figura 4.23 – Reação das lajes do 1º e 2º Pisos: Carga Acidental M6 e M6A)..... 88
Figura 4.24 – Reação das Lajes de Cobertura: Carga Acidental (M6 e M6A)..... 89
Figura 4.25 – Reação das lajes do 1º e 2º Pisos: Carga Acidental (M4 e M4A)..... 90
Figura 4.26 – Reação das Lajes de Cobertura: Carga Acidental (M4 e M4A)..... 90
Figura 4.27 – Reação das lajes do 1º e 2º Pisos: Carga Acidental (M6 e M6A)..... 91
Figura 4.28 – Reação das Lajes de Cobertura: Carga Acidental (M6 e M6A)..... 91
Figura 4.29A e B – Esquema de Carregamento da Cobertura: Carga Permanente..... 93
Figura 4.30A e B – Esquema de Carregamento da Cobertura: Carga Acidental..... 94
Figura 4.31 – Modelo do Bloco de Concreto Celular Autoclavado..... 95
Figura 4.32 A e B – Fator Topográfico..... 97
Figura 4.33 – Direções do Vento Dominante..... 100
Figura 4.34 A e B – Coeficientes Ce e Ci para α = 0º..... 101
Figura 4.35 A e B – Coeficientes Ce e Ci para α = 180º..... 102
Figura 4.36 A e B – Coeficientes Ce e Ci para α = 90º..... 103
Figura 4.37 – Esquema da Ação do Vento na Vista zx..... 104
Figura 4.38 – Esquema da Ação do Vento na Vista zx1..... 105

Figura 4.39 – Esquema da Ação do Vento na Vista zx2..... 106
Figura 4.40 A e B – Esquema da Ação do Vento na Vista zx3 e zx4..... 107
Figura 4.41 – Esquema da Ação do Vento na Vista zy..... 108
Figura 4.42 – Esquema da Ação do Vento na Vista zy1..... 109
Figura 4.43 – Esquema da Ação do Vento na Vista zy2..... 110

Capítulo 5

Figura 5.1 – Esquema do Modelo M4A (Vista Isométrica)..... 120
Figura 5.2 – Esquema do Modelo M6A (Vista Isométrica)..... 121
Figura 5.3 A e B – Esquema da Ação do Vento na Vista xz e zx1..... 122
Figura 5.4 – Esquema da Ação do Vento na Vista zy1..... 123

Anexo A

Figura A.1 – Vista Isométrica 140
Figura A.2A e B – Vistas zx e zx1..... 141
Figura A.3 – Vista zx2..... 142
Figura A.4 – Vista zx3..... 143
Figura A.5 – Vista zx4..... 144
Figura A.6 – Vistas zy e zy2..... 145
Figura A.7 – Vista zy1..... 146

Anexo B

Figura B.1 – Vista Isométrica 147
Figura B.2A e B – Vistas zx e zx1..... 148
Figura B.3 – Vista zx2..... 149
Figura B.4 – Vistas zx3 e zx4..... 150
Figura B.5 – Vistas zy e zy3..... 151

Figura B.7 – Vista zy1 152
Figura B.8 – Vista zy2 153

Anexo C

Figura C.1 – Vista Isométrica 154
Figura C.2A e B – Vistas zx e zx1 155
Figura C.3 – Vista zx2 156
Figura C.4 – Vistas zx3 e zx4 157
Figura C.5 – Vistas zy e zy2 158
Figura C.6 – Vista zy1 159

Anexo D

Figura D.1 – Vista Isométrica 160
Figura D.2A e B – Vistas zx e zx1 161
Figura D.3 – Vista zx2 162
Figura D.4 – Vistas zx3 e zx4 163
Figura D.5 – Vistas zy e zy2 164
Figura D.6 – Vista zy1 165
Figura D.7 – Vista zy3 166

Lista de Tabelas

Capítulo 1

Tabela 1.1 – População Moradora no Município de São Paulo e População Moradora em Favelas – Período de 1973 a 1997..... 3

Capítulo 3

Tabela 3.1 – Características Gerais Exigidas para as Chapas de Gesso (IPT, 1997)..... 34
Tabela 3.2 – Painéis de Gesso (Lafarge Gypsum, 1997)..... 34
Tabela 3.3 – Características Básicas das Chapas de Gesso (IPT, 1997)..... 45
Tabela 3.4 – Características dos Perfis (IPT, 1997)..... 46
Tabela 3.5 – Resistência ao Fogo e Isolamento Acústico (IPT, 1997)..... 47
Tabela 3.6 – Características e Performances da Parede D 100/75 (Lafarge Gypsum, 1998). 49
Tabela 3.7 – Características e Performances da Parede D 113/75 (Lafarge Gypsum, 1998). 51
Tabela 3.8 – Características e Performances das Paredes S 120/48 e S 160/75 (Lafarge Gypsum, 1998)..... 52
Tabela 3.9 – Perfis "U" Simples..... 55
Tabela 3.10 – Perfis "U" Enrijecido..... 56
Tabela 3.11 – Perfis Tipo "Caixa"..... 56
Tabela 3.12 – Perfis Tipo "Caixa"..... 57
Tabela 3.13 – Composição Química dos Aços Utilizados..... 58

Capítulo 4

Tabela 4.1 – Painéis de Lajes Sical (Sical, 1998)..... 82
Tabela 4.2 – Envoltórias da Barra 1: Modelo M4..... 112

Tabela 4.3 – Envoltórias da Barra 2: Modelo M4..... 113
Tabela 4.4 – Envoltórias da Barra 3: Modelo M4..... 113
Tabela 4.5 – Envoltórias da Barra 4: Modelo M4..... 114
Tabela 4.6 – Percentual de Aproveitamento – Barras Selecionadas no Modelo M4..... 114
Tabela 4.7 – Envoltórias da Barra 5: Modelo M6..... 114
Tabela 4.8 – Envoltórias da Barra 6: Modelo M6..... 115
Tabela 4.9 – Envoltórias da Barra 7: Modelo M6..... 115
Tabela 4.10 – Envoltórias da Barra 8: Modelo M6..... 116
Tabela 4.11 – Percentual de Aproveitamento – Barras Selecionadas no Modelo M6..... 116
Tabela 4.12 – Relação Peso da Estrutura por m² de Área Construída..... 116

Capítulo 5

Tabela 5.1 – Envoltórias da Barra 1: Modelo M4A..... 124
Tabela 5.2 – Envoltórias da Barra 2: Modelo M4A..... 125
Tabela 5.3 – Envoltórias da Barra 3: Modelo M4A..... 125
Tabela 5.4 – Percentual de Aproveitamento – Barras Selecionadas no Modelo M4A..... 125
Tabela 5.5 – Envoltórias da Barra 4: Modelo M6A..... 126
Tabela 5.6 – Envoltórias da Barra 5: Modelo M6A..... 126
Tabela 5.7 – Envoltórias da Barra 6: Modelo M6A..... 127
Tabela 5.8 – Percentual de Aproveitamento – Barras Selecionas no Modelo M6A..... 127
Tabela 5.9 – Relação Peso da Estrutura por m² de Área Construída..... 127

Capítulo 6

Tabela 6.1 – Custo para as Unidades Habitacionais M4 e M6..... 130
Tabela 6.2 – Custo para as Unidades Habitacionais M4A e M6A..... 131
Tabela 6.3 – Valores de Alguns Sistemas Construtivos..... 133

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O PROBLEMA DA HABITAÇÃO POPULAR NO BRASIL

Com seus aproximados 8.500.000 km.² de extensão territorial, conta hoje o Brasil com cerca de 157.079.573 de habitantes (IBGE, 1996), sendo que esta população se encontra distribuída sobre esta superfície de maneira muito desigual ou desequilibrada. Segundo esta fonte, a série de censos brasileiros que cobre um período de 124 anos, mostrou que a população vem experimentando sucessivos aumentos em seu contingente, tendo crescido nove vezes ao longo do atual século.

Na década de 50, ocorreu a maior aceleração do aumento da população brasileira, tendo crescido naquele período uma média de 3,0% ao ano, correspondendo a um acréscimo relativo de 34,90% no efetivo populacional. Nas décadas subsequentes ocorreu o início de um pequeno declínio no seu crescimento. Em 1996 a população urbana era 3,6 vezes maior que a população rural, confirmando uma tendência iniciada na década de 60, quando o efetivo urbano ultrapassou o rural.

Na década de 80 acentuaram-se ainda mais os diferenciais nos quadros urbano e rural. A diminuição do volume da população rural ocorrida entre 1991 e 1996, foi da ordem de 1,8 milhão de pessoas, e a população urbana continuou crescendo significativamente em todas as regiões, inclusive naquelas onde as atividades rurais exerciam ainda forte influência, como o Norte, o Centro Oeste e mesmo o Sul do País. O acréscimo de 12,1

milhões de habitantes urbanos se reflete então na taxa de urbanização, que passou de 75,59% em 1991 para 78,36%, em 1996. Esse incremento se explica basicamente por três fatores principais: o crescimento vegetativo nas áreas urbanas; da migração das zonas rurais para zonas urbanas, e, em pequena escala, à incorporação ao setor urbano de áreas antes consideradas rurais.

Hoje, nas capitais da Região Sudeste se concentram cerca de 50% da população das capitais brasileiras, e as regiões metropolitanas reúnem um conjunto de aproximadamente 50 milhões de habitantes, o que corresponde a cerca de 31% da população total do país. Nos aglomerados metropolitanos houve um acréscimo de aproximadamente 4 milhões de habitantes de 1991 a 1996, e, embora hoje, com algumas exceções, as regiões metropolitanas não sejam mais pólos de intenso crescimento populacional, verifica-se ainda nelas um crescimento da ordem de 1,5% ao ano.

Por outro lado, algumas políticas adotadas pelo Governo Federal para atacar o problema do déficit habitacional – Plano de Habitação Popular – como por exemplo, a criação SFH (Sistema Financeiro da Habitação) e do BNH (Banco Nacional da Habitação) em 1964, não lograram os resultados esperados. Ressalta-se que o BNH foi fundado à época com um capital de 1 bilhão de cruzeiros originados da arrecadação compulsória de 1% da folha dos salários dos empregados regidos pela CLT (Confederação das Leis Trabalhistas), e ainda a partir de 1967, passou a gerir também os depósitos do FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço), tornando-se desta maneira o segundo maior banco nacional, em termos de recursos financeiros disponíveis.

No entanto, seu relatório anual de 1971 revela que, "Os recursos utilizados pelo Sistema Financeiro da Habitação só foram suficientes para atender a 24% da demanda populacional urbana"(SFH, 1971). Em 1980 chegou a atender 37,8%, o que demonstra os resultados insatisfatórios obtidos, apesar do aporte dos grandes recursos financeiros. Um dos principais motivos desse mau desempenho estava em que o banco, embora tenha financiado 4,8 milhões de moradias em 22 anos de existência, que corresponderam a 25% do aumento de habitações no país, *apenas 20% dos recursos foram destinados a habitações para famílias de baixa renda.* O restante, a maior parte, foi destinado para habitações para famílias de todas as faixas de renda.

Em vista do acima exposto, a habitação popular torna-se um dos principais problemas atuais do País. Nos grandes centros urbanos, na periferia das grandes cidades, estas populações se instalam, na maioria das vezes, em grandes "conjuntos habitacionais" de

construções, formando as grandes favelas*, que são problemas, que são soluções de outros problemas* (moradias).

Tomando-se como exemplo o estado de São Paulo, na Tabela 1.1 observa-se um incremento da população moradora em favelas entre os anos de 1980 e 1987 da ordem de 116,72%, enquanto que, o aumento da população total do município no mesmo período foi cerca de 23,31% (Maior, 1997). Observa-se também um aumento de 75% no percentual da população moradora em favelas no mesmo período. Se tais observações forem feitas entre os anos de 1973 e 1987, os números então se tornam absurdos.

Tabela 1.1 – População Moradora no Município de São Paulo e População Moradora em Favelas – período de 1973 a 1987 (Maior, 1997).

ANO	**1973**	**1980**	**1987**
População do município de São Paulo	6.560.547	8.558.841	10.554.107
População em favelas no município de São Paulo	71.840	375.023	812.764
Porcentagem de população moradora em favelas	1,09	4,40	7,70

O abrigo é inerente ao ser humano. É fundamental que ele traduza a aspiração de moradia da pessoa. O enfrentamento da questão habitacional no Brasil exige sistemas eficazes, de execução rápida, desempenho técnico elevado e custo reduzido.

Já se vem desenvolvendo um grande número de projetos e/ou programas voltados para construção de moradias para a população de baixa renda no Brasil. O programa Pró-Moradia do governo federal procura evitar os erros que motivaram o fracasso das políticas do BNH e do SFH, com a tendência de descentralização das suas ações, e tem como objetivos principais atingir as famílias de até três salários mínimos, com aporte de recursos

federais, como por exemplo, recursos da Caixa Econômica Federal, que gerencia e opera as verbas do FGTS. Há também programas incentivados por prefeituras e governos estaduais, como por exemplo o programa Habiteto do Governo do Estado de São Paulo, e ainda a atuação das diversas COHABs estaduais.

Têm sido executados os mais diversos tipos de implantações, sejam compostos de construções unifamiliares ou multifamiliares (geralmente prédios de quatro a cinco pavimentos) onde se empregam as técnicas mais variadas de construção, dependendo obviamente das condições particulares de cada uma, assim como da sua localização e facilidades ou utilidades para a construção encontradas para tal. Muitas delas utilizam o sistema de mutirão, ou seja, os materiais são comprados pelo órgão financiador ou gerenciador do empreendimento, ficando a mão de obra a cargo do interessado.

Contudo, a construção em encostas, em locais normalmente nas periferias das grandes cidades, onde por motivos diversos (como a migração das populações do campo para as cidades em busca de melhores condições de vida) se instalam as populações de baixa renda, (formando-se a partir daí as chamadas favelas) ainda não foi tratada de modo conveniente. Nesta pesquisa, onde se propõe a utilização de estruturas metálicas associada a um sistema construtivo industrializado, o aço se apresenta, como vem se mostrando na construção civil de um modo geral, uma das soluções mais vantajosa e indiscutível.

1.2 - OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é propor novas soluções construtivas a partir de projeto arquitetônico elaborado pelo arquiteto Paulo Martin Souto Maior (Maior, 1997), projeto este apresentado em sua dissertação de mestrado no Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da UFOP.

Baseado no trabalho mencionado, esta pesquisa apresenta também uma proposta de habitação popular industrializada, com um enfoque específico na utilização de estruturas metálicas.

É proposto também a utilização de novos materiais e consequentemente novas técnicas construtivas, partindo do princípio da fabricação em larga escala (processo industrial) de todos os materiais utilizados.

Basicamente são apresentadas duas soluções construtivas: a primeira, um sistema tipo "Dry Wall" (paredes secas), em que as paredes são constituídas por uma estrutura composta por diversos tipos de perfis metálicos galvanizados, feitos de chapa de aço dobradas a frio, sobre a qual, são aplicados painéis de gesso acartonado para paredes internas, e painéis com propriedades específicas para serem expostos às intempéries e apropriados ao uso em paredes externas.

Ressalta-se a título de informação, que as placas de gesso acartonado foram inventadas no final do século passado, e passaram a ser utilizadas em larga escala na construção civil moderna em todo o mundo, justamente por reunir qualidades da madeira – pela facilidade de serem trabalhadas – e da pedra – pelas propriedades de isolamento térmico, acústico e de resistência ao fogo – (Placo BPB, 1997). A Segunda, uma solução em que se empregam juntamente com uma estrutura metálica de perfis leves também feita de chapa de aço dobrada a frio, materiais diversos comuns utilizados em construção civil para fechamentos de paredes, como tijolos furados de barro etc.

Através de análise de custos das diversas soluções, propõe-se verificar a real vantagem e adequação dos sistemas construtivos propostos ao caso em questão.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No Capítulo 2 – Novos Sistemas Construtivos – é feita uma abordagem sobre novos sistemas construtivos de um modo geral, enfocando-se inicialmente os esforços e incentivos ocorridos no Brasil relacionados a sistemas construtivos industrializados. São apresentadas as vantagens dos sistemas construtivos industrializados e as vantagens em particular da estrutura metálica. No item 2.4 são destacados alguns exemplos de sistemas construtivos de habitações populares no Brasil, alguns já em uso, outros em experiências e observações.

No Capítulo 3 – Sistema Construtivo I: "Dry Wall" – aborda-se o esquema do sistema construtivo conhecido como "Dry Wall" (paredes secas) com as suas características, componentes, técnicas e detalhes de execução, condições normais de uso e avaliação técnica. São apresentados também exemplos de alguns tipos de paredes. No item 3.2.2 – A Idéia Básica deste Trabalho – é colocada a proposta de aplicação deste tipo de sistema construtivo ao projeto de Maior (1997), em que os perfis metálicos, que são componentes das paredes, venham a ter uma função estrutural. De outra forma também propõe-se, como

uma segunda opção construtiva, a adoção de uma estrutura de aço fabricada com perfis leves feitos de chapa de aço dobrada a frio combinada com alguns tipos de fechamentos. São abordados ainda os perfis, o aço e as chapas de fechamentos a utilizar, bem como considerações sobre as ligações e sistema de estabilidade. No item 3.3 é apresentado o modelo construtivo e as unidades habitacionais objeto do estudo.

No Capítulo 4 – Modelo Estrutural: Sistema Construtivo I – são abordados os modelos estruturais neste sistema propostos às unidades habitacionais, as características gerais do software utilizado, considerações e especificação do carregamento atuante, as combinações das ações do carregamento e por fim os resultados encontrados.

No Capítulo 5 – O sistema construtivo II e seus Modelos Estruturais – as mesmas unidades habitacionais são estudadas agora, aplicando-se o sistema construtivo II – segunda opção construtiva citada no Capítulo 3. São abordados também os modelos estruturais, as cargas atuante e por fim os resultados encontrados.

No Capítulo 6 – Estudo da Viabilidade Econômica – é feito um estudo da viabilidade econômica para implantação das unidades habitacionais nos dois sistemas construtivos apresentados. Comparado-se os custos é verificada a viabilidade de cada um deles, frente a outros sistemas propostos ou já existentes.

No Capítulo 7 – Conclusões e Sugestões – são apresentadas as conclusões a que se pôde chegar, apresentando em uma análise comparativa as vantagens e desvantagens dos sistemas, e por fim, algumas observações relacionadas à utilização de perfis leves de chapa de aço dobrada em estruturas. São feitas algumas sugestões para futuros trabalhos.

Capítulo 2

NOVOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

2.1 – INTRODUÇÃO

Nos países desenvolvidos como os Estados Unidos, França e Inglaterra, a construção industrializada de moradias de um modo geral, e em particular as populares, se encontra já há bastante tempo em um nível de desenvolvimento muito avançado, sejam pelas técnicas ou materiais empregados. Neste item vale a pena salientar no Brasil, o surgimento em 1994 das Vilas Tecnológicas concebidas pelo Governo Federal através do "Protech" — Programa de Difusão de Tecnologia para a Construção de Habitação de Baixo Custo — que reuniu sistemas industrializados com a finalidade de experimentar e incentivar a construção industrializada na moradia popular em vários estados. A meta era atingir famílias com renda de até três salários mínimos. Em alguns casos o benefício foi estendido para famílias de até sete salários mínimos. Através desse programa foram construídas algumas vilas experimentais, sendo a primeira em Curitiba/PR inaugurada em maio de 1994, onde foi investido cerca de 1 milhão de dólares e construídas 120 unidades habitacionais.

Tal programa pretendia, na verdade, mobilizar a comunidade técnica/científica para utilização e avaliação de sistemas construtivos industrializados. Lá se idealizou a "Rua das Tecnologias", uma espécie de "show-room" de sistemas construtivos onde se pudessem apresentar alternativas de construção popular. As unidades habitacionais apresentadas tinham o custo entre 100 dólares e 160 dólares por m² de construção. Ressalta-se que as

construções populares convencionais em Curitiba têm custo médio em torno de 140 dólares por m² de construção.

"*Apesar de o custo dos sistemas industrializados ficar praticamente emparelhado com o convencional, Carollo acredita nas vantagens que podem ser subtraídas das da produção em escala, do menor índice de desperdício e da rapidez de execução". "em 15 dias os moradores podem ter a chave na mão*" (Construção Minas/Centro Oeste, 1994).

Foram também assinados através da COHAB protocolos de execução de projetos de vilas similares em Brasília/DF, Ribeirão Preto e Bauru/SP, Juiz de Fora e Contagem/MG e Cuiabá/MT.

Neste capítulo, no item 2.2, são apresentadas as vantagens dos sistemas construtivos industrializados. No item 2.3, são apresentadas as vantagens da estrutura metálica e no item 2.4, destacam-se alguns tipos de sistemas construtivos de habitações populares, alguns já aplicados e em uso, outros, em experiência e avaliação. São também apresentados alguns exemplos de sistemas utilizados de outros países.

2.2 – VANTAGENS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS

De um modo geral, os sistemas construtivos industrializados, apresentam grandes vantagens, principalmente se comparados com o sistema comumente utilizado no Brasil, que é ainda artesanal, e executado com os diversos tipos de materiais convencionais conhecidos. Assim, são mencionadas a seguir as principais vantagens dos sistemas industrializados:

2.2.1 – Compatibilidade com Diversos Tipos de Estruturas

Os sistemas industrializados geram sempre um baixo peso por m² de construção, e consequentemente, um alívio das solicitações na estrutura. Com isso, elementos estruturais mais leves, inclusive os pré-moldados, podem ser empregados sem problemas de instabilidade.

Ressalta-se aqui que, o emprego dos novos materiais a se utilizar nesses tipos de sistemas, por serem estes padronizados, exige projetos mais detalhados e com grande grau de precisão.

2.2.2 – Grande Eficiência Construtiva

As paredes podem ser feitas dos mais diversos tipos de materiais, conseguindo-se assim paredes com extensa gama de performances: mecânica, acústica, térmica e de resistência ao fogo. São de rápida execução, pois são praticamente montadas no local. Podem também ser ocas facilitando a execução das instalações elétricas e hidráulicas. Normalmente aceitam qualquer tipo de revestimento, podendo este já vir incorporado aos painéis pré-fabricados.

O sistema hidráulico pode ser feito aparente ou embutido, de tubos plásticos flexíveis, de facílima manutenção, sem necessidade de demolições. Os fios e cabos de energia podem chegar à obra nas dimensões exatas; as tomadas, apagadores e comandos em geral do sistema elétrico, podem ser embutidos em rodapés ou simplesmente adaptadas aos painéis de paredes por encaixes, através operações simples sem desperdício de materiais.

A caixilharia pode ser integrada ao painel de parede antes da colocação, ou as janelas e portas podem chegar à obra inteiramente prontas: pintadas, com vidros, com batentes, dobradiças e fechaduras e de colocação muito mais rápida.

2.2.3 – Flexibilidade para Futuras Ampliações da Construção

Os espaços assim como os painéis de paredes e lajes, são modulares, podendo ser retirados ou acrescentados seguindo a mesma metodologia construtiva, na hipótese de reforma ou de ampliação posterior da construção

2.2.4 – Economia

Devido ao baixo peso por m² de construção, inclusive da estrutura, ao aumento da

área útil da edificação (cerca de 10% conforme informações do sistema construtivo WALL), aliados à possibilidade de reaproveitamento dos materiais em caso de desmontagem, ao baixo custo propiciado através de produção seriada (economia de escala), e ao uso de materiais racionalizados não gerando entulhos e portanto com perdas mínimas, os sistemas construtivos industrializados permitem além da rapidez de execução um rigoroso controle da qualidade do produto final, assegurando o cumprimento de cronogramas físico-financeiros, tornando-se assim mais econômicos do que os sistemas tradicionais.

O uso de novos materiais permite hoje o desenvolvimento de cronogramas de maneira que a obra fique pronta em um menor tempo, e apresente uma substancial economia no orçamento de um modo geral da construção.

2.3 – VANTAGENS DA ESTRUTURA METÁLICA

O emprego do aço permite construir com segurança, rapidez e precisão de controle nos custos, e atualmente constata-se que a estrutura metálica vem conquistando cada vez maior espaço na construção civil.

O Brasil dispõe hoje de uma siderurgia moderna, com capacidade implantada capaz de suprir com produtos de alta qualidade, uma maior demanda no mercado da construção civil.

Hoje são produzidos e desenvolvidos com alta tecnologia aços estruturais, como por exemplo, os da linha Usi-Sac da Usiminas, resistentes à corrosão atmosférica, de fácil soldabilidade e próprios para a construção civil. São citadas a seguir, as principais vantagens do uso do aço como elemento construtivo.

2.3.1 – Alta Resistência às Tensões

O aço é mais resistente às tensões (tração, compressão, flexão, etc.) e também muito mais rijo ou menos deformável do que qualquer outro material estrutural comumente conhecido e empregado na construção civil, como por exemplo a madeira, o concreto armado ou ainda os tijolos de concreto ou cerâmicos comuns. Um elemento estrutural ou sistema suportará mais cargas e consequentemente maiores esforços se executado em aço, do que

qualquer outro nas mesmas dimensões, se executado em um dos materiais acima citados. Elementos de aço com seções transversais com áreas pequenas, se comparadas às dimensões de seus comprimentos, têm a capacidade de suportar grandes esforços. Isso acontece devido à sua alta densidade: 7.850 kg/m³.

2.3.2 – Eficiência Construtiva

A eficiência construtiva na construção metálica é obtida, em função de processos construtivos modernos e simples, sem o uso de equipamentos mais sofisticados, onde utilizando-se técnicas industriais se consegue uma melhor remuneração dos insumos e da mão de obra investidos. Os elementos de uma estrutura em aço são basicamente montados na obra, pois são produzidos nas fábricas de forma seriada. A fabricação da estrutura é executada paralelamente à execução das fundações e outros serviços preliminares, e ainda, com a simplificação do escoramento, a dispensa de formas, a facilidade do uso concomitante de elementos pré-moldados ou pré-fabricados, ou ainda a realização rápida de várias lajes, consegue-se rapidez na montagem dos pavimentos de uma obra, tendo-se a possibilidade de abertura de várias frentes de serviço com conseqüente diminuição do tempo de fechamento e maior retorno da relação custo/benefício.

Pode-se ainda considerar que elementos de passagens de utilidades, como instalações elétricas, hidráulicas e passagens de dutos de um modo geral, definidas no projeto, são executados durante o processo de fabricação da estrutura, propiciando um bom desenvolvimento da construção na fase de montagem.

A utilização imediata das escadas e/ou rampas de acesso, que já vêm prontas da fábrica, contribui para o aumento da eficiência construtiva.

2.3.3 – Alívio das Fundações

Sendo o aço um material de grande resistência, consegue-se projetos estruturais mais leves e esbeltos com efetiva redução de cargas.

Os elementos estruturais chegando à obra nas dimensões exatas de projeto, e bem alinhados, permitem além da rapidez na montagem, uma condição de nível, prumo e esqua-

dros perfeitos, evitando desperdícios de correções em revestimentos e rebocos. De um modo geral nas obras em estruturas de aço, não se utiliza mais do que 5mm de espessura em rebocos e/ou revestimentos, isto quando usada a alvenaria de tijolos comuns como fechamento. Nas obras com estruturas em concreto, é comum tal espessura ser de 25mm e até mais, para corrigir defeitos e imperfeições, o que significa um gasto de cerca de cinco vezes mais de material.

2.3.4 – Canteiro de Obras

Os motivos já anteriormente citados, como a dispensa de escoramento, a confecção rápida e imediata de várias lajes, bem como o pequeno manuseio de materiais diversos, reduzem sobremaneira a área necessária ao canteiro de obras. Isso permite executar a construção em ambiente limpo e consequentemente mais seguro ao trabalho, e também reduzir o acúmulo de materiais de entulhos e perdas desnecessárias com bota-foras. Evita-se assim não só transtornos em vias públicas com problemas de transporte, mas também o manuseio desnecessário de materiais em locais de difícil acesso, como no caso de encostas.

2.3.5 – Espaço Útil

Dada as características do material, a estrutura em aço permite utilizar pilares de menor seção e vencer maiores vãos-livres, do que quando se utiliza estrutura em concreto. Permite também adotar um menor número de pilares e vigas com menor altura, aumentando-se assim consequentemente, o espaço útil da construção.

Em se tratando de pequenos módulos de construção, como é o caso neste trabalho, o dimensionamento das peças da estrutura quase sempre se mantêm dentro dos limites mínimos das medidas necessárias, o que nos leva também a um ganho de área útil da construção.

2.3.6 – Flexibilidade na Construção

A estrutura metálica se adapta bem a vários outros tipos de materiais, o que permite

uma gama de opções muito grande com relação aos materiais a serem utilizados para fechamento dos painéis de paredes, lajes, coberturas, forros e acabamentos de um modo geral. Hoje, com o desenvolvimento de materiais e de processos relacionados à construção industrializada, a adoção da estrutura metálica combinada com novos sistemas construtivos pode ser considerada uma parceria ideal na construção civil moderna.

A flexibilidade também se apresenta para este tipo de estrutura ou construção, através da facilidade de desmonte, transporte e reutilização das peças em outro local sem grandes perdas.

2.3.7 – Economia da Obra

De maneira geral na construção industrializada, e particularmente com a utilização de estrutura metálica, que tem como elemento indispensável e fundamental um projeto bem elaborado, todas as vantagens já acima citadas propiciam um orçamento e um controle de perdas muito precisos. Torna-se dessa maneira um sistema muito econômico e eficaz.

Hoje, com a utilização de aços resistentes à corrosão atmosférica, próprios para a construção civil, a aceitação da estrutura metálica é indiscutível. A escolha do aço apropriado aliado à facilidade de manutenção das estruturas são fatores preponderantes para isso.

2.4 – ALGUNS TIPOS DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE HABITAÇÕES POPULARES

Neste tópico são apresentados diferentes tipos de sistemas de construções industrializadas, sendo que alguns ainda se apresentam sob a forma de protótipos. Grande parte deles estão em observação e avaliação de desempenho, seja como habitação popular ou algum outro eventual tipo de ocupação, e são desenvolvidos com os mais variados tipos de materiais e processos, quase todos apresentados nas Vilas Tecnológicas (Construção Minas/Centro Oeste, 1994).

2.4.1 – Sistema Etercasa (Fig. 2.1)

Figura 2.1 – Sistema Etercasa.

Este sistema construtivo como mostrado na Figura 2.1, é composto por painéis autoportantes com estrutura interna de madeira tratada embutida entre placas lisas de fibrocimento. Possui peças complementares de canto, e a união entre os painéis é feita por juntas secas utilizando elemento metálico e adesivo selante para conferir estanqueidade e segurança às paredes.

2.4.2 – Sistema 3P Construções (Fig. 2.2)

Figura 2.2 – Sistema 3P Construções.

É chamado pelo idealizador de Sistema Climatex (Figura 2.2), e se baseia no acoplamento de painéis portantes de chapa de fibra de madeira mineralizada, ligados entre si por grampos que compõem o sistema estrutural. A amarração à fundação é feita pelo encaixe dos painéis na face superior das vigas cintas e do contrapiso. A estrutura do telhado é feita por um par de terças na cumeeira e no beiral, cobertas com telhas de fibrocimento.

2.4.3 – Sistema Cabrini Monolite (Fig.2.3)

Figura 2.3 – Sistema Cabrini Monolite.

O componente básico deste sistema é um painel sanduíche, composto de um núcleo de EPS (poliestireno expandido), envolvido em telas de aço eletrossoldadas e argamassa projetada (Figura 2.3). Esta operação é executada no próprio canteiro de obras. O EPS tem seção transversal ondulada, como uma telha, e as cavas coincidem com fios de aço longitudinais, na montagem. Isso permite a composição de micropilaretes, o que otimiza e desempenho estrutural dos painéis empregados não só como alvenaria mas também como forro.

2.4.4 – Sistema Sisbeton (Fig. 2.4)

Figura 2.4 – Sistema Sisbeton.

É composto de painéis sanduíche com EPS (poliestireno expandido) e concreto (Figura 2.4). Os painéis são executados em mesas metálicas e fundidos em uma única operação para alcançarem as características de monolitismo. O concreto usado na fabricação dos painéis é composto com argila expandida. O sistema também adota vigas pré-moldadas de concreto armado e seção “U” invertido, para alinhar os painéis e colaborar na distribuição de cargas pontuais.

2.4.5 – Sistema Epotec (Fig. 2.5)

Figura 2.5 – Sistema Epotec.

Este sistema traz painéis leves estruturais impermeabilizados com epóxi em todas as faces (Figura 2.5). A modulação básica é de 1,25m ou frações, e as juntas são fixadas com meios mecânicos e colagens com epóxi. Os componentes de lajes de forro e pisos também são pré-fabricados. Os painéis incorporam as instalações hidráulicas e elétricas. As esquadrias metálicas são pré-embutidas. A estrutura da cobertura em treliças pré-fabricadas, tem revestimento de forro nos beirais e terças pré-montadas.

2.4.6 – Sistema Batistella (Fig. 2.6)

Figura 2.6 – Sistema Batistella.

Este Sistema consiste em painéis de madeira extraída de reflorestamento próprio segundo seu idealizador (Figura 2.6). As casas tem paredes duplas, cujos elementos são tratados em autoclave contra ataques de cupins e apodrecimento. A estrutura é pré-fabricada com conectores metálicos. As instalações hidráulicas e elétricas são embutidas nas paredes.

2.4.7 – Sistema Kürten (Fig. 2.7)

Figura 2.7 – Sistema Kürten.

Este sistema é feito de madeira reciclável (pinus) tratada adequadamente (Figura 2.7). A durabilidade é assegurada por conservantes químicos aplicados sobre pressão em autoclave. Para o acabamento são empregadas resinas com propriedades fungicidas e hidrorrepelentes. A construção é feita de perfis de madeira encaixada nos montantes, e tem o custo médio de 91 dólares o metro quadrado da construção.

2.4.8 – Sistema Todeschini (Fig. 2.8)

Figura 2.8 – Sistema Todeschini.

É uma variação do sistema de casas de campo já bastante usado. Tem a madeira como elemento principal (Figura 2.8). As paredes são formadas pela sobreposição de perfis de madeira de lei maciça, que vão sendo encaixados em montantes de perfil "H", também do mesmo material. A montagem é no próprio canteiro de obras. A fundação, que pode ser de estaca broca, assim como o piso e o contrapiso, têm padrões convencionais.

2.4.9 – Sistema Paineira (Fig. 2.9)

Figura 2.9 – Sistema Paineira.

Este sistema utiliza peças pré-moldadas de concreto armado ou argamassa, moldadas em formas metálicas (Figura 2.9). O sistema é constituído por nove tipos de peças, todas com poucos detalhes de desenho para facilitar a produção industrial. Os painéis são nervurados para que tenham melhor desempenho estrutural. A cinta superior de amarração é fundida em uma calha formada pelos próprio painéis. A montagem dispensa o uso de maquinário, pois os elementos são de pequeno porte.

2.4.10 – Sistema Andrade Ribeiro (Fig. 2.10)

Figura 2.10 – Sistema Andrade Ribeiro.

Este sistema é constituido por elementos leves de concreto armado, fibrocimento (telhas) e metálicos (esquadrias) (Figura 2.10). Os componentes de concreto armado, como vigas, cruzetas de fundação, montantes, painéis de paredes, lajes de forro, terças e estrutura da cobertura, são produzidos na fábrica da empresa, assim como as esquadrias metálicas. O acabamento, como piso, pintura e portas internas, segue o padrão convencional de construção.

2.4.11 – Sistema Castellamare (Fig. 2.11)

Figura 2.11 – Sistema Castellamare.

Pode ser considerado um aperfeiçoamento dos blocos de concreto (Figura 2.11). Sem necessidade de argamassa de assentamento, a alvenaria constituída por esses blocos é travada internamente por meio de encaixes. A tipologia de peças inclui blocos normais prismáticos e blocos para cantos, cruzamentos, oitões, batentes de portas e blocos canaletas. Este sistema tem um custo da ordem de 140 dólares por m² de construção para uma casa de 40 m².

2.4.12 – Sistema Andrade Gutierrez (Fig. 2.12)

Figura 2.12 – Sistema Andrade Gutierrez.

Esta solução apresentada tem como componente básico blocos vazados de solo-cimento prensados, denominados tijolitos (Figura 2.12). Com dois tipos de furos, de 45mm de diâmetro e de 31mm de diâmetro, esse material dispensa o uso de argamassa de assentamento. A estabilidade do conjunto é proporcionada por injeção de argamassa de cimento, cal e areia nos furos de menor diâmetro e também em alguns de maior diâmetro. As três fiadas superiores da alvenaria têm todos os furos preenchidos para a solidarização do conjunto. As paredes são acabadas nas empenas, com perfis de aço de seção “U” invertido.

2.4.13 – Sistema COHAB – PA (Fig. 2.13)

Figura 2.13 – Sistema COHAB – PA.

Este sistema se constitui de oito modelos de blocos para as paredes, cantos da alvenaria, divisórias, arremates de vãos e composições de painéis (Figura 2.13). Os blocos são de material cerâmico e caracterizados por um intertravamento. O cimento é utilizado no rejuntamento das peças e nas cintas de amarração. Nos cantos das paredes são colocados ferros de 4,2mm de diâmetro com enchimento de argamassa. Isso faz com que o sistema funcione à semelhança de alvenaria armada.

2.4.14 – Sistema Prefac (Fig. 2.14)

Figura 2.14 – Sistema Prefac.

A principal característica deste sistema é a utilização de painéis de concreto celular autoclavado, de 7,5cm de espessura, apresentados em módulo padrão de 0,60m x 2,60m (Figura 2.14). Internamente empregam-se blocos de concreto celular com a mesma espessura e formato de 0,60m x 0,40m, apenas apoiados uns sobre os outros. A interligação vertical é feita com perfis metálicos galvanizados e a cobertura pode ser montada com telhas de fibrocimento sobre madeira.

2.4.15 – Sistema Kit SICAL (Fig. 2.15A e B)

Figura 2.15A – Sistema Kit SICAL.

Este sistema desenvolvido pela SICAL, é formado por blocos de concreto celular autoclavado de grandes dimensões (Figura 2.15A). Podem ser montados sem mão de obra especializada, principalmente em mutirões ou sistemas de auto-construção. O Kit básico foi desenvolvido para um projeto padrão de 40 m², com dois quartos, sala, banheiro e cozinha.

Na Figura 2.15B, está representado o esquema de montagem do Kit, com um detalhe do encaixe dos tijolos. Ressalta-se que esse material, além de usado com todos os tipos de estruturas, é largamente empregado junto com as estruturas metálicas, dado às suas características e propriedades.

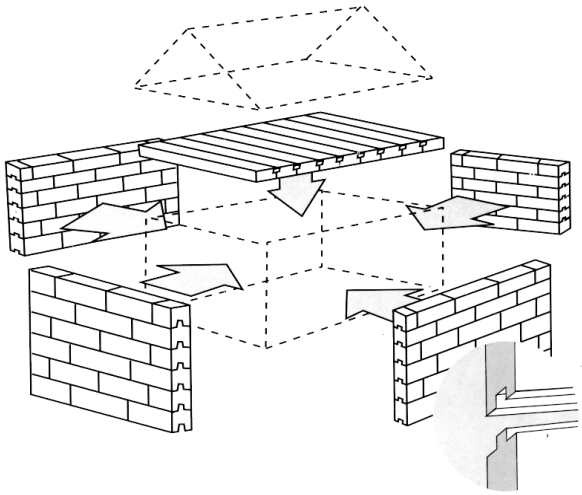


Figura 2.15B – Esquema de Montagem do Kit Sical e Detalhe de Encaixe dos Tijolos.

2.4.16 – Sistema Casa Modular CSN (Fig. 2.16A e B)

Figura 2.16A – Sistema Casa Modular CSN.

Este sistema construtivo desenvolvido pela CSN – Companhia Siderúrgica Nacional – como mostra a Figura 2.16A e B, consiste de estruturas de aço galvanizado que formam as paredes e o engradamento do telhado.

É um sistema modular adaptável a qualquer projeto arquitetônico.

As paredes são revestidas de painéis de gesso internamente, e em material de vinil na parte externa.

Figura 2.16B – Detalhe da Estrutura da Casa Modular CSN.

Na Figura 2.16B, vê-se o esquema da estrutura das paredes feita de chapas de aço dobrado galvanizado, sobre as quais, após as instalações elétrica e hidráulica terminadas, serão colocados os painéis das paredes internas e externas.

Cabe aqui ressaltar que em 1996 foi desenvolvido no Laboratório A. T. Dias da Escola de Minas (laboratório de estruturas) uma pesquisa desenvolvida para a CSN, em que se estudou o comportamento de perfis de chapa de aço dobradas a frio de seção "**S**", para aplicação em vigas e colunas em construções de moradias populares.

Figura 2.17A – Casa Popular em Ouro Preto.

Foi usado o aço zincado ZAR da CSN de alta resistência com $f_y = 620$ MPa.

Tal pesquisa culminou com a construção de algumas casas populares em Ouro Preto, e nas Figuras 2.17A e B podem ser vistos, respectivamente, uma vista de uma delas e detalhes construtivos onde se vê um perfil "**S**" aplicado em uma coluna de canto, com detalhes ainda da estrutura do telhado.

Figura 2.17B – Casa Popular em Ouro Preto. Detalhe da Coluna de Canto e da Estrutura do Telhado.

A estrutura do telhado também é metálica com o uso de perfis de seção "**U**" enrijecido nas tesouras e terças, sendo as ripas também de perfis metálicos.

As casas têm 36,00m² de área construída e o custo aproximado de R$5.000,00 (Rodrigues, 1998).

Esta pesquisa foi desenvolvida por Rodrigues, Gouveia e Armond (1996), tendo sido o projeto precursor da Casa Modular CSN.

2.4.17 – Sistema COHAB – MG (Fig. 2.17)

Figura 2.18 – Sistema COHAB – MG.

É um sistema formado por prédios de quatro pavimentos construídos em estrutura metálica. Na Figura 2.18 vê-se um prédio em construção, sendo destacado na parte inferior à direita, uma unidade habitacional acabada.

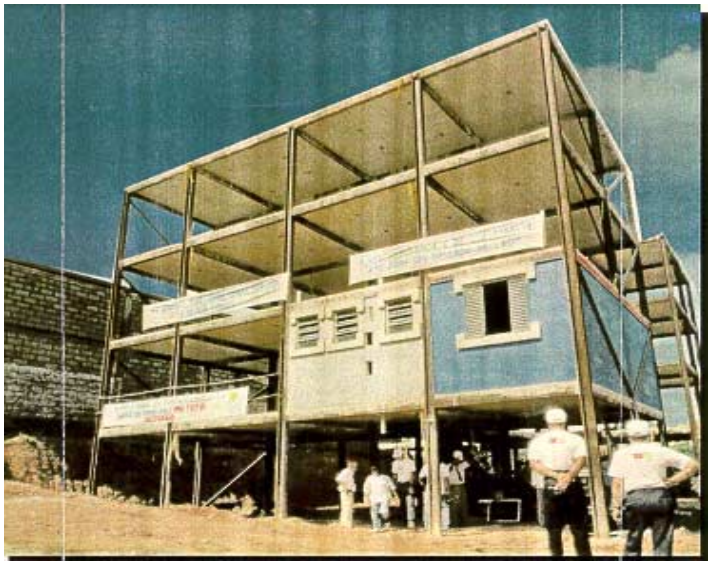
Utiliza aço USI-SAC 41 de alta resistência à corrosão atmosférica, em perfis de chapa de aço dobradas a frio. As colunas são de perfis de seção tipo "Duplo Cartola" e as vigas de perfis de seção "Caixa". A espessura do aço utilizado varia de 2,5 a 3,75mm.

As lajes entre pisos são moldadas "in locu", armadas com malha de aço soldado. Cada andar tem quatro apartamento de 47m² com sala, dois quartos, cozinha e banheiro. As construções são feitas por sistema de mutirão ou por empreitada global. Na Figura 2.19A e B vêm-se respectivamente, detalhes das fundações e uma vista geral da estrutura. Nesta última podem ser vistos os contraventamentos e a caixa de escadas. Na Figura 2.20A e B são mostradas vistas, da estrutura com as lajes e com a alvenaria (Rodrigues/PÓRTICO, 1998).

A – Detalhe das Fundações.

B – Vista Geral da Estrutura.

Figura 2.19A e B – Detalhes das Fundações e Vista da Estrutura.



A – Vista da Estrutura com as Lajes.

B – Vista da Estrutura com a Alvenaria.

Figura 2.20A e B – Vistas da Estrutura com as Lajes e com a Alvenaria.

2.4.18 - Exemplos de Sistemas Construtivos Executados em Países Diversos

São apresentados a seguir, algumas Figuras de esquemas de sistemas construtivos, com a finalidade de se exemplificar o grau de desenvolvimento e aplicação da construção industrializada no mundo.

a) Do Reino Unido tem-se o exemplo do sistema construtivo da Figura 2.21, executado em painéis inteiriços pré-fabricados. As paredes são painéis compostos de chapas de aço galvanizado e cimento fibroso, e ainda painéis tipo sanduíche. O piso e o telhado são de chapas de aço perfilado.

Figura 2.21 – Construção com Painéis Pré-Fabricados de Chapas de Aço.

b) Na Figura 2.22 vê-se um sistema fabricado na Finlândia. Esse sistema tem os pisos feitos de blocos de concreto com núcleo oco. As paredes externa são feitas com painéis integrados leves com até oito metros de comprimento. Possuem um revestimento externo de chapa de aço cobertas com plástico, e com placas de gesso no interior.

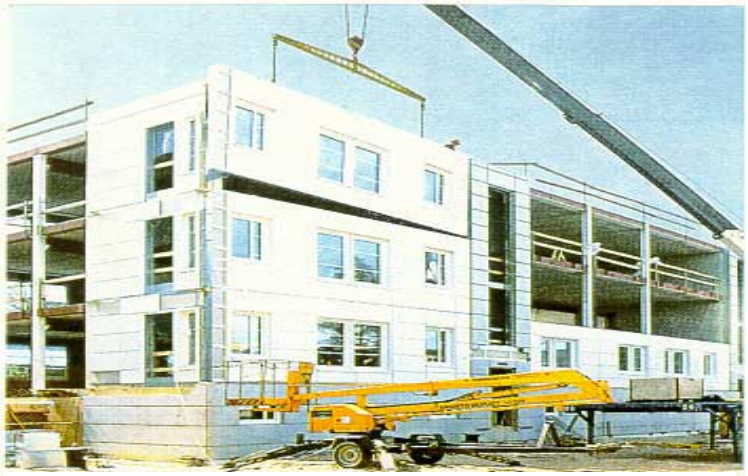


Figura 2.22 - Sistema de Painéis Pré-Fabricados da Finlândia.

c) Dos países baixos, tem-se o exemplo de construção em painéis pré-fabricados para moradias multifamiliares. Na Figura 2.23.A, B e C são mostrados respectivamente, um esquema do desenvolvimento da construção, no sentido de (1) para (4), e duas vistas da montagem dos componentes.

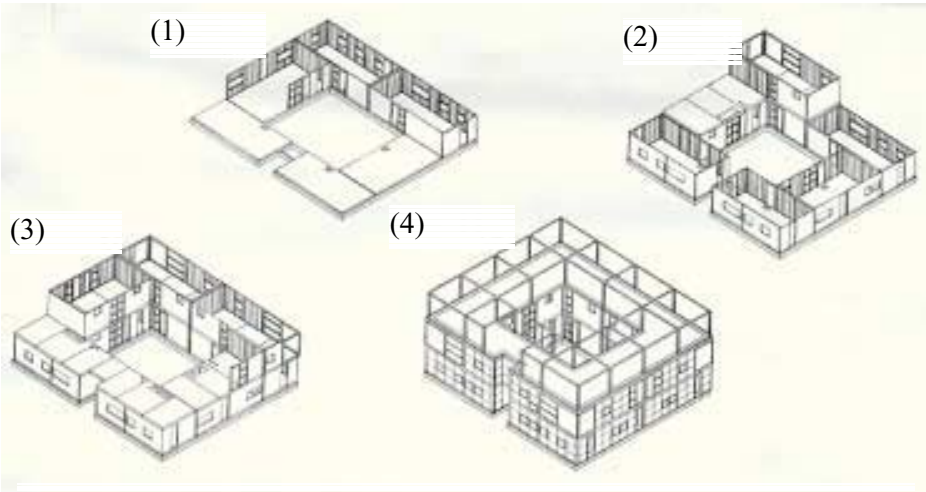
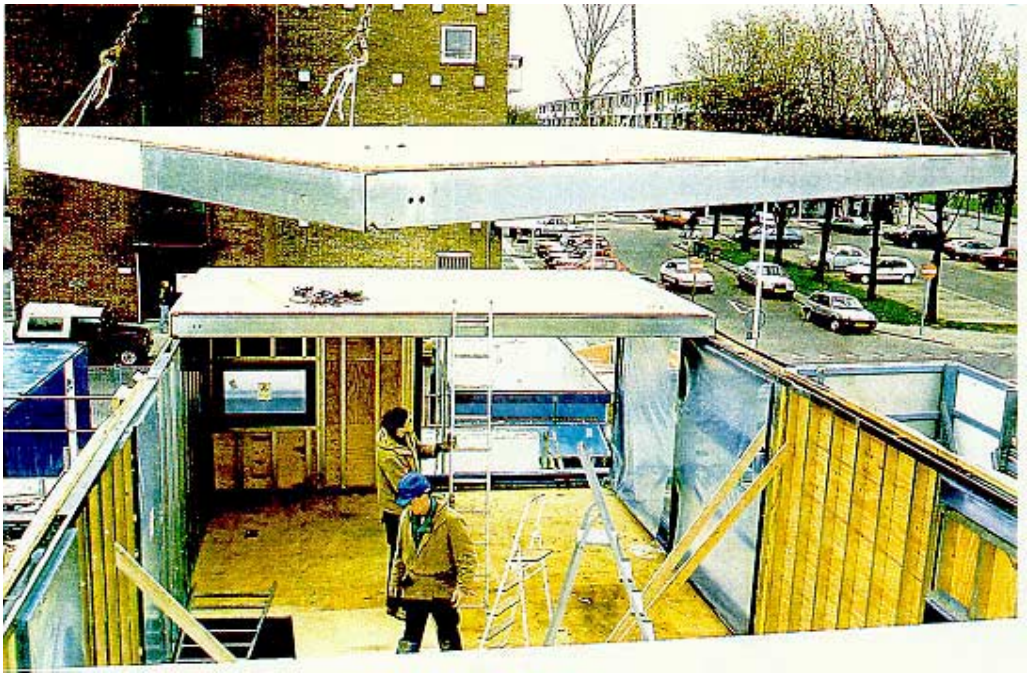


Figura 2.23.A - Esquema de Construção de Moradias Multifamiliares.



B)

C)

Figura 2.23.Be C – Vista da Montagem dos Componentes de Moradias Multifamiliares.

Capítulo 3

SISTEMA CONSTRUTIVO I: DRY WALL

3.1 – INTRODUÇÃO

O sistema construtivo conhecido como "Dry-Wall" – paredes secas – já é mundialmente utilizado em larga escala em diversos países. A idéia de tal sistema, baseia-se nas construções das habitações de madeira executadas em países da Europa e nos Estados Unidos.

Numa descrição simples, tais habitações eram constituídas por uma estrutura de peças esbeltas de madeira (denominadas montantes) alinhadas nas direções dos eixos das paredes, que formavam o "esqueleto" da construção. O fechamento era então executado por tábuas sobrepostas por uma das faces, e pregadas no sentido transversal a estes montantes, umas sobre a outras, dos lados internos e externos, formando assim os painéis ocos das paredes.

Desenvolvido dessa maneira, tal processo apresenta como grande vantagem a rapidez de execução, isto pelo fato de poder as peças de madeira serem cortadas e preparadas anteriormente à sua aplicação na obra. Ressalta-se que, em alguns países ou regiões do planeta, países de inverno longo e rigoroso, ser o fator tempo preponderante em relação aos demais no desenvolvimento das construções, pois não possuem seus habitantes, às vezes, mais do que seis meses para construírem suas habitações, que são executadas no período das estações do ano que permitem esta atividade.

Este sistema construtivo ainda hoje é executado, mas tem como regra básica, observar-se os devidos cuidados com relação ao meio ambiente, com a utilização de madeira reciclável ou madeira de reflorestamento próprio.

Neste capítulo será abordado o sistema construtivo denominado Sistema Construtivo I, proposto ao projeto de construção de casas populares de Maior (1997), já referido no Capítulo 1 item 1.2. Esse sistema é baseado no Sistema construtivo tipo "Dry Wall".

No item 3.2 é apresentado o sistema tipo "Dry Wall" em sí, com exemplos ilustrativos de sua execução e a idéia básica objetivo deste trabalho, qual seja: a utilização do sistema construtivo tipo "Dry Wall" como paredes estruturais, ou seja, no caso, tendo os montantes de aço para fixação dos painéis das paredes uma função estrutural. Ainda neste item, são apresentados detalhamento do sistema construtivo, as propriedades físicas e mecânicas dos materiais empregados, as características geométricas dos perfis. No item 3.3 é abordado a implantação do projeto em sí.

3.2 – O SISTEMA TIPO DRY WALL

Este sistema, conforme já acima referido, é utilizado em larga escala em todo o mundo, mas no Brasil, é usado basicamente na confecção de paredes internas e divisórias de um modo geral. Não é usado em paredes estruturais.

Trabalhos neste sentido vêm sendo desenvolvidos em algumas empresas ou instituições do país. Na CSN – Companhia Siderúrgica Nacional – por exemplo, está sendo desenvolvido um trabalho denominado Casa Modular CSN ou Sistema Modular CSN, ainda sob a forma de protótipo, já exemplificado anteriormente no Capítulo 2, item 2.16.

Até recentemente, o sistema tipo "Dry Wall" era totalmente importado por algumas firmas no Brasil.

Tal sistema consiste em painéis de gesso acartonado pré-fabricados, parafusados em uma ou mais camadas, em montantes alinhados e fixados sobre guias. Estes montantes e guias, são feitos de perfis dobrados de chapa de aço galvanizado, e apresenta no final o conjunto, uma superfície apta a receber vários tipos de acabamento.

Este sistema apresenta as vantagens dos sistemas construtivos industrializados, entre as quais citamos: alívio de carga nas fundações (pelo baixo peso), facilidade para passagem de instalações elétricas e hidráulicas (paredes ocas), flexibilidade para projetos

personalizados e otimização do cronograma físico-financeiro do projeto, permitindo a execução de uma obra rápida, racionalizada e limpa. As paredes são perfeitamente alinhadas, os painéis de gesso podem receber qualquer tipo de revestimento como pintura, cerâmica, papel de parede, fórmica e outros materiais. É possível obter-se paredes com uma gama muito ampla de performances, desde paredes simples para divisórias internas à paredes de grande desempenho, (grandes pés-direitos, alta resistência mecânica, alto isolamento acústico e térmico).

Dentre os atuais fabricantes deste tipo de sistema, podem ser citados a Placo do Brasil BPB e a Lafarge Gypsum, esta última uma empresa francesa já estabelecida no país.

Na Figura 3.1 tem-se o esquema básico deste sistema construtivo – "Dry Wall" Lafarge Gypsum – .

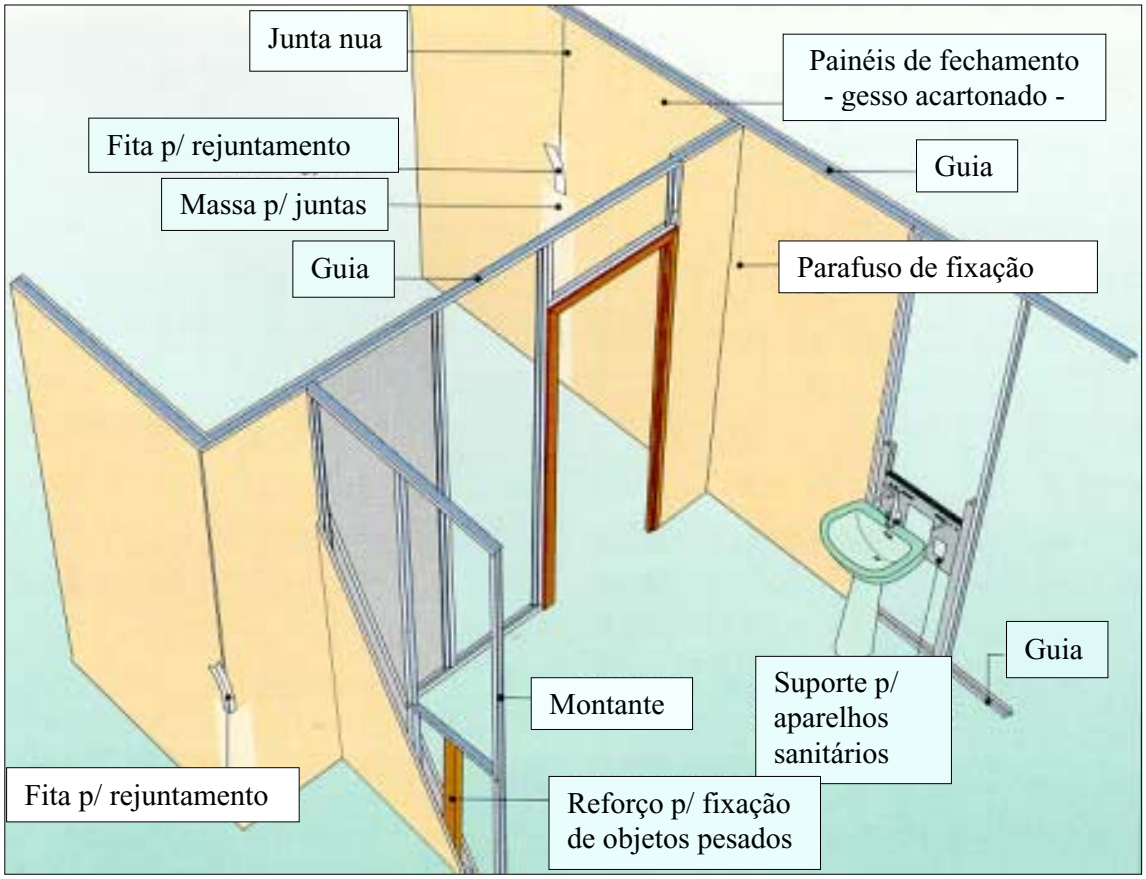


Figura 3.1 – Esquema Construtivo do Sistema Dry Wall.

3.2.1 – Informações e Dados Técnicos

A seguir são fornecidas algumas informações de caráter técnico sobre o sistema, bem como uma descrição de seus componentes, montagens, efeito de juntas e detalhes construtivos (IPT, 1997).

3.2.1.1 – Principais Componentes do Sistema

O Sistema "Dry Wall" apresentado a seguir como exemplo, baseia-se no sistema fabricado pela Lafarge Gypsum da França. Ressalta-se que alguns componentes, como as chapas de gesso acartonado, já são atualmente fabricados no Brasil.

A) – Painéis de Fechamento

São chapas de gesso acartonado, e usualmente possuem as dimensões nominais de 12,5 mm de espessura, 1,20m de largura e entre 1,80m a 3,00m de comprimento.
Existem três tipos principais de chapas, quais sejam (IPT, 1997):

- **"Standard"** → para uso geral: → **"Tipo 1"**.
- **"Resistentes à Umidade"** → para paredes sujeitas à umidade, como as empregadas em banheiros, cozinhas e áreas de serviço: →**"Tipo 2"**.
- **"Resistentes ao fogo"** → para paredes com exigências especiais de resistência ao fogo: → **"Tipo 3"**.

Na Tabela 3.1 encontram-se as características gerais exigidas para as chapas, e na Tabela 3.2 encontra-se os tipos básicos de painéis com suas dimensões. Ressalta-se ainda que, existem possibilidades de painéis especiais contra fogo, resistente à umidade, de alta dureza e de altíssima dureza.

Tabela 3.1 – Características Gerais Exigidas para as Chapas de Gesso (IPT, 1997).

Características gerais	Exigências
Tolerância na espessura	K 0,4 mm
Tolerância na largura	+ 0/-5 mm
Tolerância no comprimento	+ 0/-5 mm
Densidade superficial de massa	8,5 a 12,0 kg/m³
Resistência à flexão transversal	0,21kN/cm²
Resistência à flexão longitudinal	0,60kN/cm²

Tabela 3.2 – Painéis de Gesso (Lafarge Gypsum, 1997).

Tipo		Espessura (mm)	Largura (mm)	Comp. (mm)
Pregypan	BA13	12,5	120	240 a 360
	BA15	15	120	250 a300

B) – Perfis Metálicos de Aço Zincado

São usados para montantes e guias. São atualmente importados e possuem espessura média de 0,56 mm a 0,60 mm. Adota-se para as guias perfis com seção "U" simples, com largura nominal de 48 mm e 70 mm, e para os montantes perfis com seção "U" enrijecido, com largura nominal de 47 mm e 69 mm. A largura das abas é de 35 mm. A camada de zinco eqüivale em média, a 250 g/m² ,em dupla face.

Uma observação importante: "Adaptações a perfis de fabricação nacional deverão considerar chapas zincadas classe B. A adoção de perfis com dimensões diferentes está sujeita à aprovação prévia do fabricante" (IPT, 1997).

C) – Acessórios

As principais peças acessórias são descritas a seguir:

- Parafusos autoatarrachantes para fixação das chapas de gesso;
- Fita de papel microperfurada, empregada nas juntas entre as chapas;
- Fita de papel com reforço metálico, e cantoneiras metálicas para acabamento, proteção das chapas nos cantos de paredes e bordas cortadas;

D) – Juntas de Movimentação

Devem ser previstas em paredes de grandes dimensões, de forma a evitar problemas de fissuração por movimentações higrotérmicas. Para paredes simples, com uma camada de chapas de gesso em cada face, é recomendado uma junta de movimentação a cada 50 m² de painel. Para paredes duplas, com duas camadas de chapas de gesso em cada face, recomenda-se uma junta a cada 70 m². Em ambos os casos a distância máxima entre juntas deve ser de 15 m. O fabricante recomenda proteger as juntas, de modo a garantir o isolamento acústico e a resistência ao fogo da parede.

E) – Juntas Flexíveis ou Telescópicas

As paredes permitem uma certa movimentação ou acomodação, em função de deformações da estrutura que a suporta. Isso acontece devido a existência de pequenas folgas entre seus componentes, montantes e guias, e entre chapas de gesso e a estrutura. Para estruturas mais flexíveis ou deformáveis, devem ser previstos detalhes especiais para acomodação dos esforços, como juntas flexíveis ou telescópicas indicadas pelo fabricante.

3.2.1.2 – Montagem das Paredes

Na Figura 3.2A, B, C e D, são apresentados esquemas dos elementos componentes de alguns tipos de paredes Lafarge Gypsum, em planta, com algumas de suas especificações e a nomenclatura utilizada.

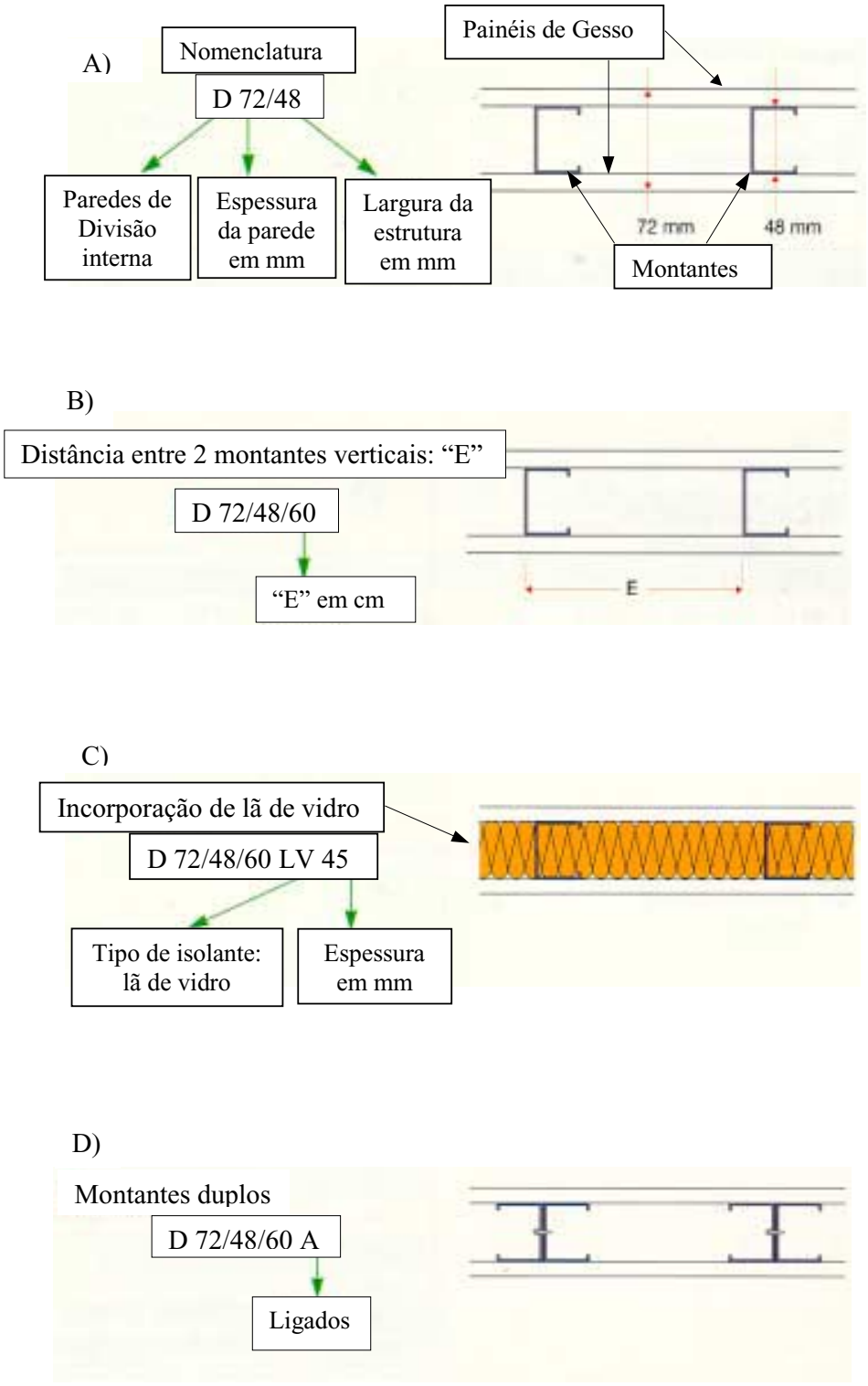


Figura 3.2A; B C e D – Elementos Componentes de Alguns Tipos de Paredes.

Para a montagem das paredes são necessárias ferramentas apropriadas, como:

- Serrote normal e de bico, estilete (faca retrátil) e plaina para corte e acabamento das chapas de gesso;
- Tesoura para corte dos perfis metálicos;
- Parafusadeira para fixação das chapas à estrutura metálica;
- Espátulas e desempenadeiras metálicas para tratamento das juntas entre chapa;
- Níveis, linhas e prumo;
- Brocas tipo copo para aberturas circulares nas chapas de gesso.

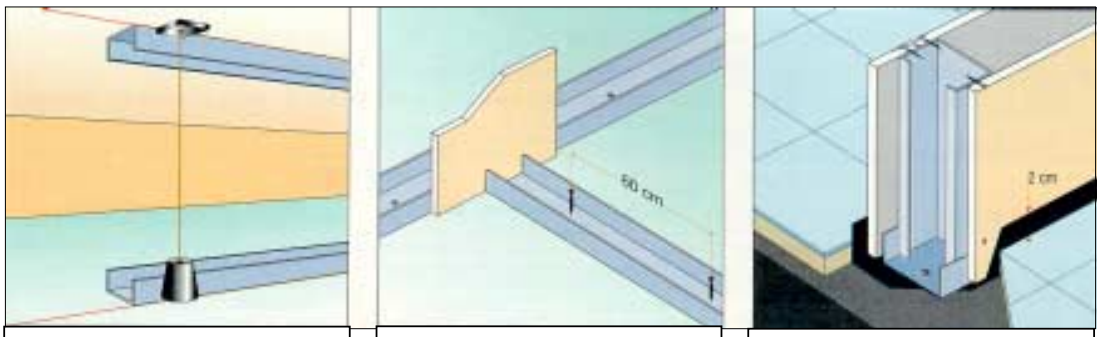
3.2.1.3 - Procedimento de Montagem

Serão apresentados nesta seção, os procedimentos de montagem de paredes, segundo especificações técnicas do fabricante (Lafarge Gypsum, 1998).

A) – Marcação e Fixação das Guias

No piso e no teto, quando o sistema é usado apenas como fechamento, devem ser marcados a localização das guias e os pontos de referência dos vãos de portas e fixação de cargas pesadas, previamente definidos no projeto. Deve-se observar um espaçamento entre as guias na junção das paredes e "L" ou "T" para colocação de chapas de gesso. As guias devem ser fixadas no piso e no teto, preferencialmente com parafusos e buchas espaçados no máximo a cada 60 cm.

Caso haja necessidade de colagem, que deve ser feita apenas em condições especiais, deverá ser consultado o fabricante. Na Figura 3.3A, B e C estão respectivamente os esquemas de marcação (com utilização de fio de prumo) e colocação das guias (com parafusos), inclusive em locais de umidade. Nestes locais, as guias devem ser colocadas juntamente com a aplicação de material isolante.



A) Marcação das Guias. | B) Colocação das Guias. | C) Guias Protegidas em Locais de Umidade.

Figura 3.3A, B e C – Marcação e Colocação das Guias

B) – Colocação dos Montantes

Os montantes devem possuir aproximadamente a altura do pé direito, com 5 mm a menos. Quando forem usados montantes duplos, estes devem ser solidarizados entre si com parafusos espaçados de no máximo 40 cm. Os montantes de partida devem ser fixados nas paredes laterais e nas guias; os demais são colocados verticalmente no interior das guias e posicionados a cada 40 cm ou 60 cm, dependendo do tipo de parede. Deve-se consultar o fabricante, quando houver necessidade de emenda de montantes em função do pé direito. Na Figura 3.4 está o esquema de colocação dos montantes

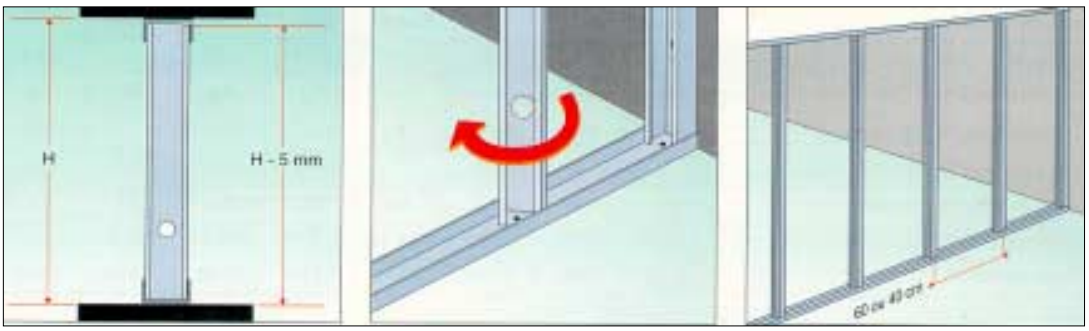


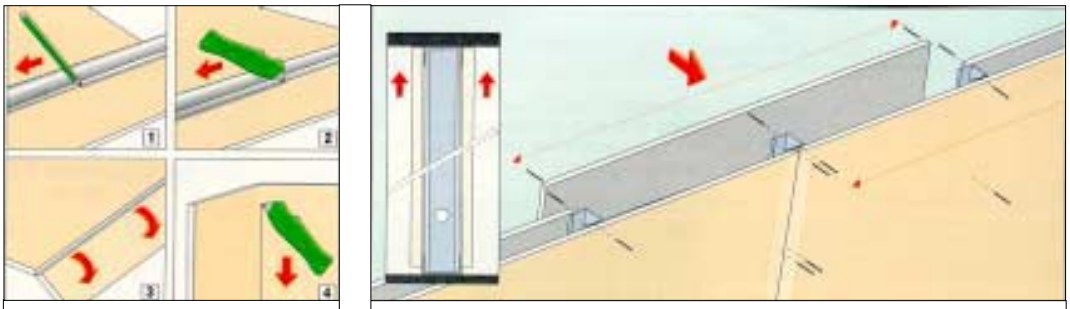
Figura 3.4 – Colocação dos Montantes.

C) – Colocação das Chapas de Gesso

As chapas de gesso devem possuir aproximadamente a altura do pé direito, com pelo menos 1cm a menos. As aberturas para caixas elétricas podem ser feitas antes ou após a montagem, dependendo da seqüência executiva. Deve-se posicionar as chapas de encontro aos montantes, encostadas no teto, deixando a folga na parte inferior. As juntas em uma face da parede devem ser desencontradas em relação às da outra face. No caso de paredes com chapas duplas, as juntas da segunda camada devem ser defasadas da primeira. A junta entre as chapas deve ser feita sempre sobre um montante. As chapas são parafusadas aos montantes, com espaçamento de 30cm entre os parafusos, no mínimo a 1 cm da borda da chapa. Quando usar montantes duplos, parafusar alternadamente sobre cada montantes. Deve-se tomar o devido cuidado para que a cabeça do parafuso não perfure totalmente o cartão, e também não fique saliente em relação à face da chapa.

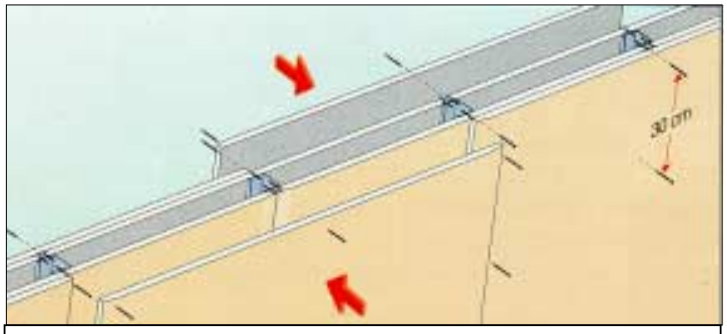
Após a colocação das chapas em uma das faces da parede, certificar-se do correto posicionamento e execução das instalações elétricas e hidráulicas (inclusive com teste de estanqueidade), e eventual colocação de isolante, e da colocação de eventuais reforços para fixação de cargas de peças suspensas pesadas, antes da colocação das chapas na outra face da parede. Deve ser executada em primeiro lugar a face da parede que receberá a fixação de cargas pesadas, para que possam ser instalados reforços previamente previstos em projeto.

As tubulações de cobre deverão ser isoladas quando passarem nos furos existentes nos montantes. Os fios da instalações elétricas devem ser colocados em eletrodutos. Na Figura 3.5A, B e C encontram-se, respectivamente, o esquema de corte dos painéis de gesso, o do assentamento dos painéis com detalhe das juntas desencontradas e a utilização de dois painéis sobrepostos no fechamento.



A) Corte dos Painéis. | B) Assentamento dos Painéis com Juntas Desencontradas.

Figura 3.5A e B – Colocação das Chapas de Gesso.



C) Fechamento com Utilização de Dois Painéis Sobrepostos.

Figura 3.5C – Colocação das Chapas de Gesso.

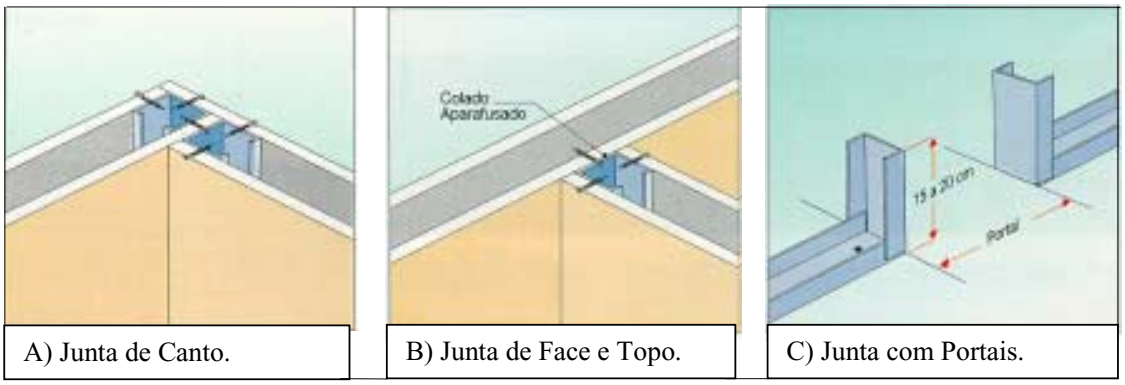
D) – Tratamento das Juntas Entre Chapas de Gesso

É feito com uma primeira aplicação de massa de rejuntamento sobre a região da junta; em seguida, coloca-se a fita de papel perfurada (do fabricante) sobre o eixo da junta, impregnando com massa e pressionando firmemente de forma a eliminar o material excedente, por meio de espátula. Com uma desempenadeira metálica, deve-se realizar o acabamento da junta, de forma que a massa de rejuntamento fique faceando as superfícies das chapas de gesso contíguas. Após a secagem, que é variável em função do tipo de massa, poderá ser dado o acabamento final na junta.

E) – Detalhes Construtivos das Juntas em "L" (cantos) e em "T" (encontros de face e topo)

Os encontros externos devem ser protegidos da ação de choques mecânicos através da adoção de perfis metálicos especiais de proteção ou fitas de papel com reforço metálico do fabricante. Os encontros internos nas juntas podem ser acabados com a fita da papel microperfurada e a massa de rejuntamento.

Na Figura 3.6A, B e C são vistos detalhes das juntas para cantos, de face e topo, respectivamente; o detalhe de junta com portais pode ser visto na Figura 3.6C.



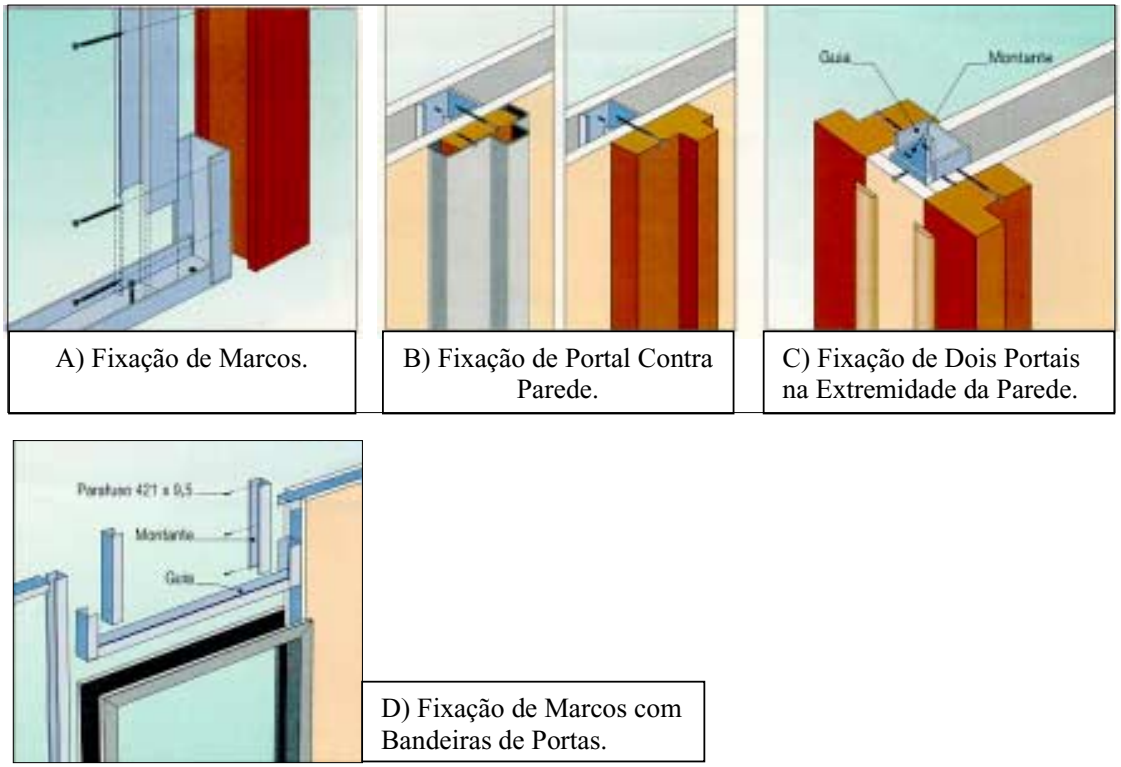
A) Junta de Canto. | B) Junta de Face e Topo. | C) Junta com Portais.

Figura 3.6A, B e C – Detalhes de Juntas.

F) – Fixação de Marcos de Portas

Os marcos de portas devem ser sempre fixados sobre os montantes das paredes, preferencialmente enrijecidos internamente com madeira, em particular no caso da fixação de marcos em trechos intermediários da parede. No caso da fixação de topo, tanto a guia inferior, como o trecho de guia imediatamente sobre o marco, devem ter abas viradas em 90º, com 20 cm de altura, de forma a conferir maior estabilidade aos montantes. Na parte superior, entre o marco e a estrutura da construção, na região da "bandeira" da porta, deve ser colocado pelo menos um trecho de montante intermediário, para fixação das chapas de gesso (caso de portas usuais). Na Figura 3.7A, B, C e D, são apresentados detalhes de esquemas de fixação de marcos de portas.

Os montantes de fixação dos marcos devem ser fixados às guias inferior e superior. As ombreiras dos marcos devem ser fixadas aos montantes metálicos em pelo menos três pontos de cada lado, preferencialmente de forma alternada. Podem ser empregados marcos metálicos ou de madeira. No caso da fixação de dois marcos justapostos, ou seja, um de cada lado da parede, na mesma posição, o montante da parede deve se reforçado ou com peça de madeira contínua, posicionada internamente ao montante, ou com um perfil de guia envolvendo o montante.



A) Fixação de Marcos.

B) Fixação de Portal Contra Parede.

C) Fixação de Dois Portais na Extremidade da Parede.

D) Fixação de Marcos com Bandeiras de Portas.

Figura 3.7A, B, C e D – Detalhes de Fixação de Marcos de Portas.

G) – Paredes em Ambientes Molháveis

Em ambientes como cozinhas, banheiros e áreas de serviço, devem ser empregadas chapas resistentes à umidade. Na Figura 3.8 é mostrado o esquema dos cuidados a serem tomados em ambientes molháveis.

Também devem ser previstos detalhes especiais de impermeabilização na base da parede e no encontro com o piso, de forma a não haver contato entre a chapa de gesso e a água.

Podem ser empregados sistemas de impermeabilização a frio, à base de betume e elastômeros, e como revestimentos das paredes devem ser empregados azulejos ou pinturas impermeáveis, principalmente na região do box do banheiro, e ainda barras impermeáveis sobre pias, lavatórios e tanques.

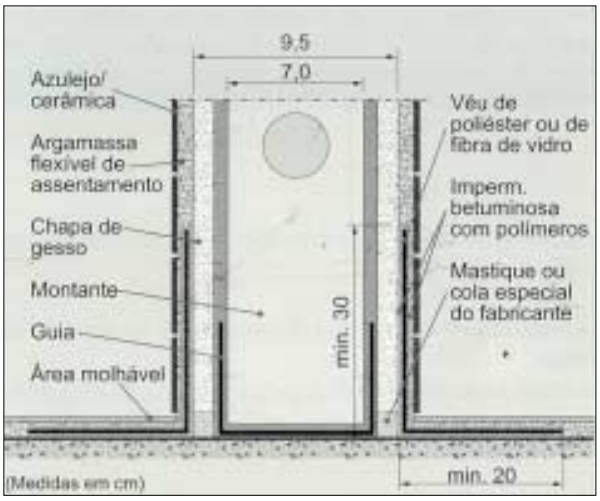


Figura 3.8 – Impermeabilização para Ambientes Molháveis.

H) – Revestimentos

Após o tratamento das juntas e dos cantos e eventual impermeabilização, as paredes podem receber o revestimento. No caso de colocação de azulejos, é recomendável assentamento com argamassas colantes especiais, mais flexíveis que as usuais e com maior poder de aderência sobre o cartão. Texturas ou tintas texturizadas podem ser aplicadas diretamente sobre o cartão.

Recomendam-se os seguintes limites para paredes prontas para receber o revestimento:

- Desvio de prumo inferior a h/600, sendo h = altura da parede;
- Irregularidades superficiais inferiores a 3mm em relação a uma régua com 2 m de comprimento;
- Irregularidades superficiais inferiores a 1 mm. em relação a uma régua com 2 cm de comprimento.

I) – Peças Suspensas

Peças suspensas podem ser fixadas nas paredes, diretamente às chapas de gesso. Os limites de carga especificados pelo fabricante devem ser seguidos rigorosamente. Deve-se também observar sempre um coeficiente de segurança igual a 3 para as carga de uso, ou seja, limitar a carga de uso, por ponto, a um terço do valor da carga limite para um determinado tipo de fixação e sistema de parede (de acordo com especificação de fabricante). Nas Figura 3.9A e B, vêm-se os tipos de acessórios usados para fixação de peças em paredes.

Reforços internos devem ser previstos, na fixação de peças mais pesadas, quando o valor da carga suplanta os valores recomendados para fixação direta nas chapas. Usam-se nestes casos placas de madeira ou perfis metálicos complementares. Tais pontos devem ser previstos, preferencialmente, em projeto, sendo o reforço executado durante a montagem da parede. Na Figura 3.10 vêm-se detalhes de fixação de peças pesadas sobre reforços.

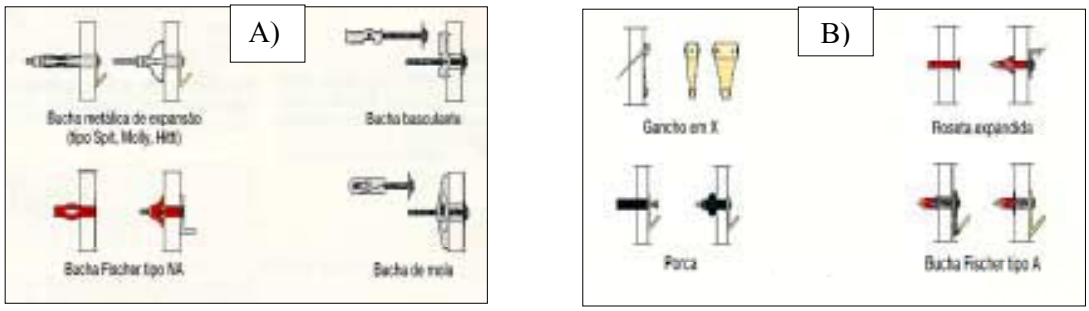


Figura 3.9.A e B – Peças para Fixação de Elementos em Paredes.

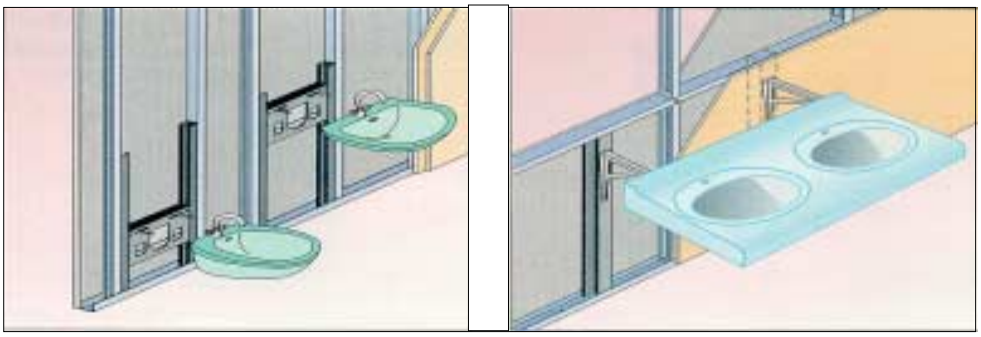


Figura 3.10 – Peças Pesadas Fixadas sobre Reforços.

3.2.1.4 - Condições e Limitações de Uso

Sob condições normais de uso, o sistema tipo "Dry Wall" basicamente, destina-se a paredes internas não estruturais de edifícios residenciais e comerciais,

Nessas condições tal sistema não deve ser empregado em locais externos, sujeitos à intempéries. Ressalta-se que sua aplicação interna, em ambientes sujeitos à umidade, deve ser feita conforme orientação técnica já referida na letra G do item 3.2.1.3.

A seguir são apresentados dados gerais obre as condições e limitações de uso do sistema:

A) – Avaliação Técnica

Os componentes destinados à montagem dos corpos de prova das foram importados da França. Na Tabela 3.3 são apresentadas algumas caraterísticas básicas das chapas de gesso utilizadas, e na Tabela 3.4 tem-se as características dos perfis utilizados.

Tabela 3.3 – Características Básicas das Chapas de Gesso (IPT, 1997).

Tipo de Chapa	Comprimento médio (mm)	Largura média (mm)	Espessura média (mm)	Rebaixo da Borda (*)		Dens. Sup. de Massa (kg/m²)
				Profundidade (mm)	Largura (mm)	
1	2999	1198	12,58	1,5	50	10,08
2	2999	1196	12,22	2,0	45	10,95
3	2999	1199	12,46	2,0	56	10,51

Obs.: (*) Entende-se por Rebaixo da Borda, a diminuição em sua espessura (Profundidade) numa pequena faixa (Largura) nas extremidades da chapa, com finalidade de facilitar um perfeito acabamento nas juntas.

Tabela 3.4 – Características dos Perfis (IPT, 1997).

Tipo do perfil	Espessura média (mm)	Altura média (mm)	Largura média das abas (mm)		Dens. linear de Massa kg/m
Montante	0,60	46,36	35,85	33,67	0,546
Montante	0,57	68,93	35,92	32,66	0,609
Guia	0,51	47,98	28,86	27,40	0,391

B) – Comportamento Sob a Ação de Esforços Mecânicos

As paredes foram submetidas a impactos de corpo mole, impactos de corpo duro e solicitações transmitidas por portas, com os seguintes critérios de desempenho:

- Critério IPT, para impactos de corpo mole, aplicando-se energias de 60J e 120J (3 impactos), para impactos de utilização, e de 180J e 240J, para impactos de segurança;
- Critérios da NB – 1313, para impactos de corpo mole, aplicando-se energia de 60J, para impactos de utilização, e de 120J (3 impactos) para impactos de segurança;
- Critério IPT, para impactos de corpo duro, aplicando-se energias de 2,5J, para impactos de utilização, e de 10J, para impactos de segurança;
- Critério IPT, para solicitações transmitidas por portas, aplicando-se 10 fechamentos bruscos da folha de porta contra o marco e um impacto da 240J na folha de porta, no sentido do fechamento da folha.

As paredes simples, com uma única camada de chapas em cada face, enquadram-se na NB-1313, como Divisórias Leves Internas Moduladas. As paredes duplas, com duas camadas de chapas em cada face, enquadram-se nos critérios de IPT, com o paredes internas.

C) – Isolamento Acústico

Foi determinado o Índice de Isolação Sonora ponderado, Rw, para cada tipo de parede representativa de cada grupo de sistema, sejam paredes simples ou duplas, com ou

sem isolante acústico.

Para paredes internas entre habitações contíguas é recomendado um Rw mínimo de 50.

D) – Resistência ao Fogo

Foi determinada a Resistência ao fogo para cada tipo de parede representativa de cada grupo de sistema, sejam paredes simples ou duplas, com chapas "Standard" (tipo 1) ou "Resistentes ao fogo" (tipo 3).

Para a especificação das paredes internas devem ser atendidos os requisitos das regulamentações estaduais e municipais, de acordo com as de segurança contra incêndio. Recomenda-se o valor mínimo de 60min de resistência ao fogo para paredes de vedação entre habitações contíguas. Na Tabela 3.5, são apresentados dados relativos à resistência ao fogo e ao isolamento acústico de tipos de paredes.

Tabela 3.5 – Resistência ao Fogo e Isolamento Acústico (IPT, 1997).

Tipo de Parede	N.º de Camadas de Placas de Gesso	Massa Superf. (kg/m²)	Altura Limite (m)		Resist. ao Fogo (min)		Rw	
			Mont. simples	Mont. duplo	Chapa Rest. Ao Fogo	Chapa Standard	LV50	SLV
D72/48/600	2	22	2,60	3,00	30	30	44	37
D98/70/600	4	42	3,00	3,60	120	60	50	44
S140/70/600	4	44	2,90	3,45	120	60	61	–

Obs.: - LV50 – camada de lã de vidro com 50 mm de espessura;

- SLV – sem lã de vidro.

E) – Ação de Calor e Umidade

Para paredes com chapas "Resistentes à Umidade" (tipo 2), foram conduzidos os seguintes tipos de ensaios:

- Comportamento sob a ação do calor e umidade (MB-3257/90); estanqueidade à água proveniente de pisos (MB-3260/90);
- Comportamento sob ação de água de chuveiro em paredes revestidas de azulejos (método IPT), obtendo-se resultados satisfatórios.

3.2.1.5 – Exemplos de Alguns Tipos de Paredes

A seguir são apresentados através de Figuras, alguns exemplos de paredes mais comumente usados pelo sistema Lafarge Gypsum:

A) – Parede D 100/75

É uma parede de 100 mm de espessura final**,** constituída pelo aparafusamento de dois painéis de gesso de 12,5 mm em perfis metálicos (montantes) "U" enrijecidos de 75 mm.

Apresenta um vazio interno de 75 mm permitindo assim a incorporação de isolantes termoacústicos e instalações elétricas e hidráulicas.

Esse tipo de parede é para as seguintes condições:

- Paredes de divisão interna de uma mesma unidade;
- Construções novas e reformas;
- Habitações unifamiliares ou multifamiliares;
- Escritórios;
- Hotéis;
- Flats;
- Hospitais.

Através da Figura 3.11, pode ser visto o esquema construtivo para a parede D100/75, e na Tabela 3.6 as suas características e performances.

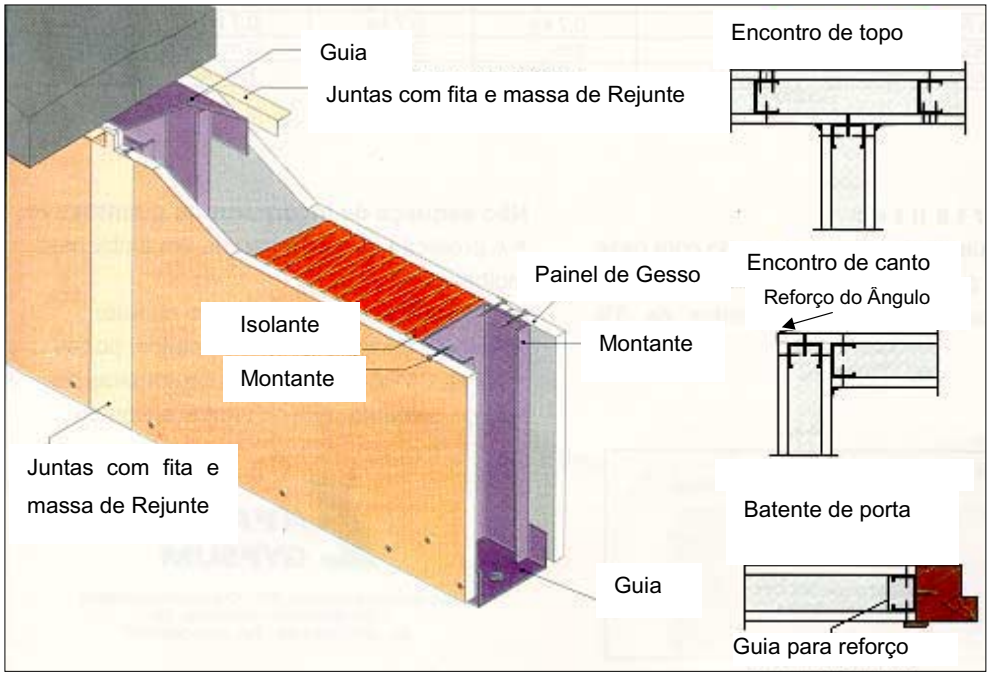


Figura 3.11 – Parede D 100/75.

Tabela 3.6 – Características e Performances da Parede D 100/75 (Lafarge Gypsum, 1998).

Parede Tipo	Distância entre Montantes (cm)	Altura limite (m/n.º de montantes)		N.º de Painéis e Tipo	Peso (kg/m²)	Resistência ao Fogo (h /tipo de painel)		Índ. de Isolamento Acústico Rem dB (A)	
		simples	duplo			Std.	Resist. ao Fogo	Sem Isolante	Com Isolante
D100/75	60	3,15	3,70	2 BR 12,5	22	1/2	1/2	39	45
	40	3,45	4,10						

B) – Parede D 113/75

É uma parede de 113 mm de espessura final, constituída por dois painéis de gesso de 12,5 mm de espessura sobrepostos no lado da circulação, e por apenas um painel no lado da unidade, aparafusados em perfis metálicos "U" enrijecidos de 75 mm.

Como a do exemplo anterior, apresenta um vazio interno de 75 mm, permitido a incorporação de isolantes termoacústicos e instalações elétricas e hidráulicas.

A parede D 113/75 é utilizada para as seguintes condições:

- Construções novas e reformas;
- Habitações unifamiliares e Multifamiliares;
- Escritórios;
- Hotéis;
- Flats;
- Hospitais.

Na Figura 3.12 está apresentado o esquema construtivo para a parede D113/75 e na Tabela 3.7 as suas características e performances.

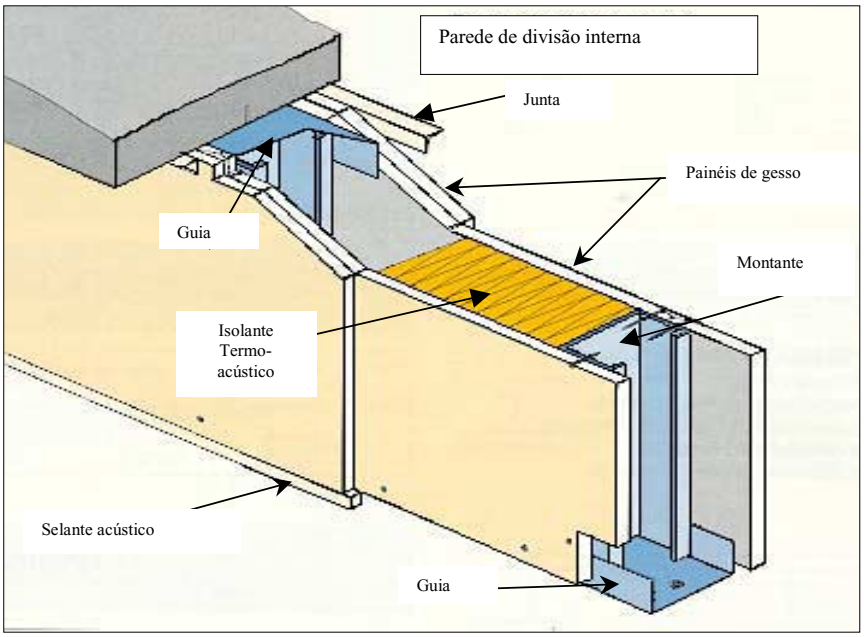


Figura 3.12 – Parede D 113/75.

Tabela 3.7 – Características e Performances da Parede D 113/75 (Lafarge Gypsum, 1998).

Parede Tipo	Distância entre Montantes (cm)	Altura limite (m/n.º de montantes)		N.º de Painéis e Tipo	Peso (kg/m²)	Resistência ao Fogo (h / tipo painel)		Índ. de Isolamento Acústico Rem dB (A)	
		simples	duplo			Std.	Resist. ao Fogo	Sem Isolante	Com Isolante
D113/75	60	3,40	4,00	3					
	40	3,75	4,40	BR 12,5	32	1/2	1	41	45

C) – Parede S120/48 ou S 160/75

São paredes de grandes performances acústicas, de 100mm ou 160 mm de espessura final, compostas de duas meias paredes independentes delimitadas por material de isolamento termo-acústico.

Cada meia parede é composta de dois painéis de gesso de 12,5mm. de espessura, sobrepostos e aparafusados em perfis metálicos "U" enrijecidos, de 48mm. ou 75mm. Apresentam como vantagem principal altíssimos índices de isolamento acústico.

Principais utilizações:

- Habitações unifamiliares e multifamiliares;
- Escritórios;
- Hotéis;
- Flats;
- Hospitais;
- Salas de espetáculos, cinemas e teatros;
- Salas de conferências;
- Escolas de música e conservatórios.

Na Figura 3.13 está apresentado o esquema construtivo para a parede S 120/40 que é o mesmo para a parede S 160/75, inclusive com detalhes de execução de encontros de cantos e de topo. Na Tabela 3.8 tem-se as suas características e performances.

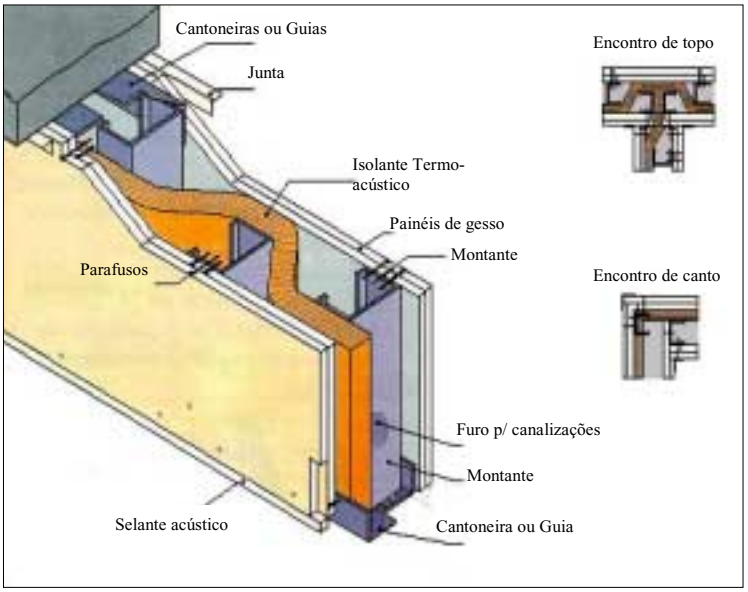


Figura 3.13 – Esquema de Paredes S120/48 ou S 120/75.

Tabela 3.8 – Performances das Parede S120/48 e S160/75 (Lafarge Gypsum, 1998).

Parede Tipo	**Distância entre Montantes (cm)**	**Altura limite (m/n.º de montantes**		**N.º de Painéis e Tipo**	**Peso (kg/m²)**	**Resistência ao Fogo (h/ tipo de painel)**		**Índice de Isolamento Acústico Rem dB (A)**	
		simples	**duplo**			**Std.**	**Resist. ao fogo**	**Sem Isolante**	**Com Isolante**
S120/48	60	-	2,60	4					60
S160/75	60	2,90	3,45	BR 12,5	42	1	2	-	61

3.3 – A IDÉIA BÁSICA DESTE TRABALHO

Conforme foi visto em tópicos anteriores, o sistema construtivo de paredes tipo "Dry Wall", com os mais diversos tipos de aplicações e desempenhos, é aplicado atualmente no Brasil, apenas em paredes internas ou divisórias.

Neste trabalho, propõe-se a aplicação deste tipo de sistema construtivo, mas levando em consideração o trabalho dos montantes, — fabricados com perfis de chapa de aço dobrada a frio — nos quais vão se apoiar os painéis de fechamento. Dessa forma, é conferido adicionalmente a eles, uma função estrutural.

Juntamente com os montantes, em pontos de maior concentração de cargas e de maiores esforços, prevê-se a utilização também de perfis tipo caixa com a mesma finalidade.

Pretende-se então portanto, utilizar esse sistema construtivo ao que chamou-se de **Sistema Construtivo I** – Dry Wall modificado – ao projeto de habitações populares em encostas proposto por Maior (1997).

De uma outra forma, também propõe-se ao projeto das habitações em questão, a utilização de uma estrutura de aço fabricada com perfis leves feitos de chapas de aço dobradas a frio, combinada com alguns tipos de fechamentos de paredes e lajes, e que foi denominado então de **Sistema Construtivo II**.

Relacionado aos perfis obtidos por processos de dobramento de chapas de aço a frio ressaltamos que *"embora possuam dimensões padronizadas, podem ser produzidos pelos fabricantes de acordo com a forma e o tamanho solicitados, guardadas as limitações dimensionais de suas linhas de processos. De modo Geral são recomendados para construções leves, sendo utilizados em elementos estruturais, como barras de treliças, terças, etc."* (Dias, 1997). Por esta citação, verifica-se atualmente o uso restrito destes tipos de perfis, e aqui se enfatiza a proposta deste trabalho, com a sua utilização mais ampla em sistemas construtivos mais elaborados como o do tipo "Dry Wall". Ressalta-se também que para este objetivo, tomou-se por base os perfis disponíveis atualmente no mercado, visando com isto a obtenção de momento, dos menores custos.

Pode-se citar como mais usuais para estes tipos de perfis, as seguintes seções transversais: "**U**" simples; "**U**" enrijecido; "**I**" simples; "**I**" enrijecido; "**Caixa**"; "**Cartola**" e "**Z**".

3.3.1 – Os Perfis Utilizados

Para o Sistema Construtivo I, os perfis de aços foram escolhidos em função basicamente da forma dos perfis utilizados no sistema tipo "Dry Wall", com as seguintes seções:

- Perfis "**U**" **enrijecido** → utilizados para **Montantes**;
- Perfis "**U**" **simples** → utilizados para **Guias** e **Contraventamentos**;
- Perfis tipo "**Caixa**" → utilizados em regiões de maiores esforços.

Nesse sistema, os perfis mais utilizados foram os "**U**" enrijecidos, que compõem os montantes. Inicialmente os perfis foram especificados com uma espessura de 1,5 mm, basicamente em função da disponibilidade do mercado.

Para o Sistema Construtivo II, foram escolhidos perfis de seção tipo "Caixa" também especificados inicialmente na espessura de 1,5 mm.

Optou-se por perfis padrão Tecnofer (1998), obtidos de acordo com tabelas dessa empresa conforme as normas editadas pela ABNT: NBR 6355 (1980) – Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio (Padronização), e NB 143 (1967) – Cálculo de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis leves.

Na Figura 3.14A, B e C, vê-se respectivamente as seções dos perfis "**U**" simples, "**U**" enrijecido e "**Caixa**" mencionados.

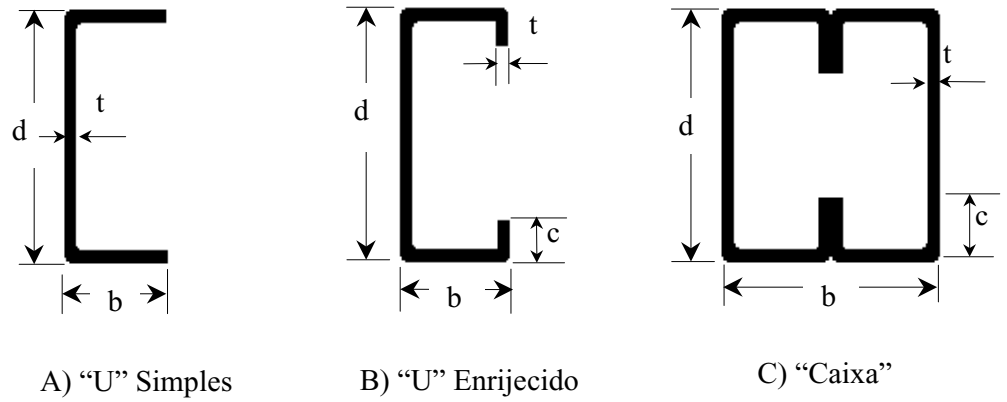


Figura 3.14A, B e C – Seção dos Perfis Escolhidos.

Para os perfis “U” simples foi usada a série constante da Tabela 3.9, para os perfis “U” enrijecido foi usada a série constante da Tabela 3.10, e para os perfis tipo “Caixa” foi usada a série constante das Tabelas 3.11 e 3.12 (Tecnofer, 1998).

Tabela 3.9 – Perfis “U” Simples.

d (mm)	**b (mm)**	**T (mm)**	**Peso (kg/m)**	**Área (cm²)**
100	50	1,50	2,30	2,94
		2,00	3,05	3,89
		2,25	3,42	4,36
		2,65	4,00	5,10
		3,00	4,51	5,74
		3,35	5,01	6,38
		3,75	5,57	7,10
		4,25	6,27	7,98
		4,75	6,95	8,85
75	40	1,50	1,77	2,26
		2,00	2,34	2,99
		2,25	2,62	3,34
		2,65	3,07	3,91
		3,00	3,45	4,39
		3,35	3,82	4,87
		3,75	4,25	5,41
		4,25	4,77	6,07
		4,75	5,27	6,72

Tabela 3.10 – Perfis “U” Enrijecido.

d (mm)	b (mm)	c (mm)	t (mm)	Peso (kg/m)	Área (cm²)
100	50	17	1,50	2,65	3,38
			2,00	3,49	4,45
			2,25	3,91	4,98
			2,65	4,55	5,80
			3,00	5,11	6,51
			3,35	5,65	7,20

Tabela 3.11 – Perfis tipo “Caixa”.

d (mm)	b (mm)	c (mm)	t (mm)	Peso (kg/m)	Área (cm²)
100	100	17	1,50	5,31	6,76
			2,00	6,99	8,90
			2,25	7,81	9,95
			2,65	9,10	11,60
			3,00	10,21	13,01
			3,35	11,30	140,39
127	100	17	1,50	5,95	7,57
			2,00	7,84	9,98
			2,25	8,77	11,17
			2,65	10,23	13,03
			3,00	11,48	14,63
			3,35	12,72	16,20

Tabela 3.12 – Perfis tipo “Caixa”.

d (mm)	b (mm)	c (mm)	t (mm)	Peso (kg/m)	Área (cm²)
150	120	20	1,50	7,10	9,04
			2,00	9,37	11,94
			2,25	10,50	13,37
			2,65	12,27	15,63
			3,00	13,79	17,57
			3,35	15,30	19,49
			3,75	16,99	21,64
			4,25	19,06	24,28
			4,75	21,09	26,87
200	150	20	2,00	11,89	15,14
			2,25	13,32	16,97
200	150	25	2,65	16,01	20,40
			3,00	18,03	22,97
			3,35	20,03	25,52
			3,75	22,29	28,39

3.3.2 - O Aço Utilizado

Para o cálculo das estruturas optou-se no caso dos perfis tipo caixa, pelo aço USI-SAC-41 da USIMINAS, que possui média resistência mecânica e alto desempenho na resistência à corrosão atmosférica. Tal aço apresenta limite de escoamento nominal da ordem de 30kN/cm², e limite de resistência à tração de 40kN/cm² a 55kN/cm² (Usiminas, 1970).

No entanto, dado atualmente à não disponibilidade deste tipo de aço no mercado em chapas de 1,5mm, optou-se para uso do aço A – 36 quando esta espessura for suficiente ou necessária.

Os perfis formados a frio, são obtidos de bobinas a quente e a frio, cuja composição química dos aços são as constantes da tabela 3.13.

Tabela 3.13 – Composição Química dos Aços Utilizados (Tecnofer, 1997).

Material	Composição Química							Propriedades Mecânicas			
	C	Si	Mn	P	Cr	Cu	S	f_y kg/mm²	f_r kg/mm²	Alongamento CP	Alongamento %
ASTM A -36	0,25	-	0,60	0,04	-	-	0,04	23,2	36,6	50mm	23
USI SAC 41	0,18	0,35	1,30	0,03	0,40	0,25	0,03	24,5	40,2	50mm	19

Vale salientar que os aços USI-SAC-41 desenvolvem uma camada de óxido compacta e aderente sobre as superfícies dos perfis com ele executado, quando submetidos a ciclos de molhagem e secagem. Esta camada tem características protetoras o que dispensa a necessidade de pintura de proteção nas estruturas.

Também podem ser trabalhados de maneira similar à dos aços carbono comuns. No caso de perfurações em peças com ele executadas, deve-se trabalhar com velocidades de rotações mais baixas que as utilizadas com este último tipo de aço. São também facilmente soldáveis pelos processos de solda a arco utilizados.

3.3.3 – As Chapas a Utilizar para Fechamentos das Paredes

Para este sistema, três tipos de chapas para os fechamentos das paredes são necessárias:

- Chapa para ambiente interior, para paredes internas;
- Chapa para ambientes úmidos, para banheiros, cozinhas e áreas de serviço;
- Chapa para paredes externas, que obviamente irão estar exposta às intempéries.

Propõe-se para os dois primeiros itens, o uso das chapas de gesso acartonado já fabricadas no Brasil. No item 3.2.2.1, letra A deste capítulo tem-se a referencia destas chapas. Para o último – ambientes externos – ainda não se tem disponível no mercado chapas aqui fabricadas. Trabalhos neste sentido estão sendo desenvolvido por empresas

brasileiras, dentre as quais podemos citar a Método Engenharia (SP) e a Lafarge Gypsum, que deverão ter resultados a curto prazo. Mas contudo, propõe-se para o caso, o uso de chapas importadas, de fabricação chilena com as seguintes características:

1) – Composição: Cimento, Sílica e Celulose;

2) – Dimensões:

Largura → 1,20m;

Altura → 2,40m;

Espessura → 10mm;

Peso →13kg/m².

3) – Características Técnicas:

Densidade → 1,20 a 1,25 kg/dm³;

Coeficiente de dilatação térmica → $\alpha = 1,2 \times 10^{-5}$ mm/ ^{o}C;

Resistência à flexão → 160 kg/cm²;

Módulo de elasticidade → Aprox. 250.000 kg/cm²;

Coeficiente de condutividade térmica → $\lambda = 0,215$ Kcal/mh ^{o}0C.

Obs.: vale ressaltar aqui que estas chapas se encontram no mercado ao preço de R$18,00/m².

Para fixação e montagem de todas as chapas, devem ser observados os procedimentos já referidos no Capítulo 3 item 3.2.1.3.

3.3.4 – Ligações e Sistema de Estabilidade

Na utilização do Sistema Construtivo I, devido a facilidade de execução, optou-se por ligações rotuladas, e a estabilidade é conferida por contraventamentos tanto na direção longitudinal quanto na transversal.

No sistema construtivo II (a ser detalhado no capítulo 5) já referido no item 3.2.2, adotou-se pórticos rígidos no sentido transversal e contraventamentos no sentido longitudinal.

Em ambos os sistemas, a estabilidade horizontal é conferida num primeiro caso, pela utilização de lajes de concreto maciças moldadas “in loco”. Usando-se lajes em painéis de concreto celular autoclavado, o que é ideal em se tratando de construção industrializada,

esta estabilidade então é conferida por contraventamentos horizontais estabelecidos de modo adequado.

3.4 – O MODELO CONSTRUTIVO

Nesta seção, são apresentados os modelos construtivos aos quais serão aplicados os sistemas construtivos citados anteriormente, de acordo com os modelos arquitetônicos sugeridos por Maior (1997) em sua dissertação de mestrado.

3.4.1 – As Unidades Habitacionais

As unidades habitacionais são caracterizadas por dois tipos de construções escalonadas em três andares, conforme ilustrado na Figura 3.15 A e B.

Estas unidades então, compostas por três módulos de habitação cada uma, foram denominadas de modelos **M4** (ver Figura 3.15A) e **M6** (ver Figura 3.15B).

O modelo **M4** tem como elemento básico de construção um módulo habitacional de dimensões 6m x 6m, tendo então uma área total de construção de 108 m². O modelo **M6** tendo um módulo de dimensões básicas de 9m x 6m, possui uma área total de construção de 162 m².

Observação: Na aplicação do Sistema Construtivo II, por uma questão unicamente de nomenclatura, os modelos foram denominados de **M4A** e **M6A** mantendo-se as mesmas dimensões e características.

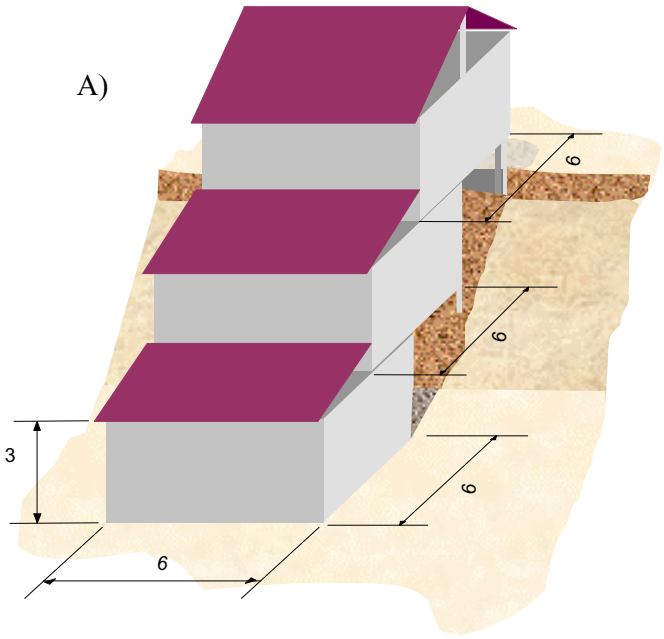


Figura 3.15A – Modelo M4/M4A.

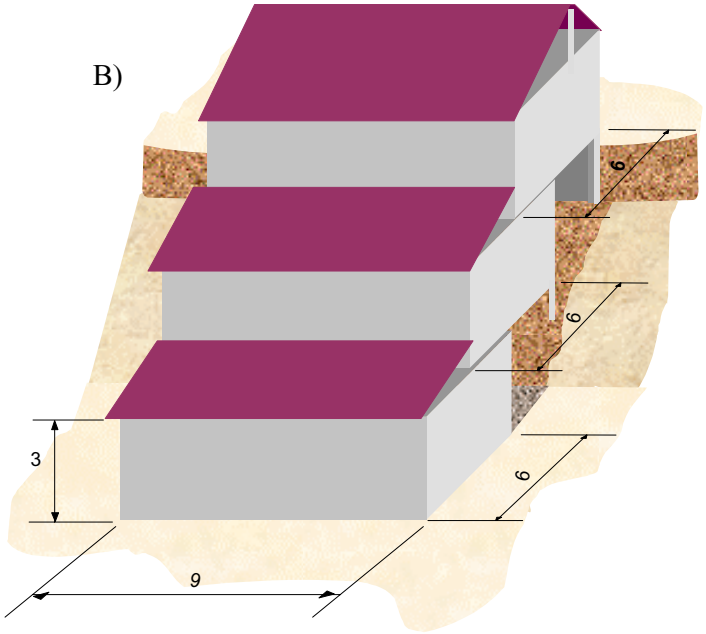
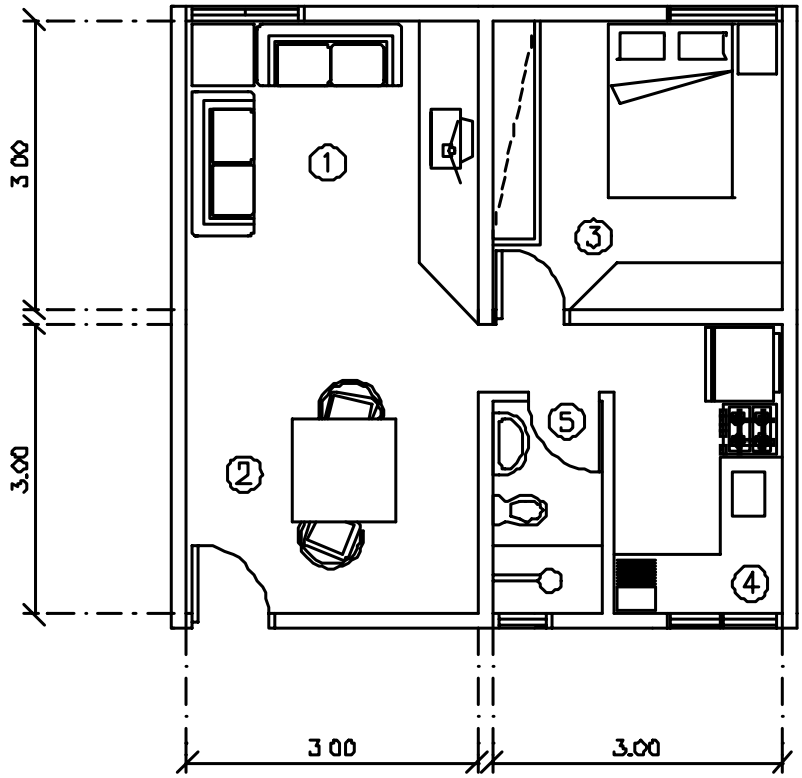


Figura 3.15B Modelo M6/M6A.

Figura 3.15A e B – Esquema das Construções Escalonadas.

As plantas baixas dos módulos habitacionais que compõem os dois tipos de modelos se encontram nas Figuras 3.16 (modelo M4/M4A) e 3.17 (modelo M6/M6A).



1) – Sala de Estar;

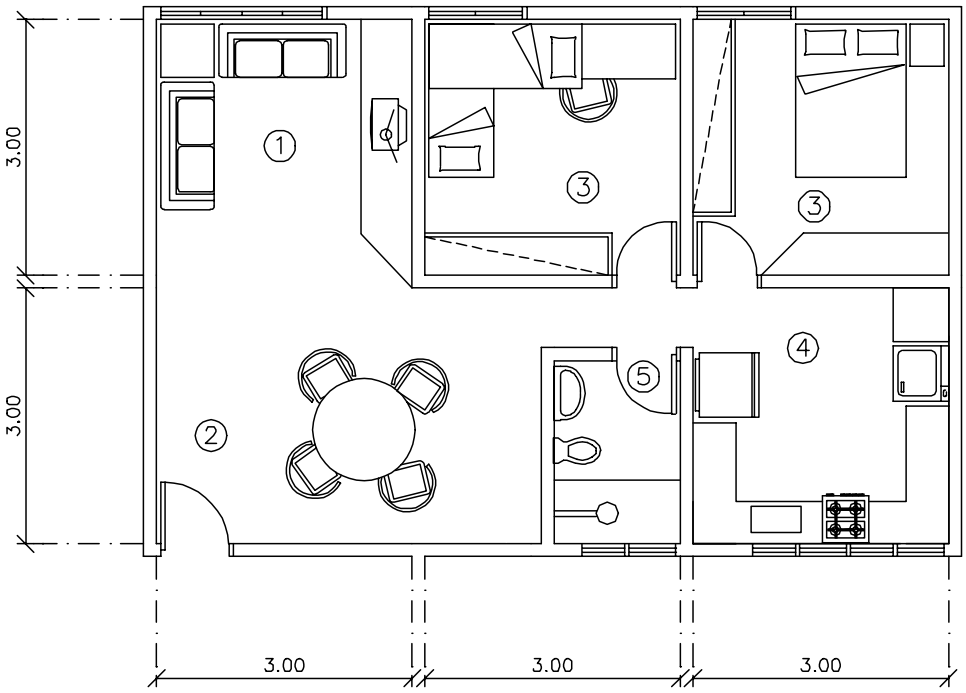
2) – Sala de Jantar;

3) – Quarto;

4) – Cozinha / Área de serviço;

5) – Banheiro.

Figura 3.16 – Planta Baixa dos Modelos M4/M4A
Medidas em metros.



6) – Sala de Estar;

7) – Sala de Jantar;

8) – Quarto;

9) – Cozinha / Área de serviço;

10) – Banheiro.

Figura 3.17 – Planta Baixa dos Modelos M6/M6A
Medidas em metros.

3.4.2 – A Implantação

A implantação proposta por Maior (1997) é mostrada na Figura 3.18, onde se vê o sistema construtivo adaptado ao terreno em três níveis: térreo, primeiro e segundo pavimentos. Para maiores esclarecimento, nas Figuras 3.19A e B pode-se ver em corte a disposição das unidades habitacionais ao longo da encosta. Para este caso no entanto, propõe-se o número de 12 unidades do modelo M4 e 15 do modelo M6, num total de 3.726m² de área construída.

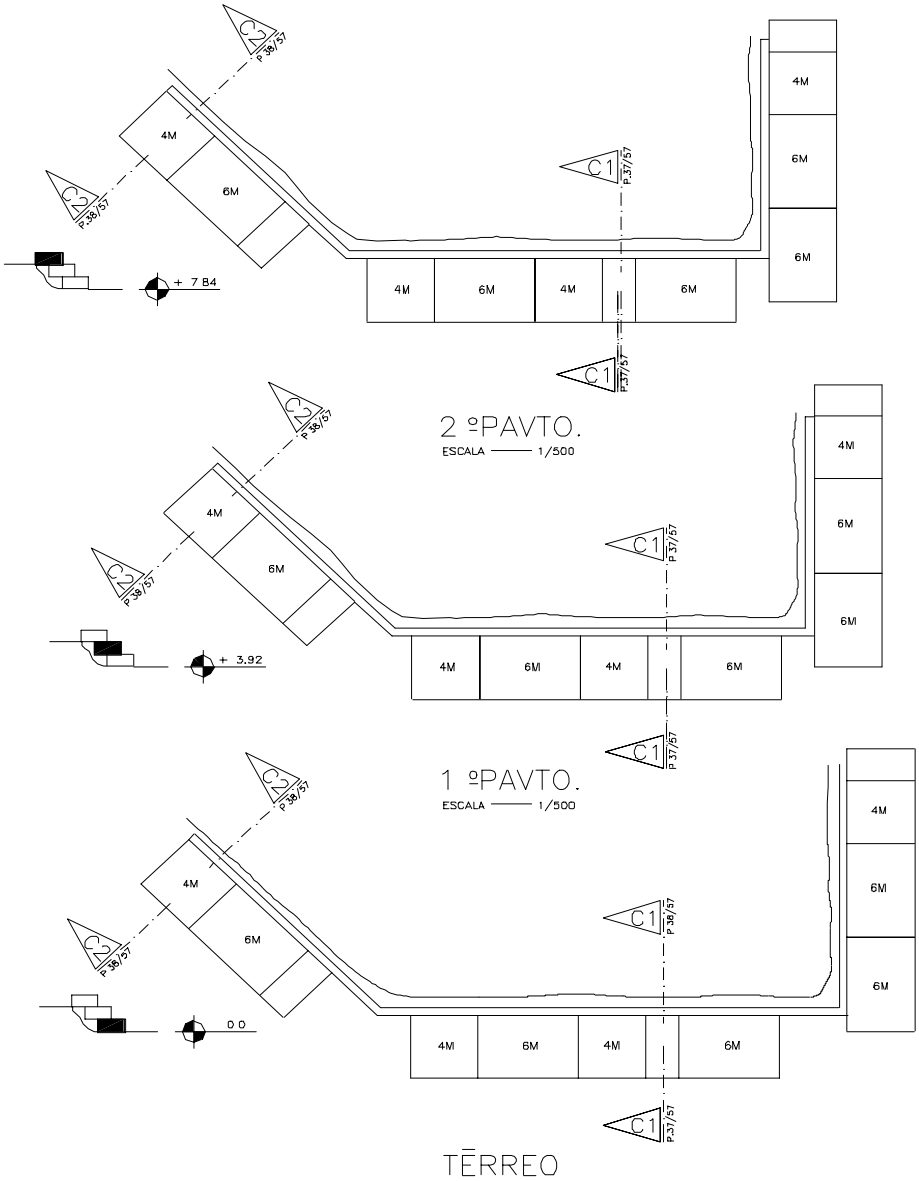
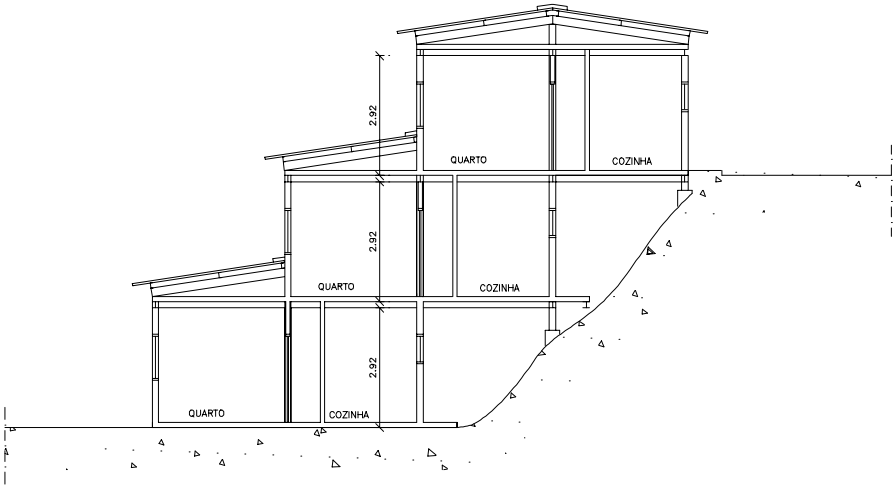
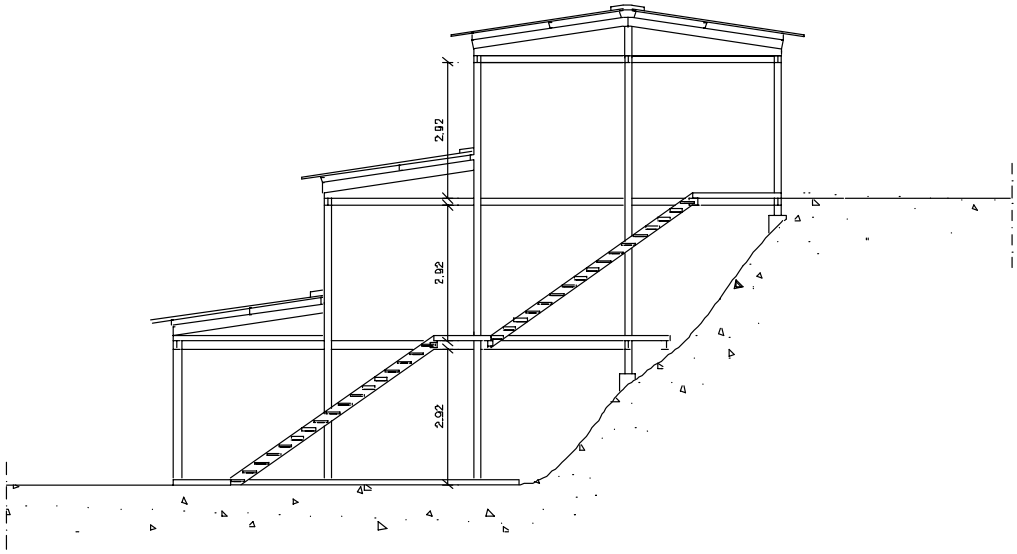


Figura 3.18 – Planta da Implantação.



A) Corte C1.



B) Corte C2.

Figura 3.19A e B – Cortes C1 e C2; Medidas em metros.

Capítulo 4

MODELO ESTRUTURAL:
SISTEMA CONSTRUTIVO I

4.1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão abordados os modelos estruturais propostos para o sistema construtivo apresentado no Capítulo 3 — Sistema Construtivo I — aos dois tipos de habitações objeto do item 3.3 do capítulo 3.

Num primeiro tópico, item 4.2 – Construção do Modelo Estrutural – será abordado a construção do modelo estrutural proposto para cada caso. As características gerais do software, bem como as características dos elementos da estrutura e tipos de ligações dos nós são também apresentados neste item.

No item 4.3 – Cargas Atuantes – serão feitas considerações sobre o carregamento atuante, incluindo as diversas combinações possíveis de carga.

No item 4.4 – Resultados encontrados – serão comentados detalhes sobre a execução dos modelos. Serão apresentadas também Tabelas de envoltórias de algumas barras escolhidas para exemplo, pelo efeito de determinada combinação de cargas, e a apresentação de tabela com a relação peso da estrutura por metro quadrado de área construída.

4.2 – CONSTRUÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

Para a execução dos modelos estruturais, foi utilizado o software "Cypecad 3D" (Multiplus, 1998) módulo para estruturas metálicas. A seguir, serão feitas algumas considerações sobre o software utilizado.

4.2.1 – Características do Software Utilizado

Sobre o "Cypecad 3D" módulo de estruturas metálicas, é importante mencionar as seguinte informações:

- É um software para análise, verificação, dimensionamento e otimização de pórticos, treliças planas ou espaciais, grelhas, arcos treliçados, cúpulas, torres e pontes rolantes;
- Utiliza tensões admissíveis, estados limites últimos e de utilização, com as normas NBR 8800 (1986), AISC (1986) e AISI (1991), – Tensões Admissíveis. No cálculo faz a verificação e otimização automática dos perfis, e ainda escolhe o perfil ótimo para cada barra;
- As barras da estrutura projetada podem ser genéricas. Além de perfis laminados, soldados ou de chapa dobrada, o usuário pode definir seus próprios perfis.
- É possível a utilização de qualquer tipo de material – aço ou alumínio – e ainda qualquer tipo de perfil. Cria-se a biblioteca necessária para tal;
- Os carregamentos podem ser aplicados nas barras ou nós. Podem ser pontuais, lineares, parciais, triangulares, momento concentrado e temperatura
- Permite a utilização de qualquer tipo de ligação (nó) e vinculação. A ligação pode ser articulada, rígida, semi-rígida, com mola, "constraint" (deslocamentos impedidos), apoio elástico e deslocamentos impostos;
- A estrutura deformada, os esforços, as flechas, as tensões e envoltórias podem ser visualizados numérica ou graficamente. Permite análise de cálculo para esforços em um ponto, esforços máximos, envoltória, envoltória em um ponto, envoltória máxima, reações, deslocamentos, placas de amarração, sapatas;
- Dimensiona e dá a armação de sapatas em concreto armado e placa de base para vários perfis;

- Pode ainda executar desenhos em 3D, 2D com saída em impressora, arquivo DXF ou Metafile;

4.2.2 – O Modelo Estrutural

Para o estudo das estruturas dos modelos construtivos – **M4** e **M6** – aplicando-se o Sistema Construtivo I – foram projetados 02 modelos.

A constituição básica das estruturas tem a forma da representação isométrica apresentada nas Figuras 4.1 (modelo M4) e 4.4 (modelo M6).

São formadas por perfis metálicos de seção "Caixa" que compõem as colunas e vigas principais do sistema. Sobre estas vigas são apoiadas as lajes. Sobre as lajes, e na parte inferior das vigas que sustentam as lajes do piso superior, nos locais previstos para as paredes, são fixadas as guias.

As guias são perfis de aço de seção "U" simples onde se encaixam os montantes, que por sua vez são perfis também de aço com seção "U" enrijecido (ver na Figura 3.14A, B, e C do Capítulo 3, item 3.2.2.1, as seções dos perfis utilizados).

Os montantes além de serem peças para fixação dos painéis de fechamento das paredes, irão também trabalhar como pilaretes recebendo parte das cargas provenientes do conjunto da construção.

A estrutura do modelo M4 possui 654 barras e 366 nós, e a estrutura do modelo M6 possui 912 barras e 508 nós.

Ao se utilizar lajes de painéis de concreto celular autoclavado, quando então torna-se necessário o uso de contraventamento horizontal para assegurar estabilidade ao sistema, terão então os modelos M4 e M6 respectivamente 716 barras e 386 nós, e 948 barras e 517 nós.

Também na Figura 4.1 além do aspecto geral da estrutura do modelo M4, tem-se a posição das vistas (zx), (zx1), (zx2), (zx3) e (zx4) no sentido transversal, e das vistas (zy), (zy1) e (zy2) no sentido longitudinal que podem ser observadas com detalhes no Anexo A. A título de exemplo, na Figura 4.2A, B e C, estão apresentadas as vistas zx, zx1 e zx2, e na Figura 4.3, a vista zy.

No modelo M6 da Figura 4.4 destacam-se as vistas (zx), (zx1), (zx2), (zx3) e (zx4) no sentido transversal, e das vistas (zy), (zy1), (zy2) e (zy3) no sentido longitudinal, que

podem ser observadas com detalhes no Anexo B. Analogamente a título de exemplo, nas Figuras 4.5A, B, e C, podem ser observadas as vistas (zx), (zx1) e (zx2), na Figura 4.6 a vista (zy1).

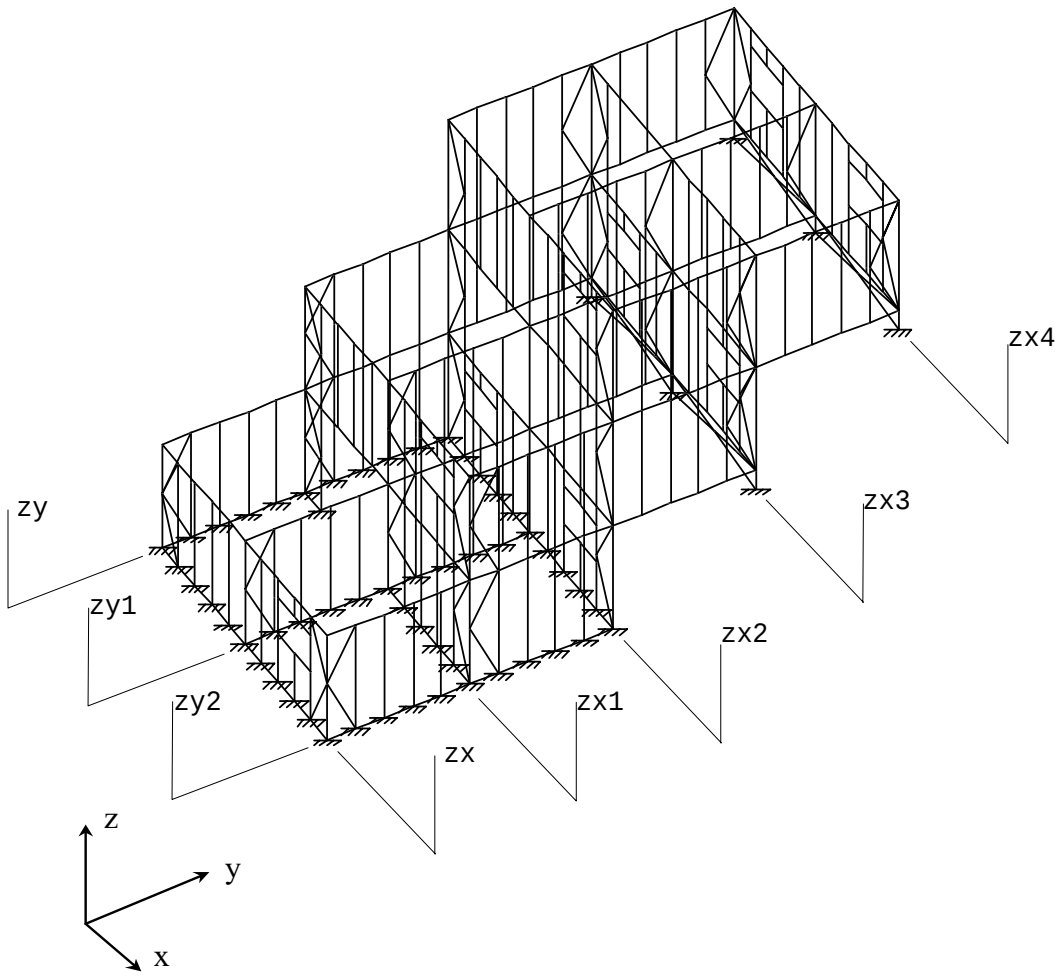
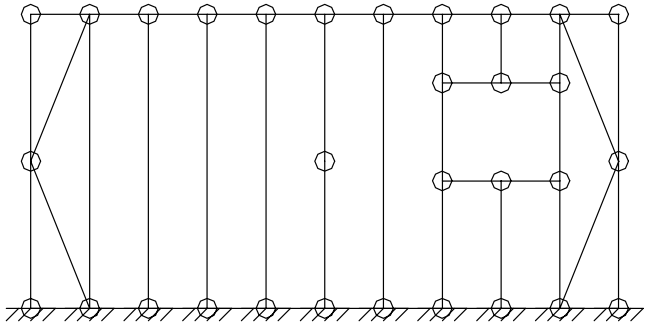
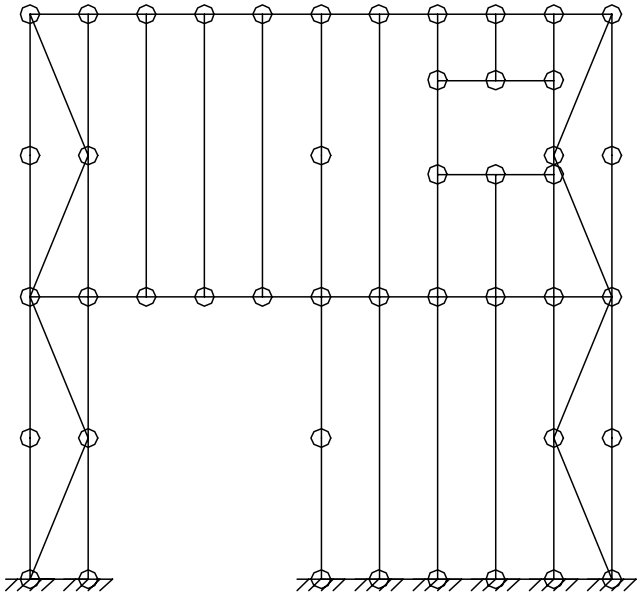


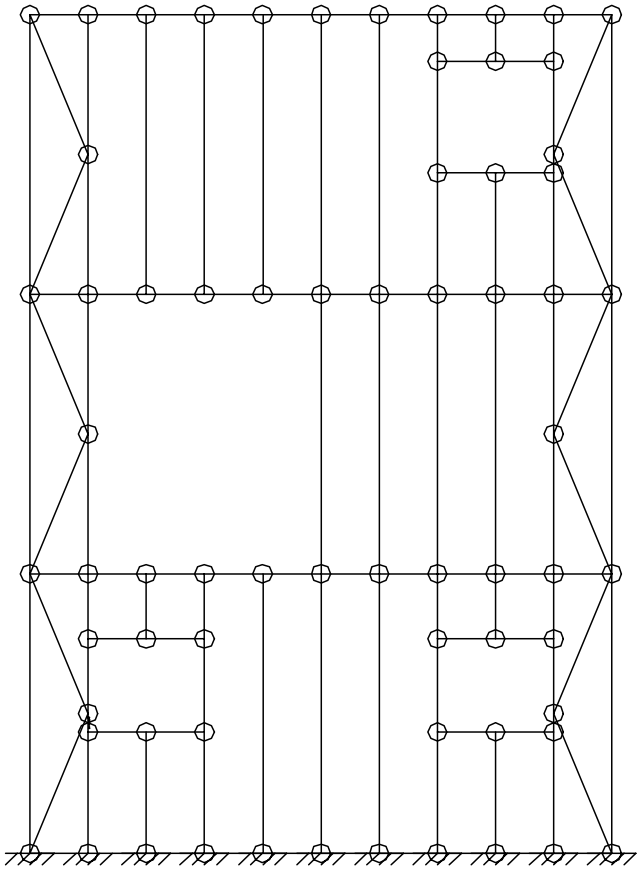
Figura 4.1 – Esquema da Estrutura do Modelo M4 (Vista Isométrica) com a Localização das Vistas de Detalhes.



A – Vista zx.

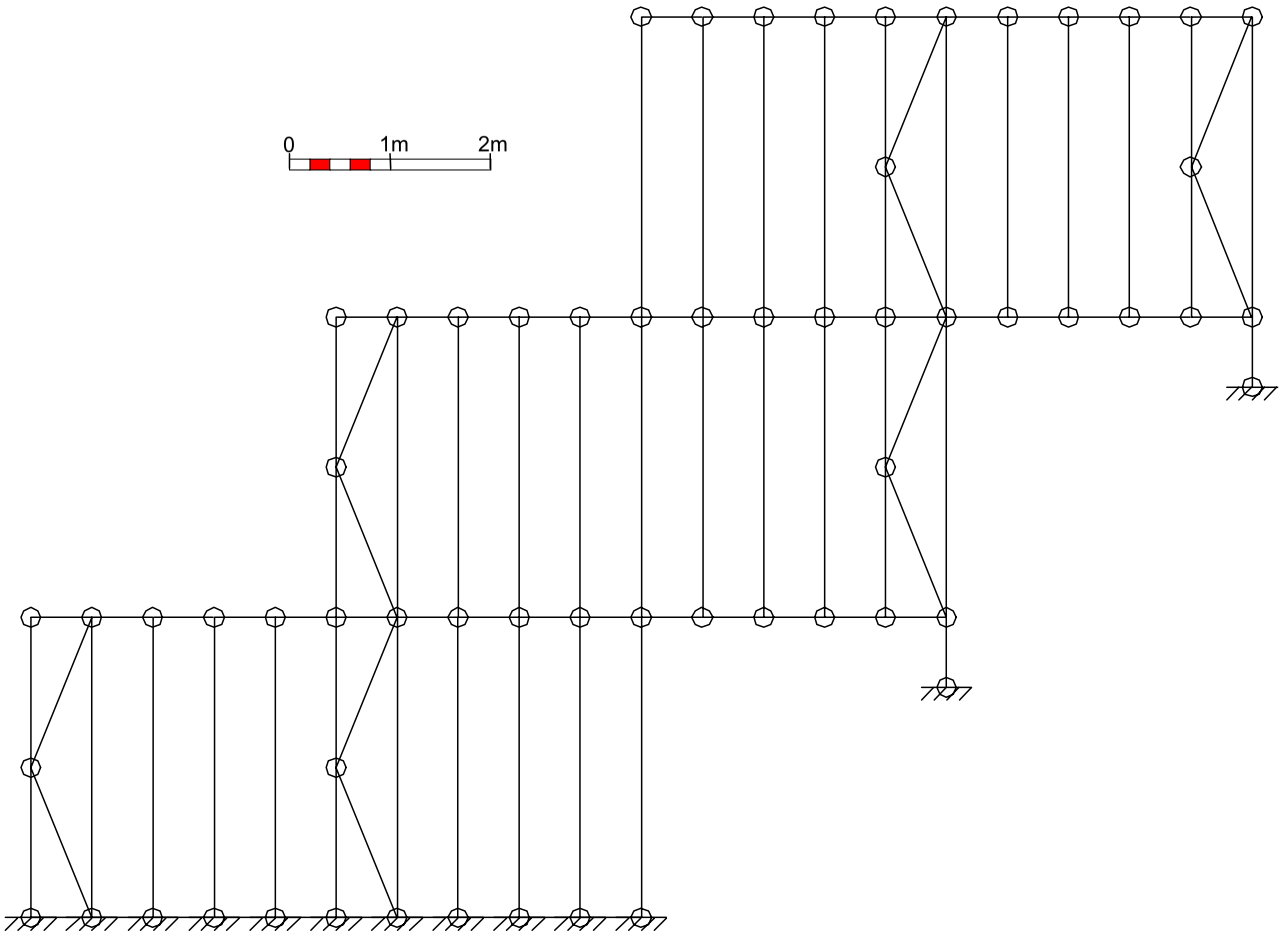


B – Vista zx1.



C – Vista zx2.

Figura 4.2.A, B e C – Vistas do Modelo M4.



Vista zy1

Figura 4.3 – Vista do Modelo M4.

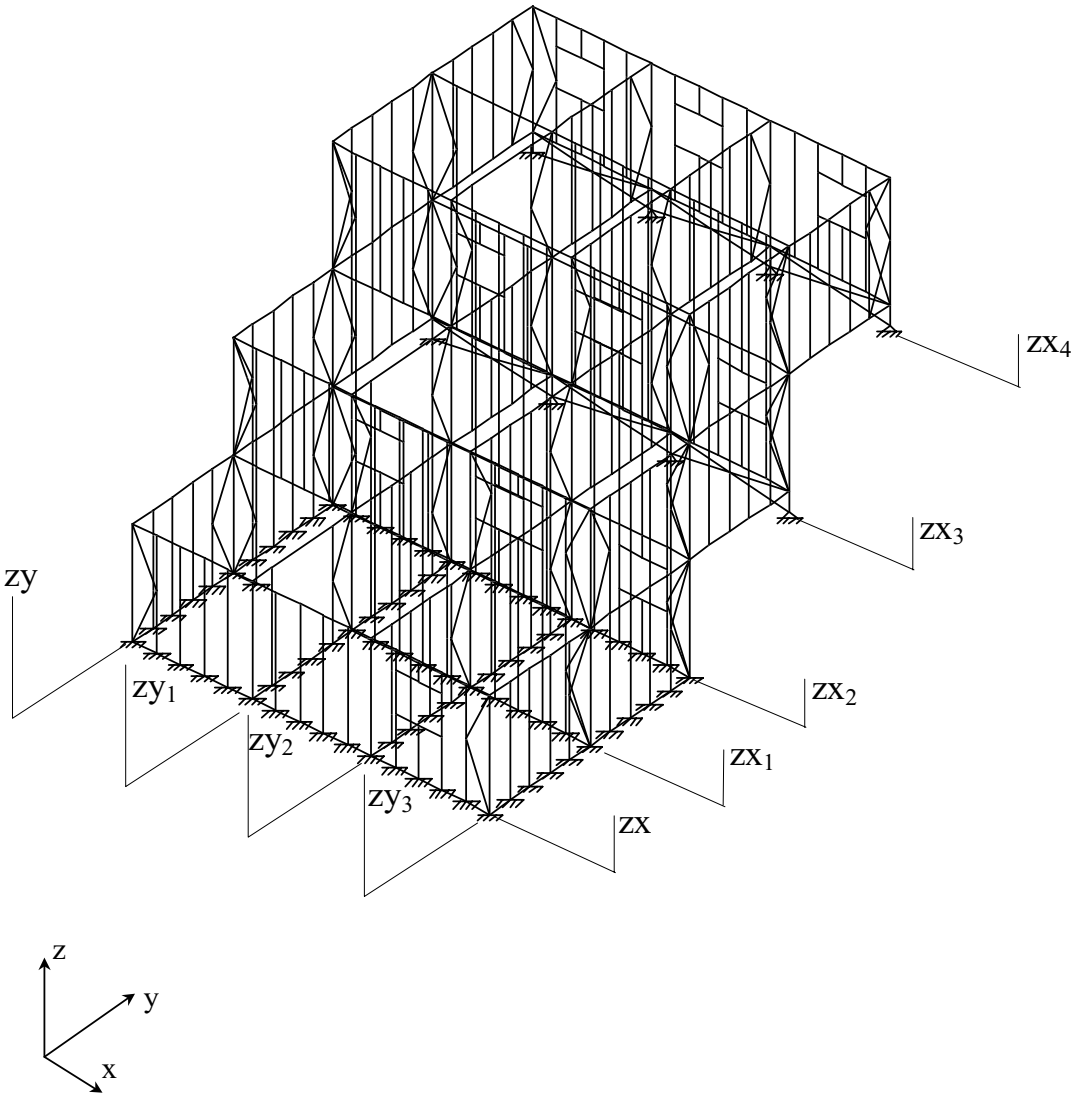
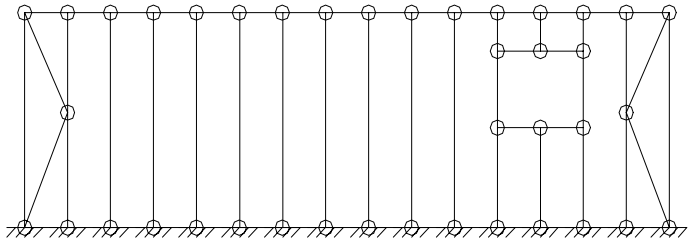
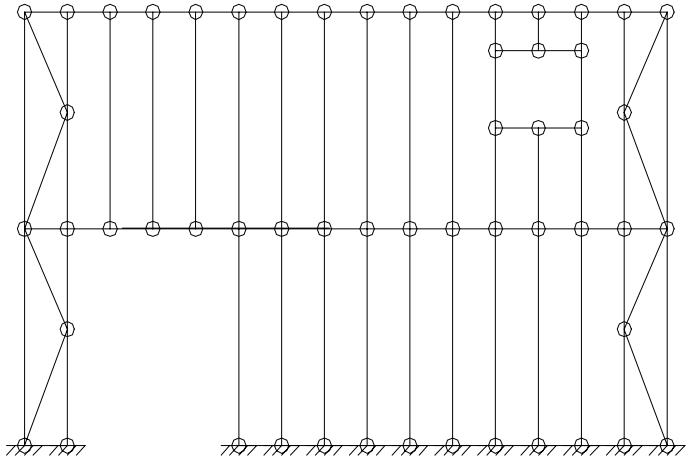


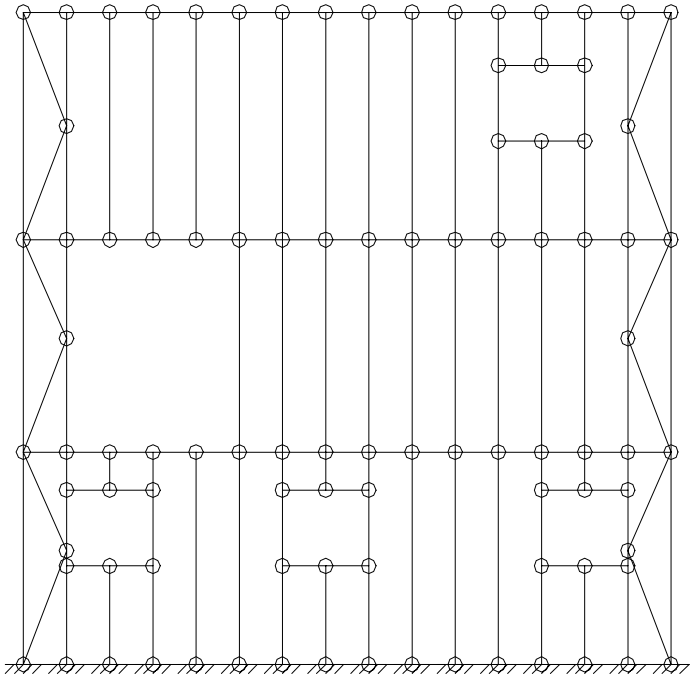
Figura 4.4 – Esquema da Estrutura do Modelo M6 (Vista Isométrica) com a Localização das Vistas de Detalhes.



A – Vista zx.

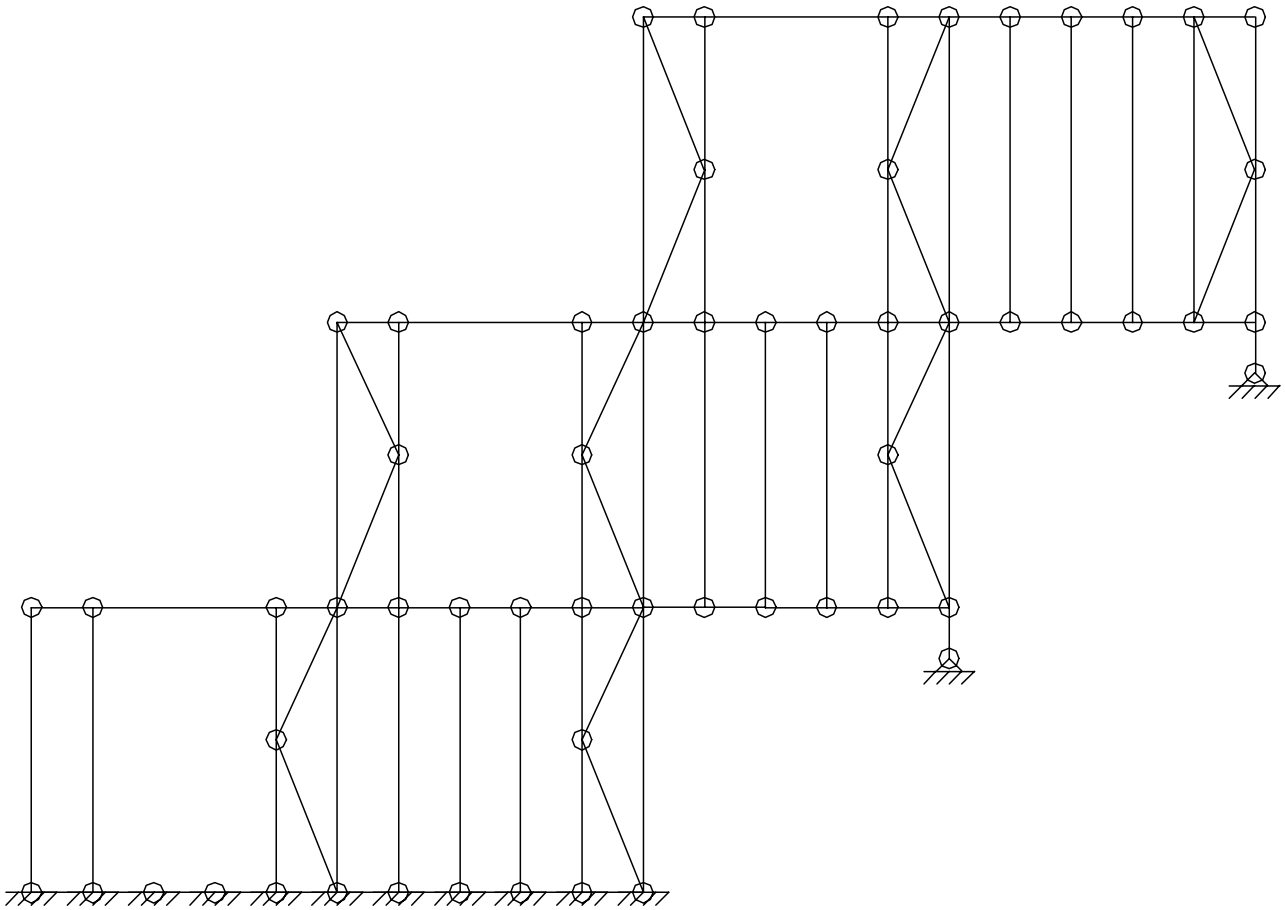


B – Vista zx1.



C – Vista zx2.

Figura 4.5.A, B e C – Vistas do Modelo M6.



Vista zy1

Figura 4.6 – Vista do Modelo M6.

Com a finalidade de melhor se ilustrar o sistema, a seguir é apresentada uma seqüência de figuras onde em perspectiva são mostrados detalhes construtivos de seus componentes.

Assim, na Figura 4.7, vê-se parte da estrutura principal do modelo M4 formada por perfis tipo “Caixa”, onde é indicado pela seta um ponto de vista de uma unidade habitacional.

Na Figura 4.8 tem-se a visão da estrutura principal de um dos cômodos, segundo o ponto de vista indicado, onde são destacadas as lajes, os pilares e as vigas do piso superior. Finalmente, na Figura 4.9 é visto o esquema da estrutura completa. Nele podem ser vistos os montantes e as guias que no caso, estão integrados à estrutura da unidade. Sobre estes montantes são então parafusados os painéis de fechamento das paredes, que são de gesso acartonado no caso das paredes internas, ou especiais no caso das paredes externas.

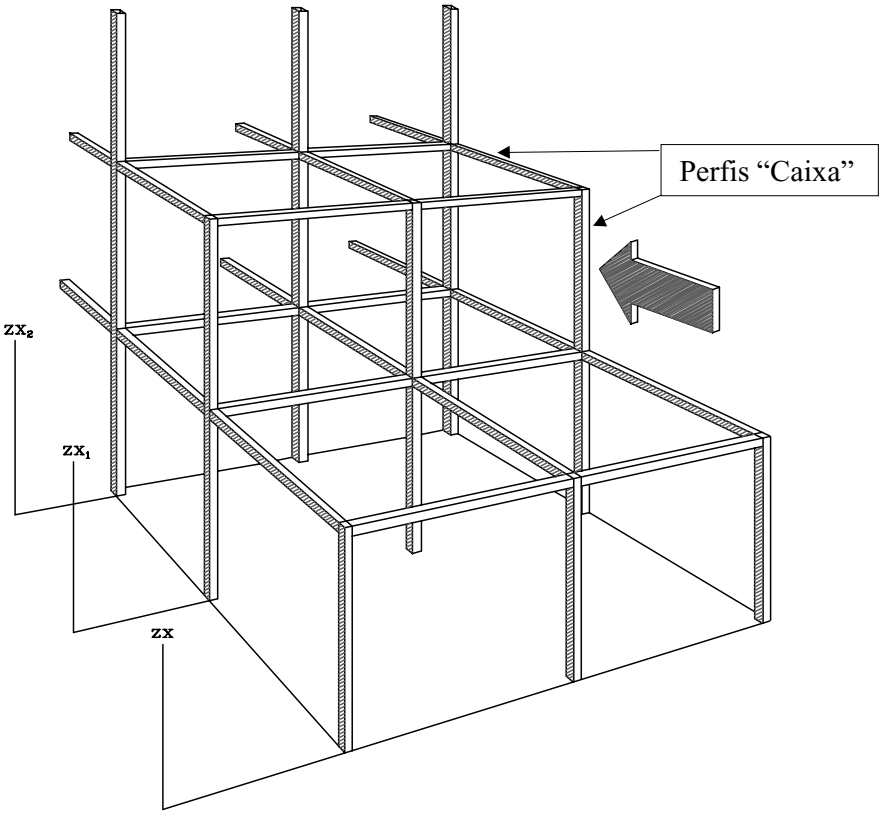


Figura 4.7 – Vista Parcial da Estrutura do Modelo M4 com Destaque para um dos Cômodos Indicado pela Seta.

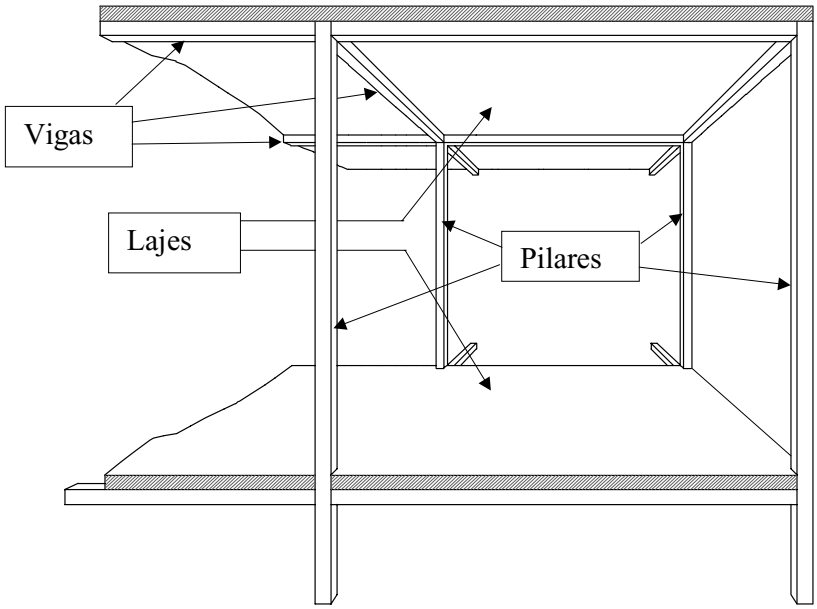


Figura 4.8 – Vista da Estrutura com as Lajes

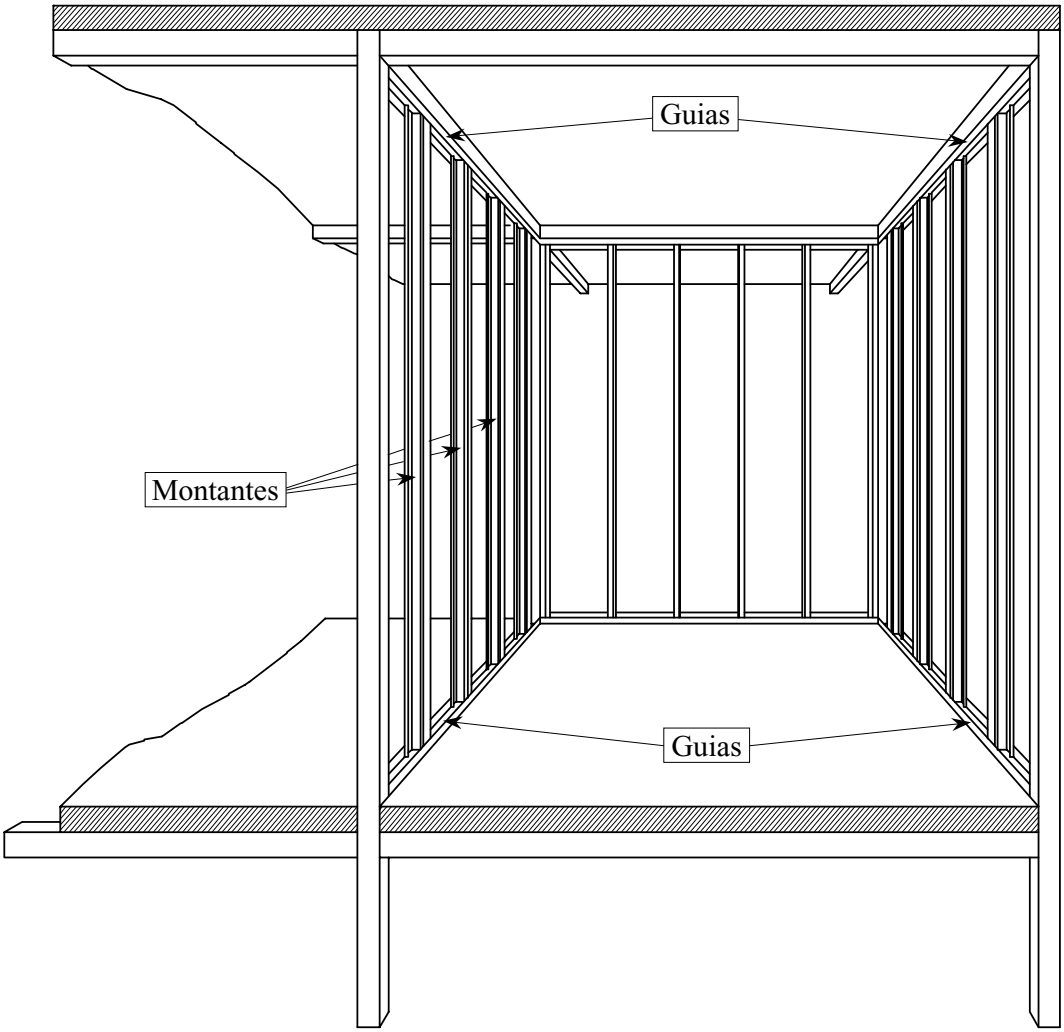


Figura 4.9 – Vista da Estrutura Completa com Detalhes das Guias e Montantes.

4.3 – CARGAS ATUANTES

Para o cálculo de sistemas estruturais metálicos em geral, deve-se determinar inicialmente as cargas atuantes e as possíveis combinações destas. Foram consideradas atuando na estrutura dos modelos estudados as seguintes cargas:

- Peso próprio;
- Cargas permanentes das lajes;
- Cargas acidentais sobre as lajes;
- Peso próprio da cobertura;
- Carga acidental na cobertura;
- Peso próprio dos fechamentos (paredes);
- Ação do vento (nas coberturas e fechamentos).

4.3.1 – Peso Próprio

Nas estruturas, os pesos próprios são determinados com base no volume e densidade dos materiais. No programa computacional utilizado para o cálculo, isso é feito automaticamente, ou seja, é uma operação que é executada após a modelagem da estrutura no computador, utilizando-se do comando "GERA PESO PRÓPRIO".

4.3.2 –Cargas Permanentes das Lajes

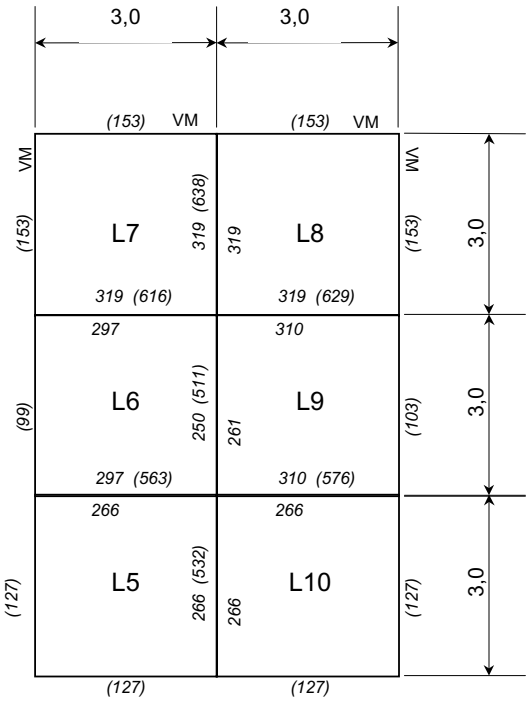
Serão apresentados dois tipos de soluções para execução das lajes, quais sejam, uma solução tradicional em que se adota lajes de concreto armado moldado "in locu", e uma segunda opção em que se propõe o uso de lajes em painéis de concreto celular autoclavado. O cálculo das reações das lajes bem como os esquemas de distribuição das reações são apresentadas a seguir nesta ordem.

4.3.2.1 - Lajes de Concreto Armado Moldado "In locu"

Para o cálculo das reações devidas às cargas permanentes das lajes, que é uma carga uniformemente distribuída sobre as paredes (para o caso de paredes estruturais tipo "Dry Wall") ou sobre as vigas metálicas (para o caso da estrutura em chapa dobrada), foi utilizado o programa "MUDADOS". Usando-se lajes executadas em concreto armado moldado "in locu", foi considerado:

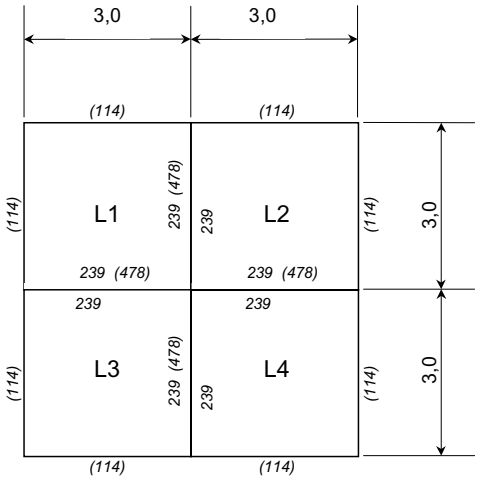
- Concreto com f_{ck} = 1,5 kN/cm², sendo a tensão de cálculo $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$, onde
- γ_c = 1,4 pela NBR 6118 (NB1, 1978);
- Aço CA-50 B com f_{yk} = 50 kN/cm², sendo a tensão de cálculo $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$, onde
- γ_s = 1,15 pela NBR 6118 (NB11978);
- Espessuras das lajes – d = 8cm para lajes de piso, e
- d = 7cm para lajes de forro;
- Carga Permanente → C.P. = 300 kgf/m² (3,0 kN/m²) em lajes com revestimento de piso e forro; C.P. = 250 kgf/m² (2,5 kN/cm²) em lajes de piso com revestimento em apenas um dos lados; C.P. = 225 kgf/m² (2,25 kN/cm²) em lajes de forro com revestimento em apenas um dos lados.

Nas Figuras 4.10 e 4.11 tem-se, respectivamente, o esquema das reações das lajes de piso e cobertura para os modelos M4 e M4A, e nas Figuras 4.12 e 4.13 são mostradas, respectivamente, o esquema das reações das lajes de piso e cobertura para os modelos M6 e M6A.



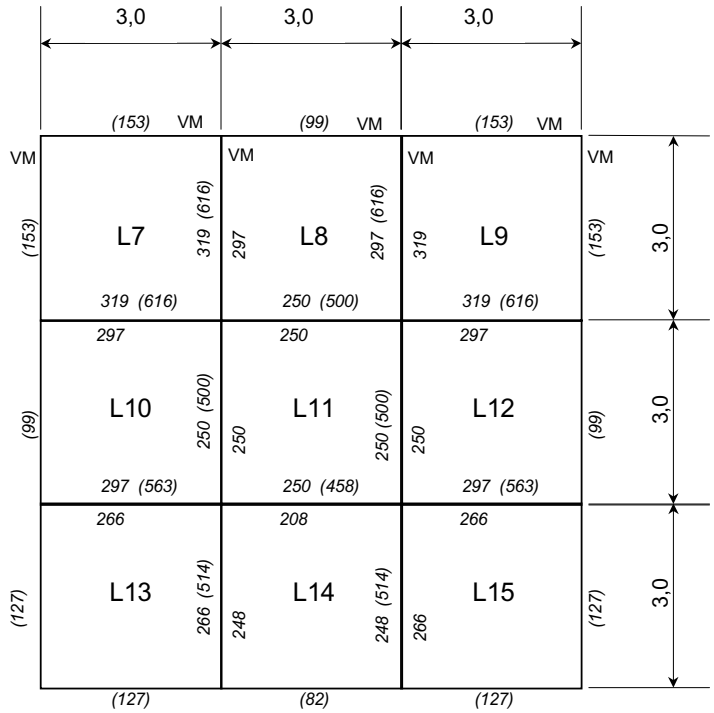
Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.10 – Reações das Lajes de Piso do 1º e 2º Pavimento, (M4 e M4A).



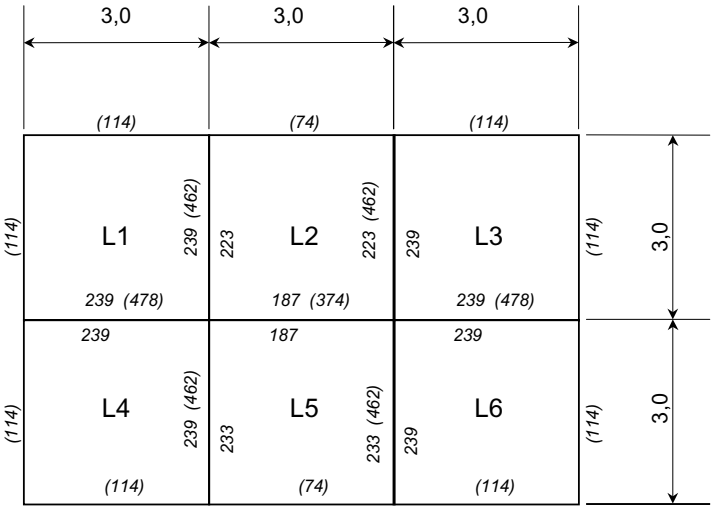
Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.11 – Reação das Lajes de Cobertura, (M4 e M4A).



Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.12 – Reação das Lajes de Piso do 1º e 2º Pavimento, (M6 e M6A).



Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.13 – Reação das Lajes de Cobertura, (M6 e M6A).

4.3.2.2 –Lajes de Painéis de Concreto Celular Autoclavado

Na Figura 4.14 é mostrado um esquema de um painel de laje de concreto celular autoclavado SICAL montado longitudinalmente sobre os apoios, com uma carga linear "Q" aplicada (SICAL, 1998). Na Tabela 4.1 são apresentadas as sobrecargas admissíveis do painel em função de sua espessura.

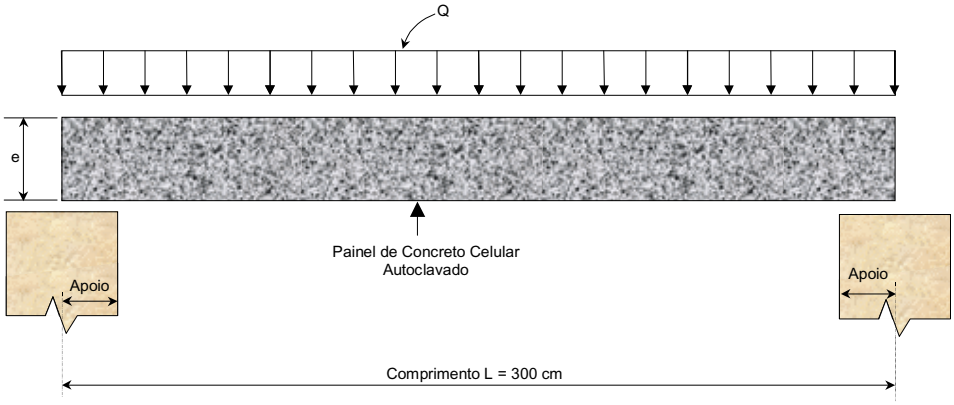


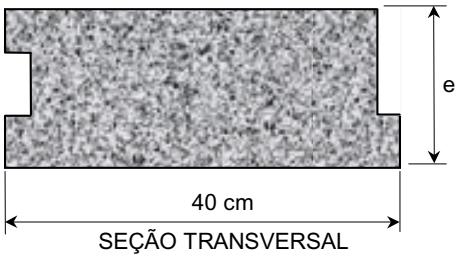
Figura 4.14 – Esquema do Painel de Laje de Concreto Celular.

Tabela 4.1 Painéis Laje SICAL (SICAL, 1998).

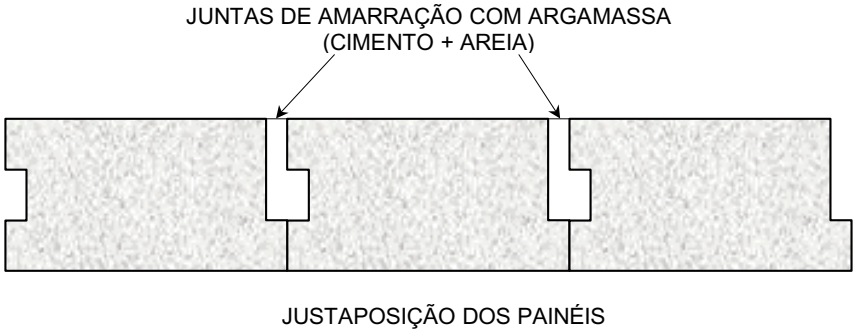
B Largura (cm)	L (cm)	E Espessura (cm)	Peso Próprio (kg/m²)	Q Sobrecarga (kg/m²)
40	300	10,0	75	140
40	300	12,5	94	290
40	300	15,0	113	490

Obs.: Densidade aparente: 750kg/m³

Na Figura 4.15A e B são mostradas características gerais dos painéis. Na Figura 4.15A vê-se a sua seção transversal e na Figura 4.15B vê-se um esquema que mostra a justaposição dos painéis, com destaque das juntas de amarração preenchidas com argamassa de cimento e areia.



A) – Seção Transversal do Painel.



B) – Justaposição dos Painéis.

Figura 4.15A e B.

Na Figura 4.16 é mostrado um detalhe isométrico dos painéis de laje justapostos e também as juntas de amarração dos mesmos.

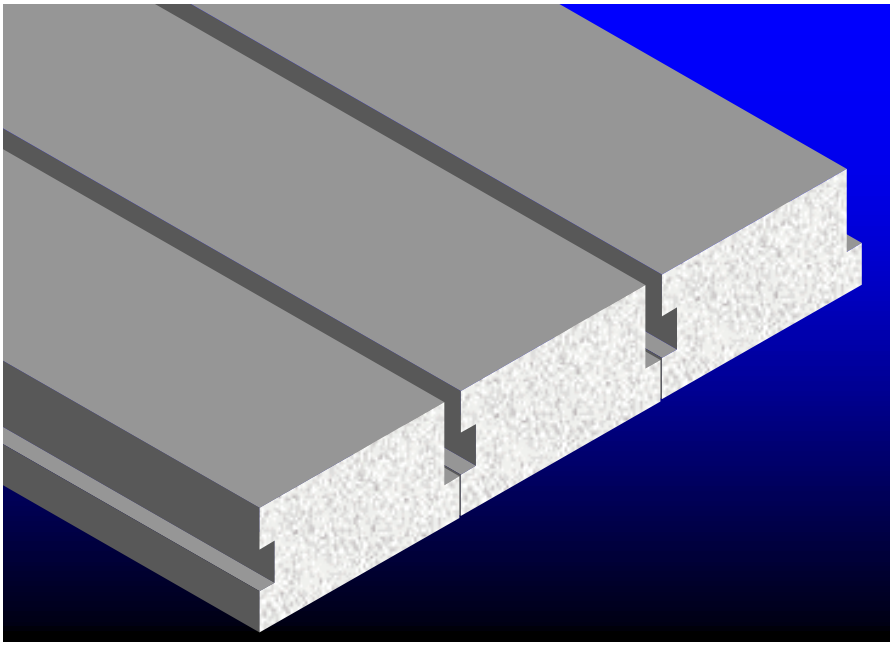
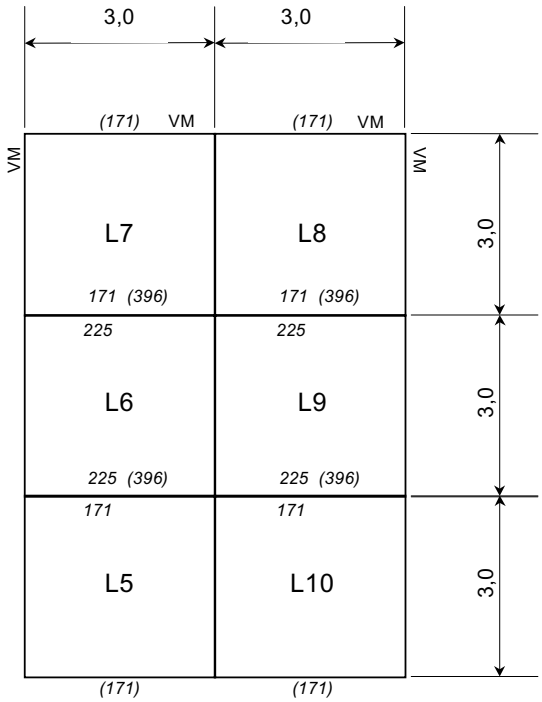


Figura 4.16 – Detalhe Isométrico dos Painéis e Juntas de Amarração.

Optou-se neste trabalho pela utilização do painel de 10 cm de espessura, que suporta uma sobrecarga de 140 kg/m². Dessa forma tem-se para peso próprio do painel 300x40x10 (incluindo a argamassa de rejuntamento) o valor de 93,00 kgf/painel ao qual deve-se acrescentar o peso dos revestimentos.

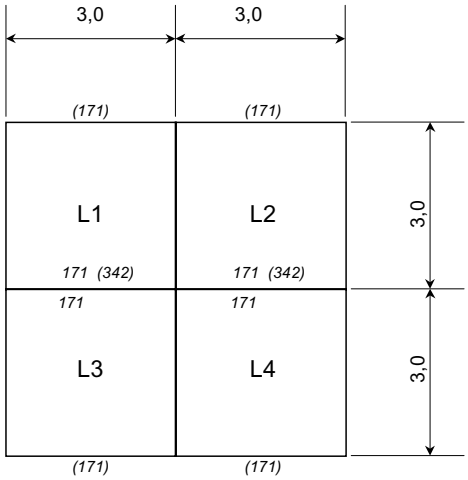
Nas Figuras 4.17 e 4.18 são mostrados, respectivamente, o esquema das reações das lajes de piso e cobertura para os modelos M4 e M4A, e nas Figuras 4.19 e .4.20 tem-se os esquemas das reações das lajes de piso e cobertura para os modelos M6 e M6A.

Sendo iguais os vãos das diversas lajes, optou-se por apoiá-las no sentido longitudinal dos modelos.



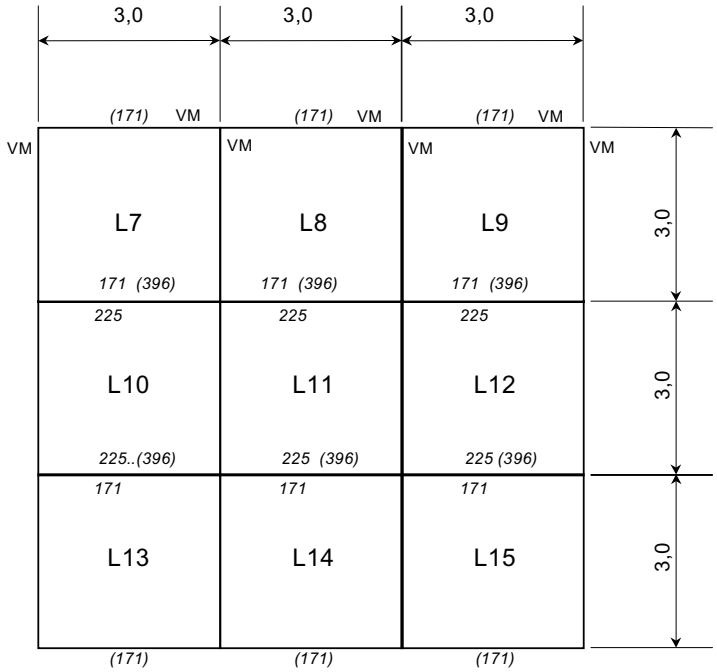
Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.17 – Reação das Lajes de Piso do 1º e 2º Pavimento (M4 e M4A).



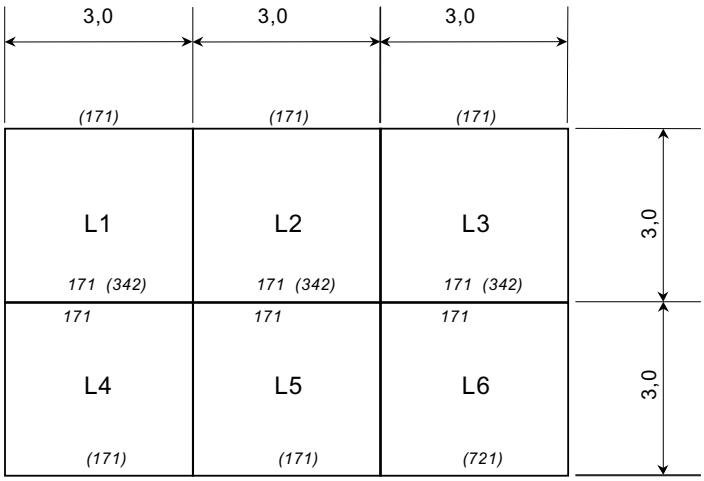
Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.18 – Reação das Lajes de Cobertura (M4 e M4A).



Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.19 – Reação das Lajes de Piso do 1º e 2º Pavimento (M6 e M6A).



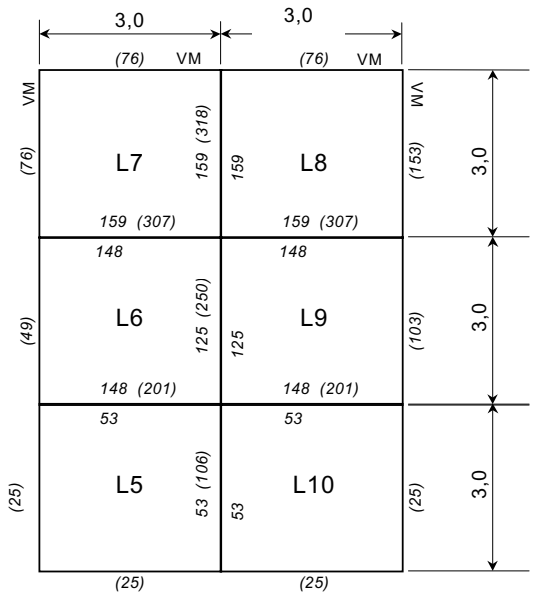
Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.20 – Reação das Lajes de Cobertura (M6 e M6A).

4.3.3 – Cargas Acidentais nas Lajes

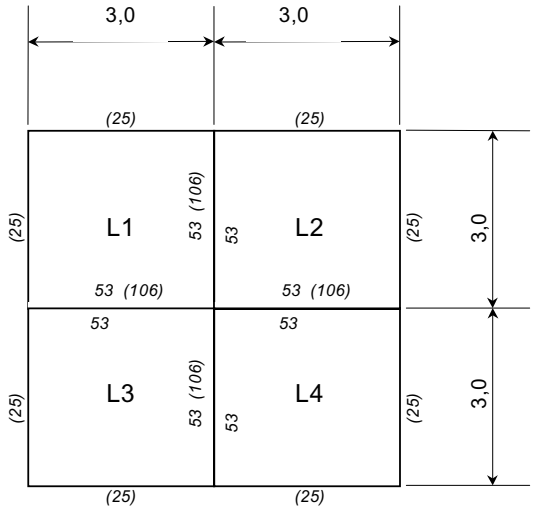
Para o cálculo das reações das lajes devido à cargas acidentais, utilizou-se também do programa MUDADOS. Foram consideradas as lajes com as mesmas condições de contorno definidas no tópico anterior. Assim, para o caso de lajes de concreto armado moldado "in locu" considerou-se uma carga acidental, segundo a norma NBR 8800, com o valor de 50 kgf/m² (0,50kN/cm²) no caso das lajes de forro, e 150 kgf/m² (1,50kN/cm²) no caso das lajes de piso.

Nas Figuras 4.21 e 4.22 tem-se, respectivamente, o esquema das reações das lajes de piso e forro para os modelos M4 e M4A. As Figuras 4.23 e 4.24 fornecem o esquema das reações das lajes de piso e forro para os modelos M6 e M6A.



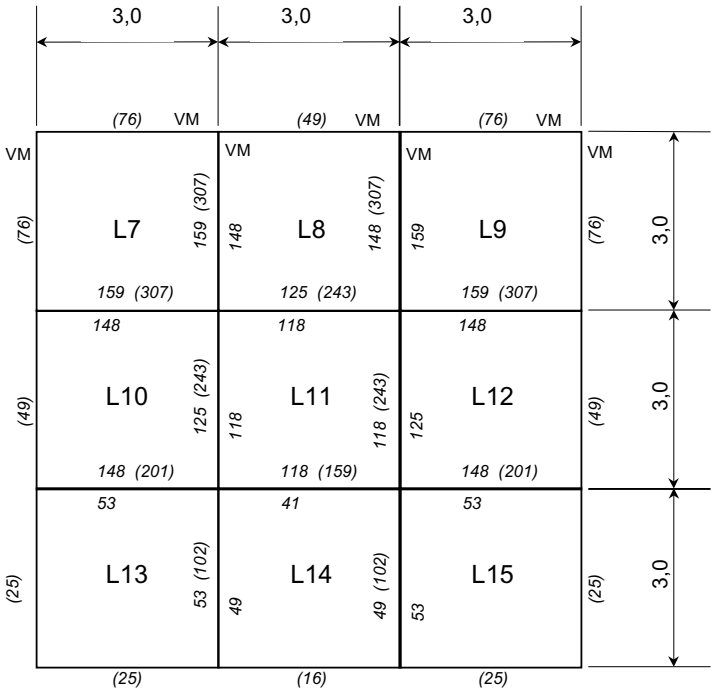
Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.21 – Reações das Lajes de 1.º e 2º Piso: Efeito da Carga Acidental (M4 e M4A).



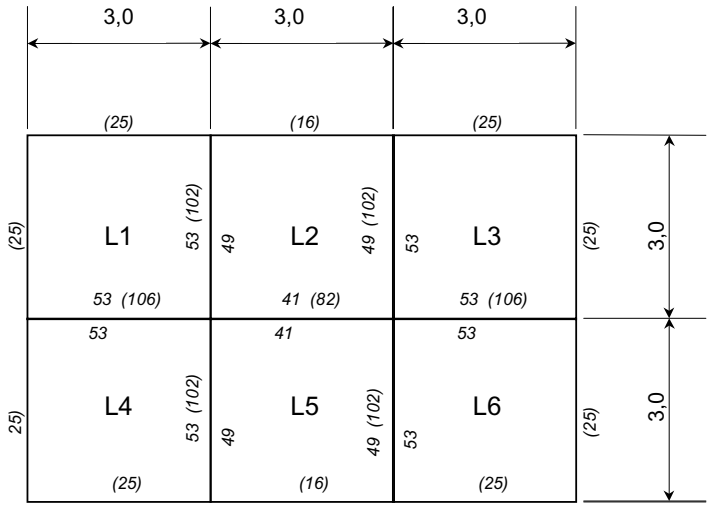
Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.22 – Reações das Lajes de Cobertura: Efeito da Carga Acidental (M4 e M4A).



Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.23 – Reações das Lajes de 1.º e 2º Piso: Efeito da Carga Acidental (M6 e M6A).

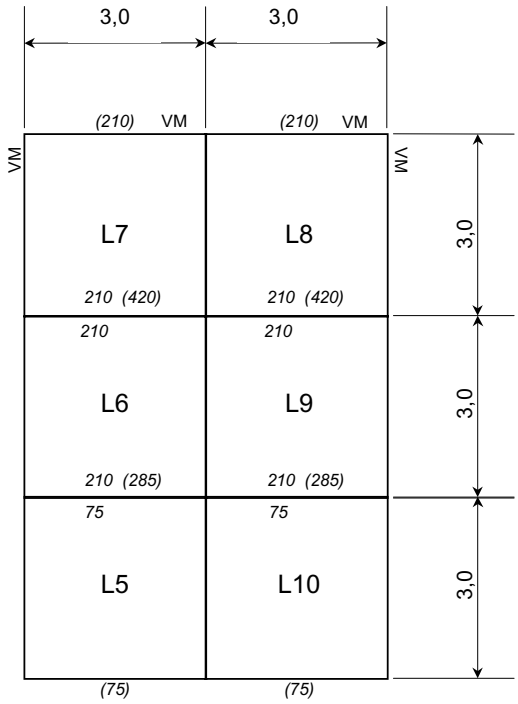


Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.24 – Reações das Laje de Cobertura: Efeito da Carga Acidental (M6 e M6A).

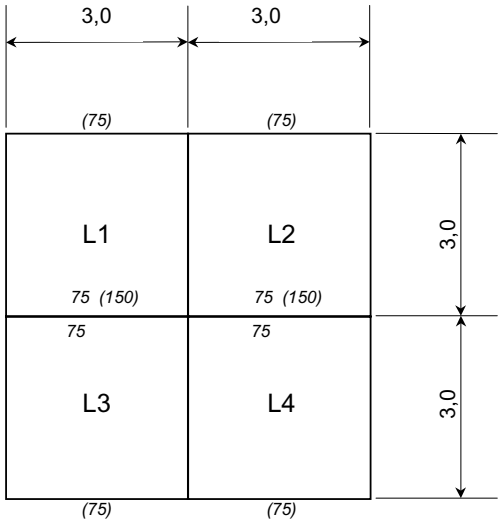
Considerando-se agora na utilização de lajes em painéis de concreto celular autoclavado a sobrecarga de 140 kgf/m², tem-se nos apoios uma reação de 210 kg/m, e considerando-se ainda uma sobrecarga de 50 kgf/m² para o forro, teremos consequentemente uma reação de 75 kgf/m.

Nas Figura 4.25 e 4.26 são encontrados os esquemas das reações das lajes de piso e de forro para as considerações acima, respectivamente, para os modelos M4 e M4A e, nas Figura 4.27 e 4.28 tem-se os esquemas das reações das lajes de piso e de forro para os modelos M6 e M6A.



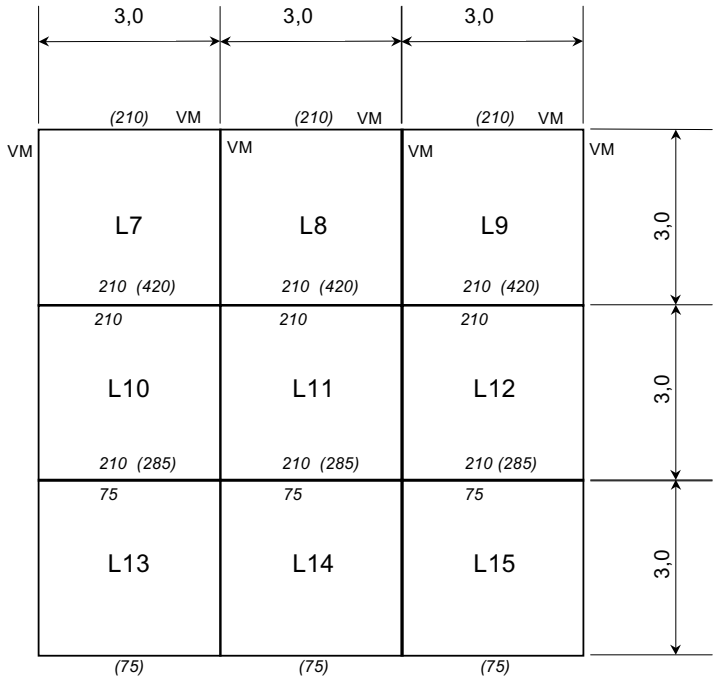
Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.25 – Reações das Lajes de 1.º e 2.º Piso: Efeito da Carga Acidental (M4 e M4A).



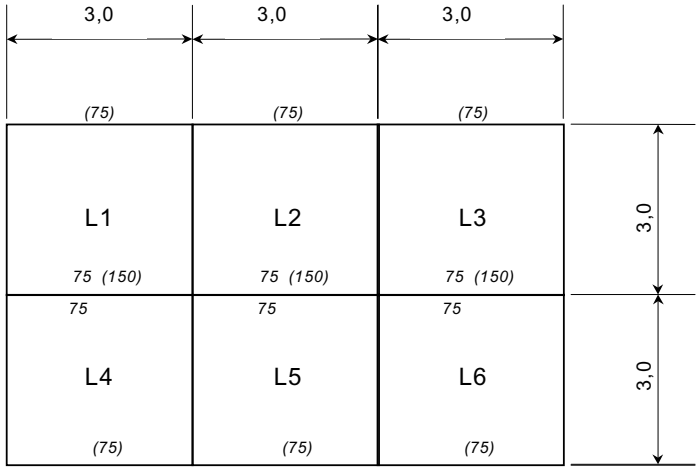
Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.26 – Reações das Lajes de Cobertura: Efeito da Carga Acidental (M4 e M4A).



Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.27 – Reações das Lajes do 1.º e 2.º Piso: Efeito da Carga Acidental (M6 e M6A).



Unidades: m; kgf/m.

Figura 4.28 – Reações das Lajes de Cobertura: Efeito da Carga Acidental (M6 e M6A).

4.3.4 – Peso Próprio da Cobertura

Neste estudo foram consideradas duas opções para as telhas de recobrimento, sendo a primeira opção o uso de telhas de barro tipo colonial, e a segunda, o uso de telhas metálicas.

No cálculo do peso próprio da cobertura, considerou-se:

- Peso próprio da estrutura do telhado;
- Peso próprio do telhado de acordo com as opções acima mencionadas.

4.3.4.1 – Peso Próprio da Estrutura do Telhado

Como estrutura para a cobertura do telhado, optou-se pela utilização da estrutura metálica em aço, objeto do trabalho de pesquisa de Reis (1996), onde se chegou a uma estrutura com um peso próprio de 13 kgf/m².

4.3.4.2 – Peso Próprio do Telhado

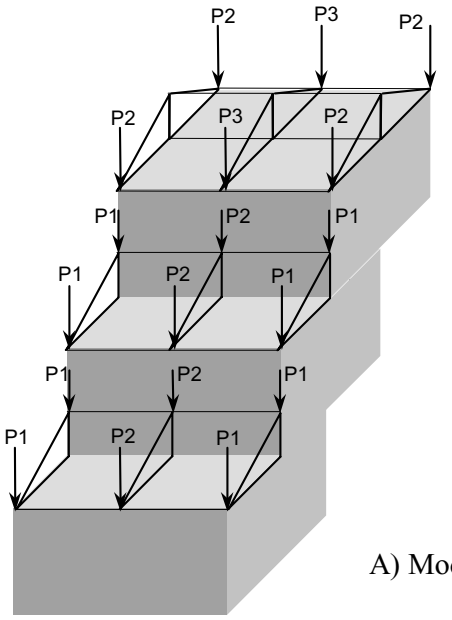
Na primeira opção (telhas de barro tipo colonial), segundo Pianca (1980) são necessárias 28 telhas para 1,00 m² de cobertura. Tendo cada telha seca o peso de 1,80 kgf, e acrescentando-se a este 30%, ao se considerar a telha molhada, chega-se então um peso de 2,34 kgf para cada telha, e consequentemente o valor de 78,60 kgf/m² de telhado.

Tem-se então como peso da cobertura o peso próprio da estrutura adicionado ao peso das telhas consideradas molhadas. Determinou-se assim um valor aproximado de 80 kgf/m² (0,8 kN/m²).

Na segunda opção (telhas metálicas), mais adequada em se tratando de construção industrializada, deve-se escolher a seção transversal da telha que pode ser ondulada ou trapezoidal. A seção trapezoidal se apresenta como a mais adequada pela sua conformação. Por ser mais enrijecida, permite um maior espaçamento entre apoios (terças) das telhas. A telha metálica CODEME modelo CE 25 atende às necessidades do projeto. Propõe-se o uso da telha com 0,50 mm de espessura com um peso de 4,68 kg/m² (CODEME, 1998).

Nas Figuras 4.29A e B são mostrados os esquemas de carregamento da estrutura do telhado, respectivamente, para os modelos M4, M4A; M6 e M6a. P1, P2 e P3 são as cargas

aplicadas provenientes da cobertura cujos valores irão depender obviamente do tipo de telha escolhida.



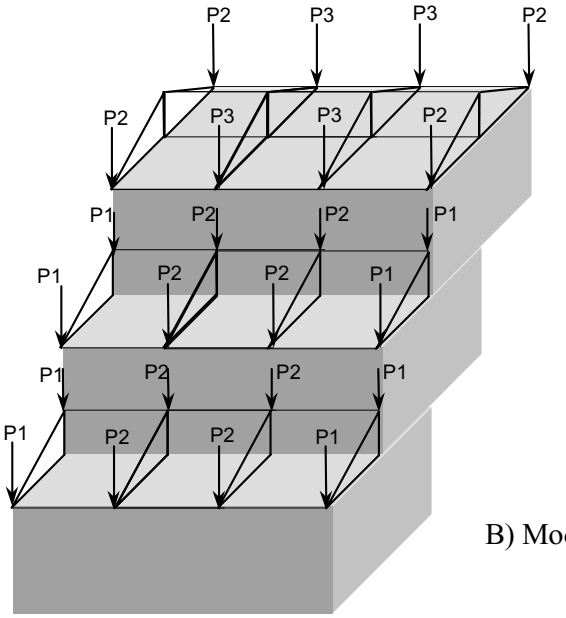
Para Telhas de barro Tipo Colonial:

P1 = 180 kgf

P2 = 360 kgf

P3 = 720 kgf

A) Modelos M4 e M4A



Para Telhas Metálicas:

P1 = 41 kgf

P2 = 81 kgf

P3 = 162 kgf

B) Modelos M6 e M6A

Figura 4.29A e B – Esquema de Carregamento da Cobertura para Carga Permanente: Modelos M4 e M4A; M6 e M6A.

4.3.5 – Carga Acidental na Cobertura

A carga acidental na cobertura leva em consideração o acúmulo de poeira e a passagem de pessoas para sua manutenção. Em função da finalidade e da área construída, pode atingir valores da ordem de 100 kgf/m² (10 kN/m²) ou mais.

No Anexo B da NBR 8800, item B.3.6.1, está especificado que "para coberturas comuns que não estejam sujeitas a acúmulos de quaisquer materiais, e na ausência de especificação em contrário, seja prevista uma sobrecarga — Carga Acidental — nominal mínima de 25 kgf/m² (0,25 kN/m²), em projeção horizontal." Neste trabalho foi adotado então este valor no cálculo.

Nas Figuras 4.30A e B encontram-se os esquemas de carregamento para a carga acidental na cobertura para os modelos M4 , M4A; M6 e M6A.

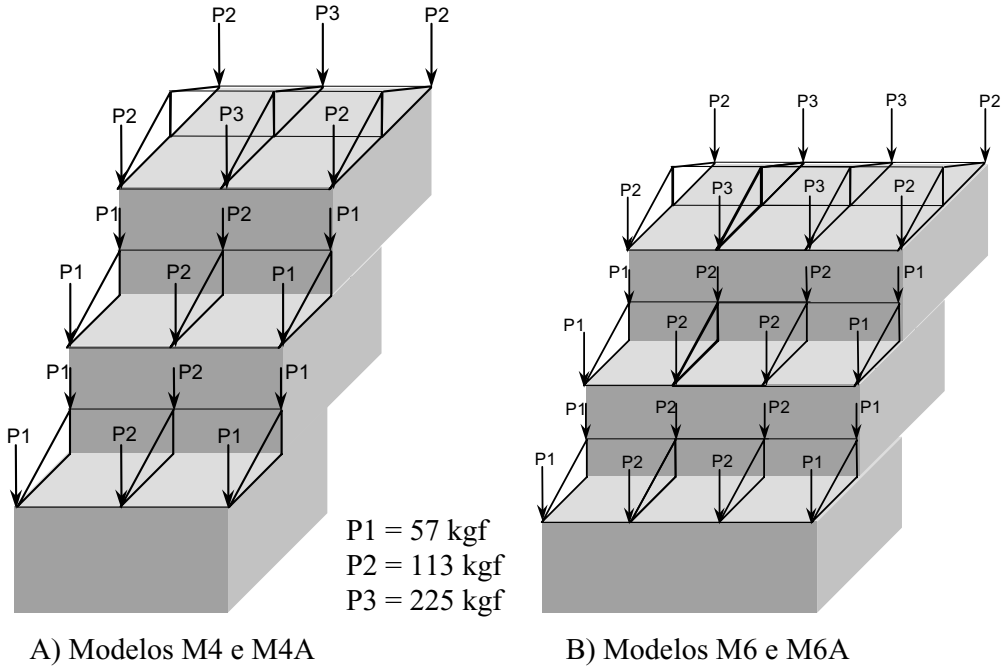


Figura 4.30A e B – Esquema de Carregamento da Cobertura para Carga Acidental: Modelos M4 e M4A; M6 e M6A

4.3.6 – Peso Próprio dos Fechamentos

Neste estudo foram considerados, a título de comparação, a utilização de alguns tipos de fechamentos de paredes:

- Paredes de painéis de gesso ou revestimento vinílicos, afixados à estrutura, tipo "Dry Wall". Nesse tipo de parede, cuja descrição do seu processo construtivo é abordada no Capítulo 3, item 3.2, foram obtidos os seguintes valores:
  - Paredes externas → 80 kgf/m (0,8 kN/m);
  - Paredes internas → 66 kgf/m (0,66 kN/m).
- Paredes de blocos de concreto celular autoclavado. Na utilização deste material na confecção das paredes é recomendado o uso de espessuras mínimas de 12,5cm para paredes externas e de 10cm para paredes internas. Na Figura 4.31, observa-se o modelo de um bloco de concreto celular autoclavado (SICAL, 1998). Assim sendo, tem-se os seguintes valores para o peso próprio de paredes, acrescentando-se o peso do revestimento:
  - Paredes externas → 138 kgf/m² (1,38 kN/m²);
  - Paredes internas → 126 kgf/m² (1,26 kN/m²).

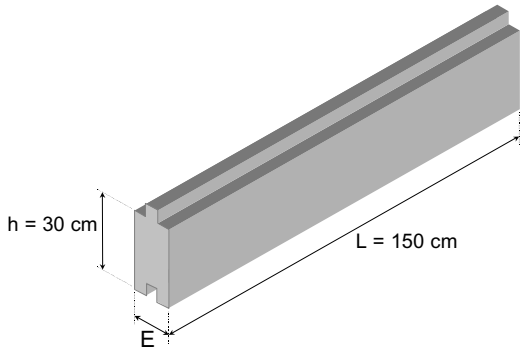


Figura 4.31 – Modelo do Bloco de Concreto Celular Autoclavado.

- Paredes de tijolos comuns de barro (furados). A NBR – 6120 (ABNT, 1980) fixa os pesos específicos de alguns materiais de fechamento para efeito de cálculo de carga permanente em construções. Para paredes desse tipo, encontra-se nela o peso específico de 1.300 kgf/m³ (13 kN/m³). Considerou-se paredes externas e internas de

mesma espessura, ou seja, 15cm. Assim sendo, tem-se para este tipo de parede o peso aproximado de 206 kgf/m² (2,06 kN/m²), considerando-se aí também o peso do revestimento.

4.3.7 – Ação do Vento

A ação do vento, foi determinada de acordo com a norma NBR 6123 (ABNT, 1988) — Forças Devidas ao Vento em Edificações —. Desta norma foram extraídos os seguintes dados necessários ao cálculo:

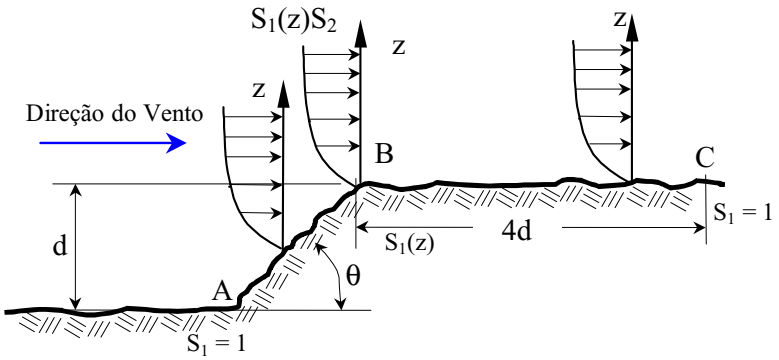
1) Velocidade Básica do Vento → $\mathbf{V_o}$ em m/s

A velocidade básica do vento deve ser adequada ao local onde a estrutura será construída. Segundo a norma "é a velocidade de uma rajada de três segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano." Adotou-se neste trabalho um valor básico Vo de 40 m/s. Esse valor foi tomado por ser adequado à região sudeste, sendo superior ao encontrado na maior parte do país. Apenas na região sul se encontram valores maiores.

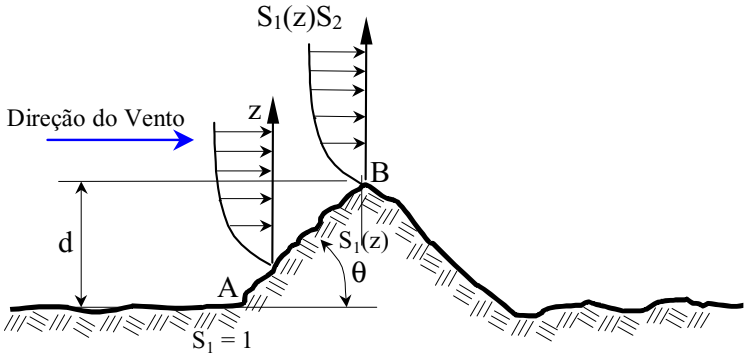
2) Fator Topográfico → $\mathbf{S_1}$

O fator $\mathbf{S_1}$ leva em consideração as variações do relevo do terreno. No caso em questão — construção em encostas — para o calculo deste fator, tomou-se a condição: "taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado na Figura 4.32A e B" (letra b, item 5.2, página 9, Norma, 1988).

Considerando-se a inclinação do terreno $\theta \langle 45^o$ tem-se:



A) Talude



B) Morro

Figura 4.32 A e B – Fator Topográfico

$$\mathbf{S_1 = 1{,}0 + (\ 2{,}5 - z/d\ ) \times 0{,}31}$$

onde:

z = é a altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado; e

d = é a diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro.

Na condição mais desfavorável, a razão z/d é nula, e assim chega-se ao valor de $\mathbf{S_1}$ = 1,77.

3) Fator de Rugosidade → $\mathbf{S_2}$

O fator $\mathbf{S_2}$ leva em consideração o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação. Observa-se ser o caso em questão pertencente à seguinte categoria: "Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada; subúrbios densamente construídos de grandes cidades".

A cota média do topo dos obstáculos foi considerada para no caso, igual a 10m.
Assim define-se: z [5m → $\mathbf{S_2}$ = 0,76; e para z [10m → $\mathbf{S_2}$ = 0,83 (Tabela 2, página 15, Norma, 1988).

4) Fator Estatístico → $\mathbf{S_3}$

O fator $\mathbf{S_3}$ é baseado em conceitos estatísticos. É um fator usado para minorar ou majorar a velocidade básica do vento V_o, em função da segurança e vida útil da edificação. De acordo com a Norma o projeto em questão pode ser enquadrado no grupo: "Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação." Dessa forma define-se $\mathbf{S_3}$ = 1,0 (Tabela 3, página 16, Norma, 1988).

5) Velocidade Característica do Vento → $\mathbf{V_k}$

Segundo a Norma (1988) a velocidade característica do vento é dada pela seguinte expressão:

$$\mathbf{V_k = V_o.S_1.S_2.S_3} \text{ (m/s)}$$

Considerando-se z = 5m, determina-se $\mathbf{V_k}$ = 40,35 m/s; para z = 9m obtém-se $\mathbf{V_k}$ = 44,07 m/s
Esta última altura é a maior altura da unidade habitacional no projeto.

6) Pressão Dinâmica do Vento → **q**

Tendo-se a velocidade característica do vento, determina-se a pressão dinâmica do vento através da expressão:

$$\mathbf{q = 0{,}613\ Vk^2}\ \text{N/m}^2$$

Desta maneira, para z = 5m → **q** = 998,33 N/m²; e para z = 9m → **q** = 1.190,70 N/m.

7) Coeficientes Aerodinâmicos.

São coeficientes que dependem da direção do vento e de características da construção, quais sejam:

- **Ce** → Coeficiente de forma externo. Informam o sentido e o grau de esforço relativamente à pressão "q", produzido pelo vento externamente em uma parte da estrutura.

- **Ci** → Coeficiente de forma interno. Informa o sentido e o grau de esforço relativamente à pressão dinâmica "q" e a área "A" , produzido pelo vento internamente.

Coeficientes (+) indicam sobrepressão e coeficientes (–) indicam sucção.

Para efeito do cálculo da força do vento, considerou-se o vento podendo atuar em três direções, que foram denominadas de direções α = 0º, α = 90º e α = 180º conforme mostrado na Figura 4.33.

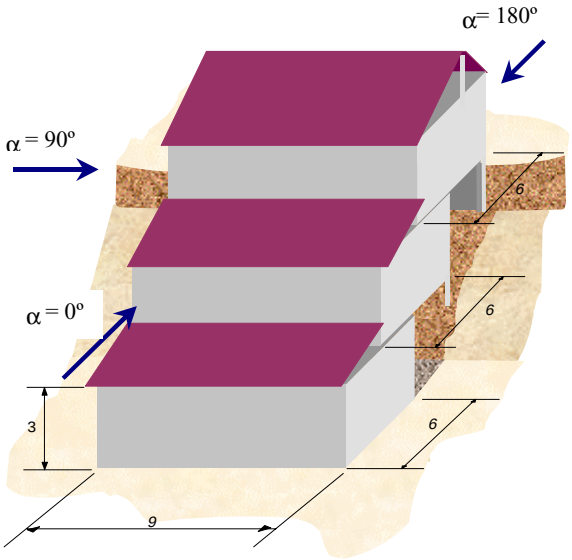
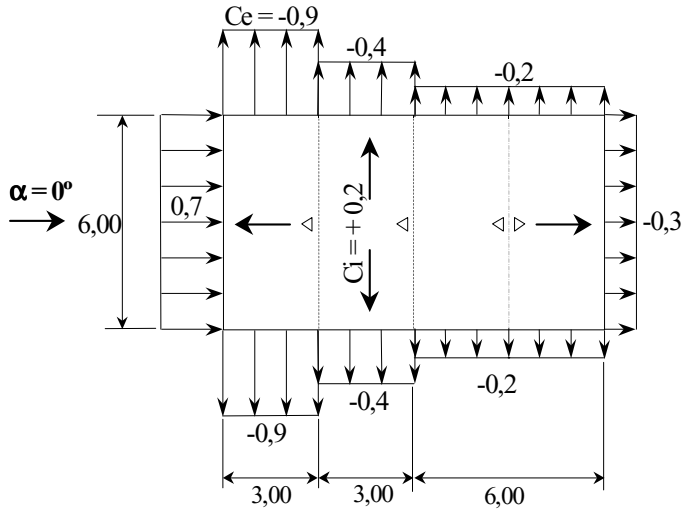


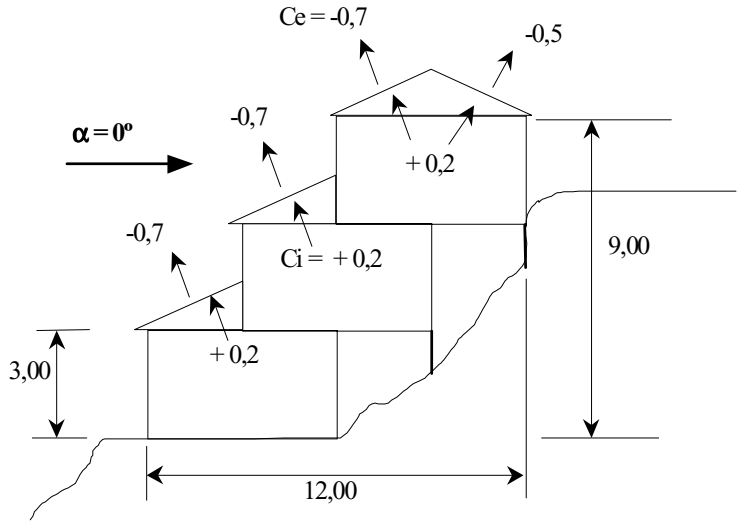
Figura 4.33 – Direções do Vento Atuante

A seguir, são apresentadas algumas figuras onde são mostrados os coeficientes — **Ce** e **Ci** — determinados a partir da Norma (1988), a serem aplicados no cálculo das ações do vento nas estruturas. São determinados para ações nas paredes e nos telhados, separadamente.

Como exemplo, são mostrados os coeficientes para o modelo M4/M4A. Na Figura 4.34A e B, vê-se os coeficientes utilizados para o vento atuante na direção $\alpha = 0º$. Na Figura 4.34A vê-se em planta os coeficientes aplicados no cálculo das ações nas paredes (considerando-se todo o perímetro da construção), e na Figura 4.34B os utilizados para os cálculos das ações no telhado (vista em corte longitudinal).



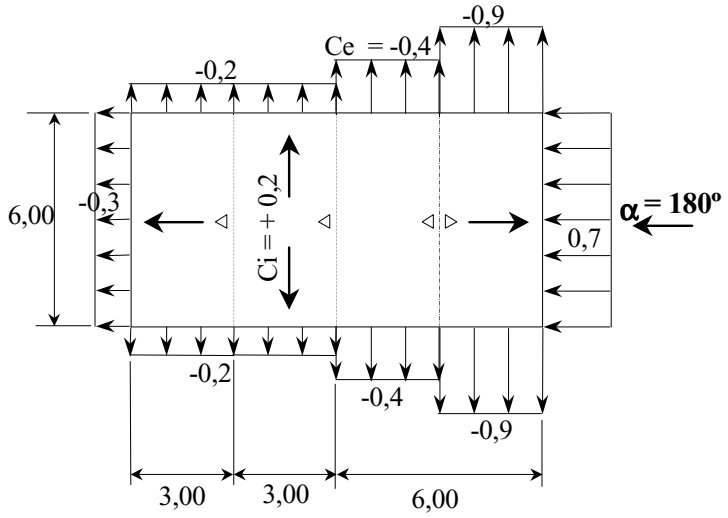
A) – Paredes



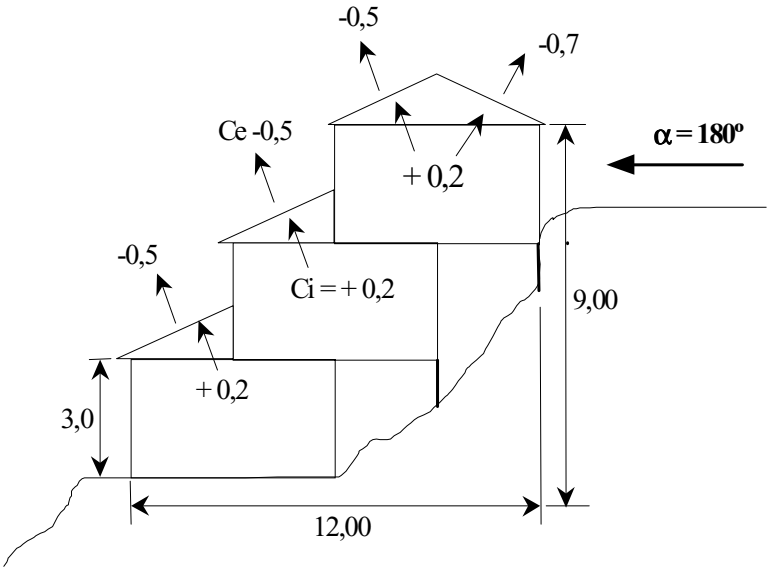
B) – Telhados

Figura 4.34A e B – Coeficientes Ce e Ci para α = 0º (cotas em metros).

De maneira análoga, na Figura 4.35A e B são mostrados os coeficientes utilizados para o vento atuante na direção α = 180º. Vê-se em planta, na Figura 4.35A, os coeficientes aplicados no cálculo das ações nas paredes, e na Figura 4.35B os utilizados para os cálculos das ações no telhado.



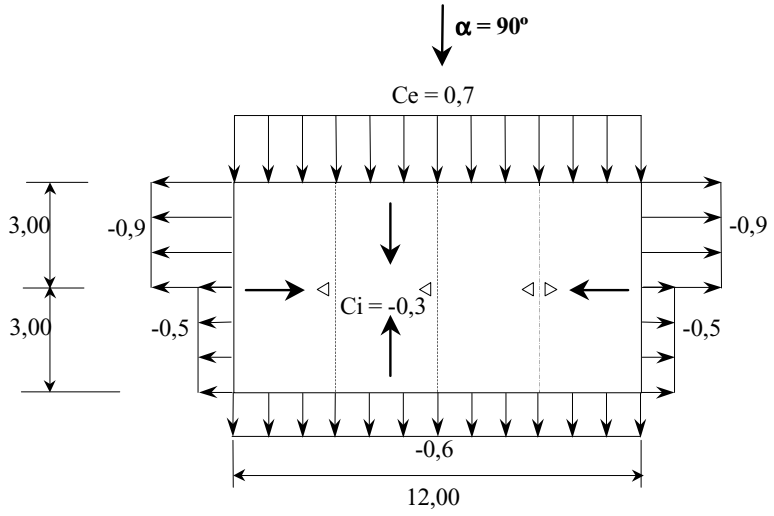
A) – Paredes



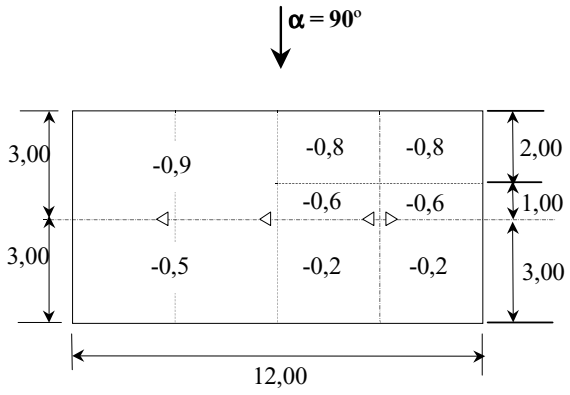
B) – Telhados

Figura 4.35A e B – Coeficientes C_e e C_i para α = 180º (cotas em metros).

Para o vento atuante segundo a direção $\alpha = 90^o$, os coeficientes são os mostrados na Figura 4.36A e B, e da mesma forma tem-se na Figura 4.36A os coeficientes para as paredes e em 4.36B os do telhado, que agora são mostrados em planta, mas indicando uma sucção externa (sinais negativos).



A) – Paredes



B) – Telhados

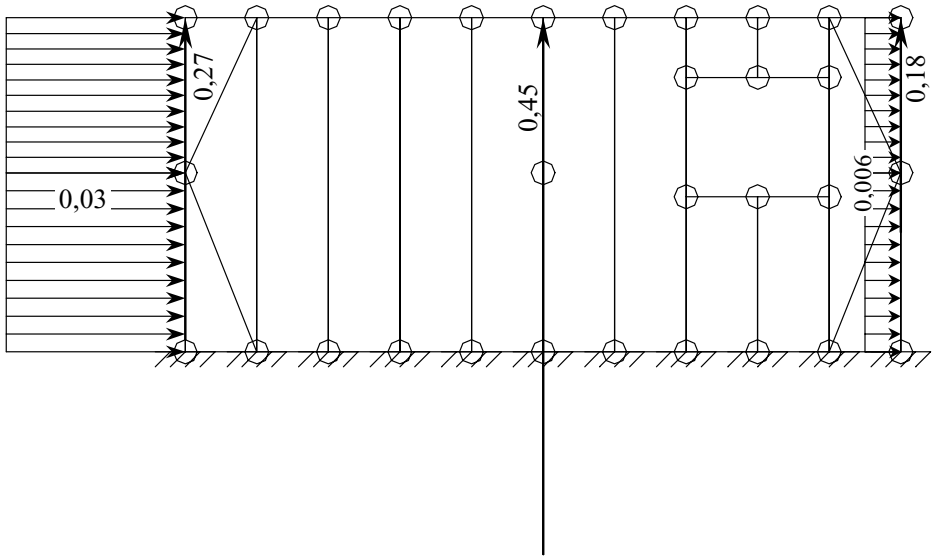
Figura 4.36A e B – Coeficientes C_e e C_i para $\alpha = 90^o$ (cotas em metros).

A força do vento atuante sobre um elemento plano de área "A" de uma edificação é dada pela expressão:

$$\mathbf{F = (C_e - C_i)\ q.A}$$

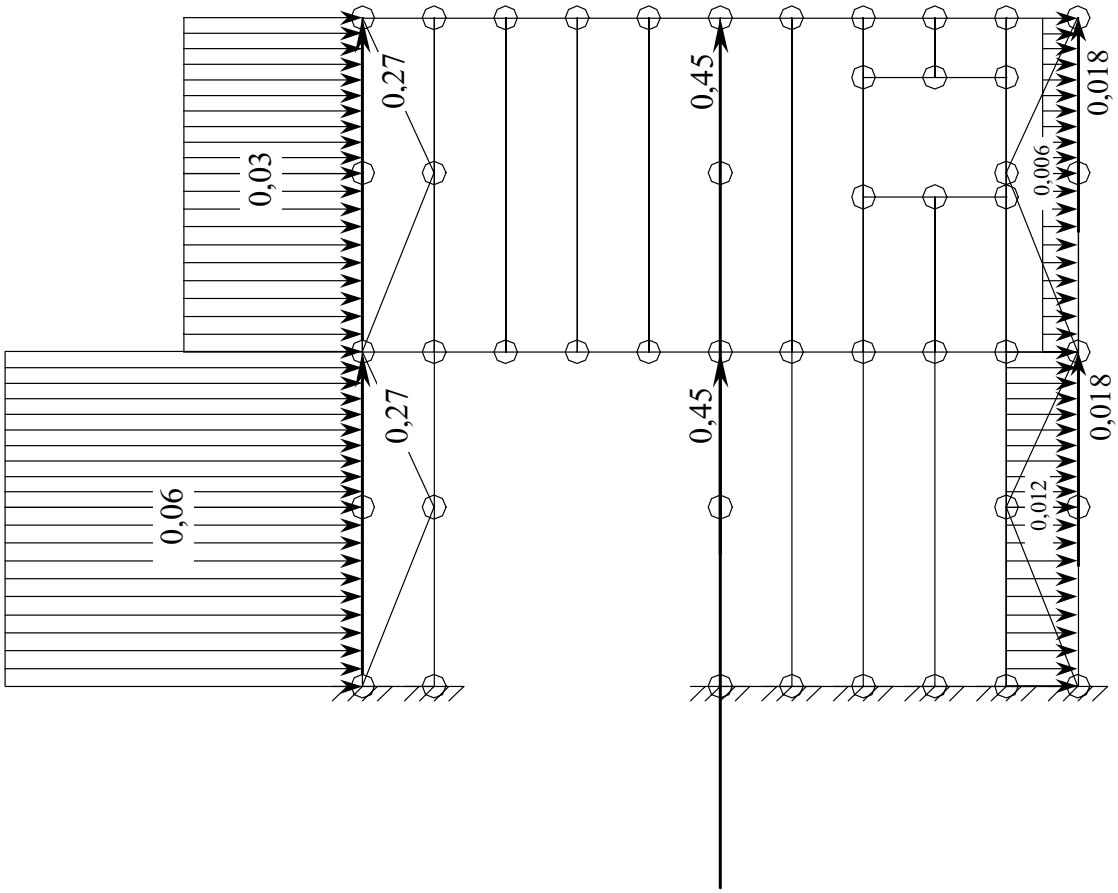
Executando-se os cálculos para se determinar as forças devidas aos ventos atuantes em cada face do modelo em questão, e distribuindo-se estas forças nos respectivos elementos estruturais, tem-se os esforços provenientes da ação do vento na estrutura.

A título de ilustração, nas figuras apresentadas a seguir, podem ser observados esquemas da ação do vento para o modelo estrutural M4. Considerou-se o vento atuante na direção **α=90º**. Na Figura 4.37 e tem-se a ação do vento na estrutura segundo a vista zx e na Figura 4.38 na vista zx1. Na Figura 4.39 segundo a vista zx2, e na Figura 4.40A e B vê-se a ação nas vistas zx3 e zx4. Nas Figuras 4.41, 4.42 e 4.43 tem-se os respectivos esquemas segundo as vistas zy, zy1 e zy2.



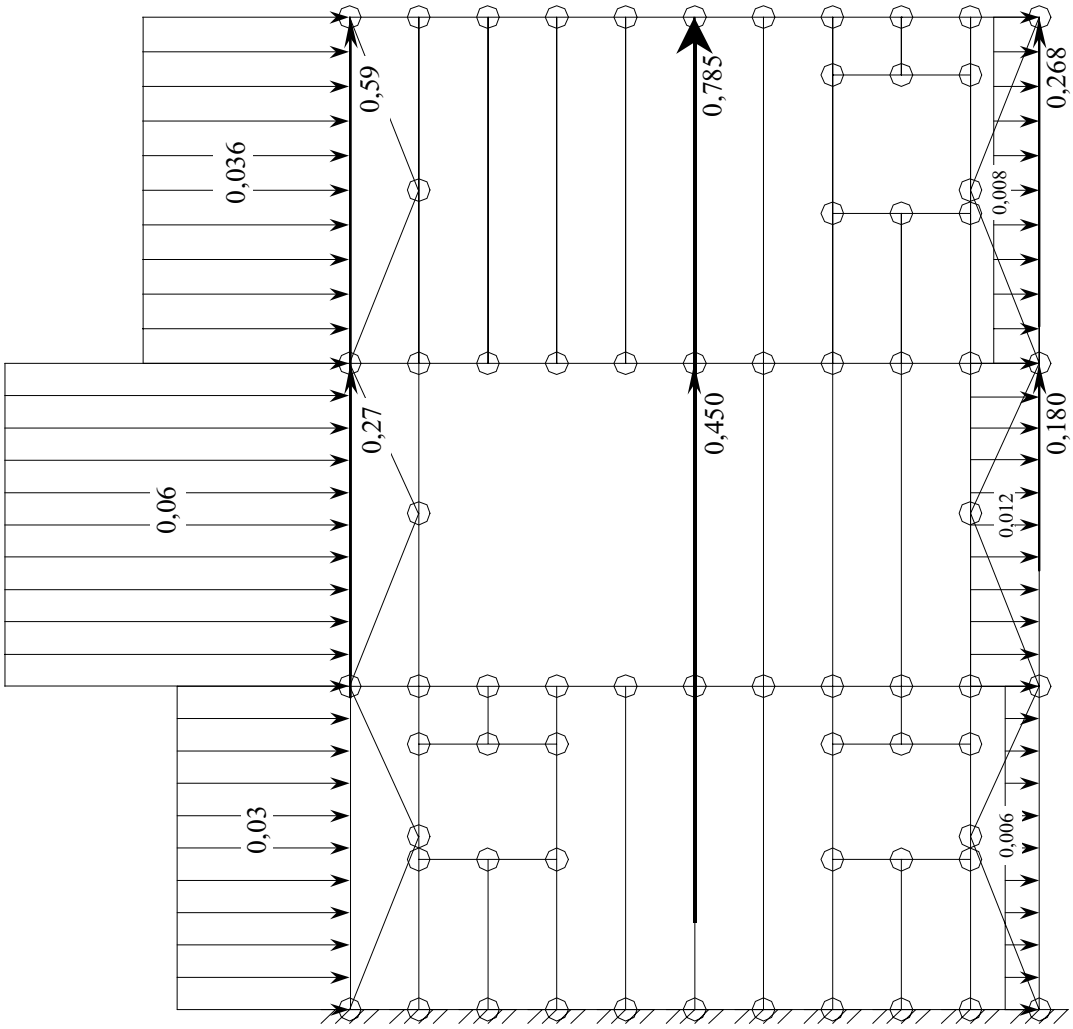
Unidades: Tf/m

Figura 4.37 – Esquema da Ação do Vento na Vista zx.



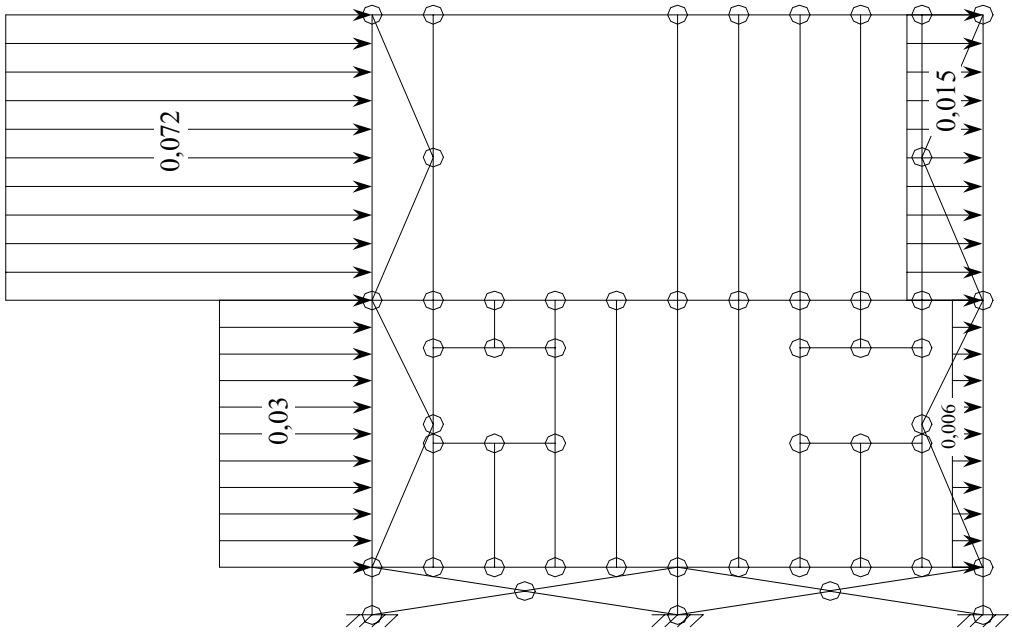
Unidades: Tf/m

Figura 4.38 – Esquema da Ação do Vento na Vista zx1.

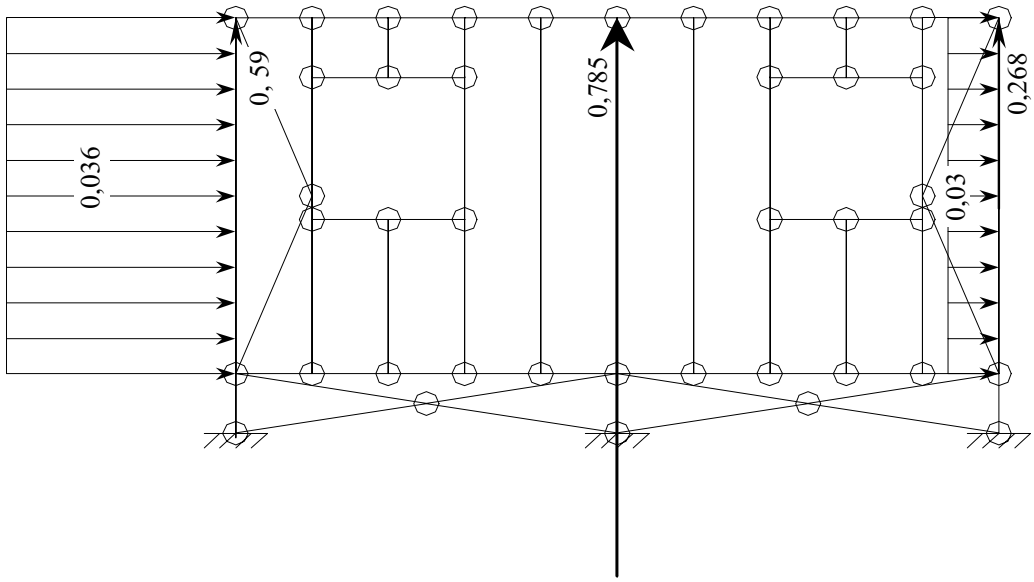


Unidades: Tf/m

Figura 4.39 – Esquema da Ação do Vento na Vista zx2.



A) - Vista zx3.



B) - Vista zx4.

Unidades: Tf/m

Figura 4.40A e B – Esquema da Ação do Vento nas Vista zx3 e zx4.

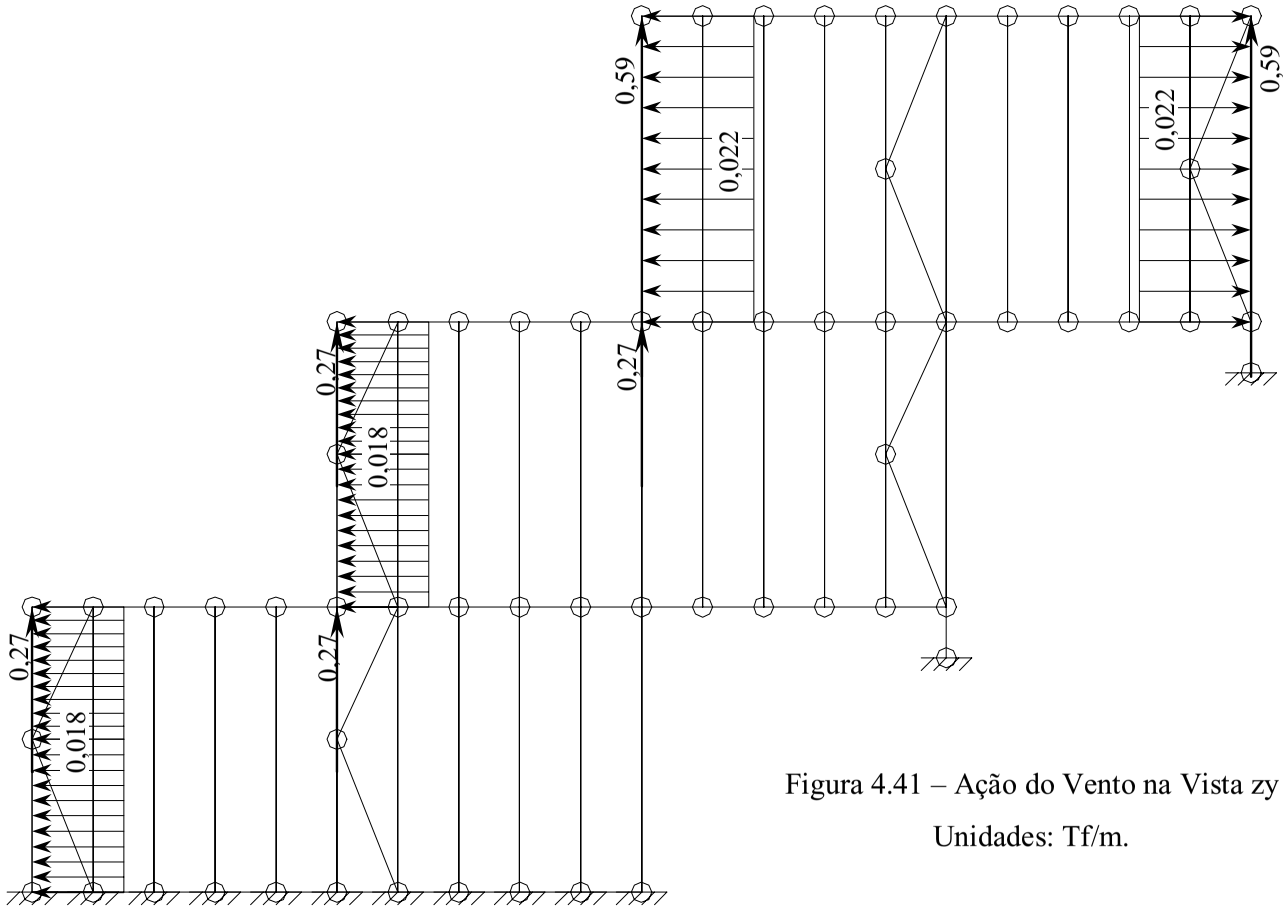


Figura 4.41 – Ação do Vento na Vista zy

Unidades: Tf/m.

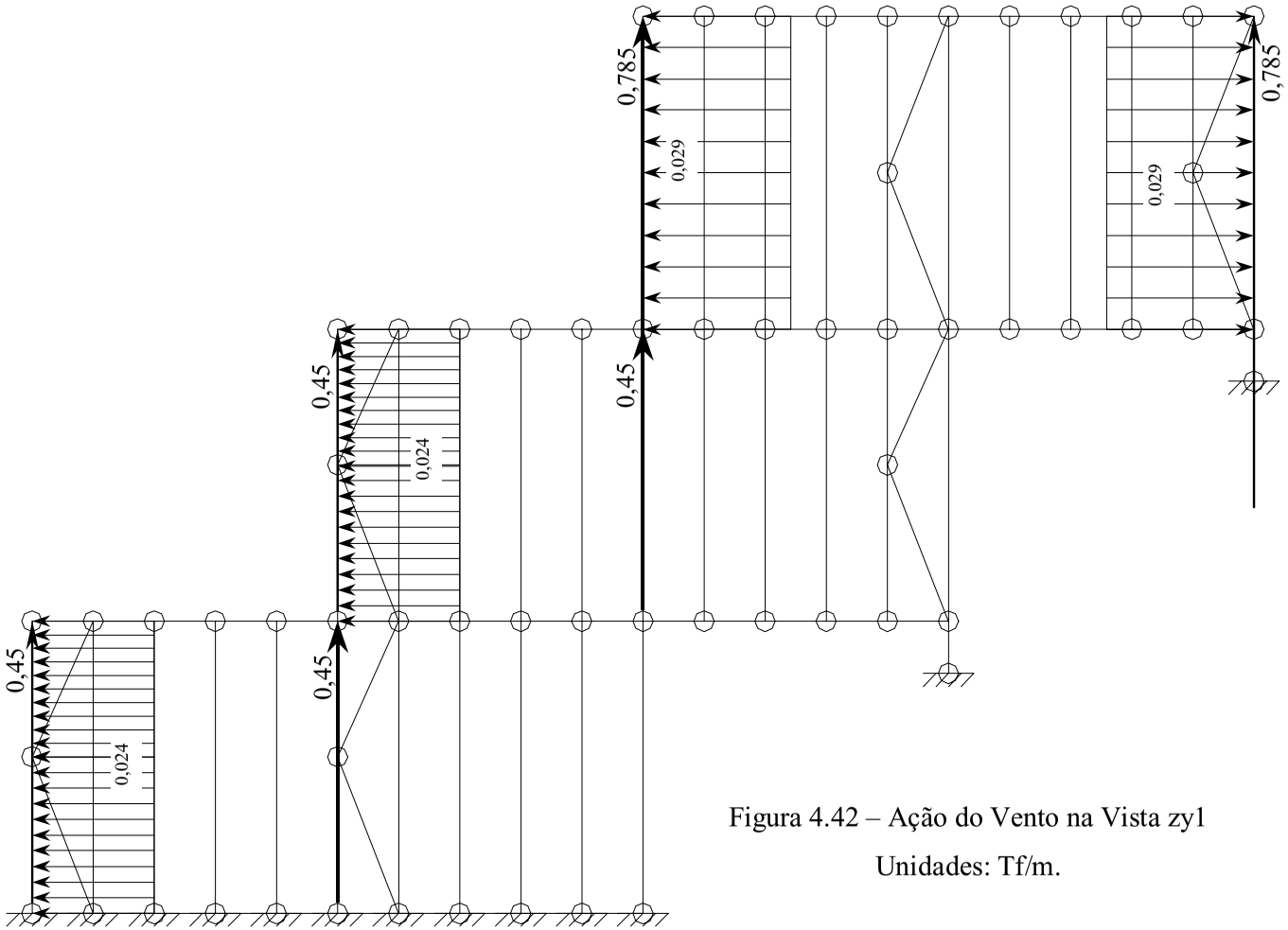


Figura 4.42 – Ação do Vento na Vista zy1

Unidades: Tf/m.

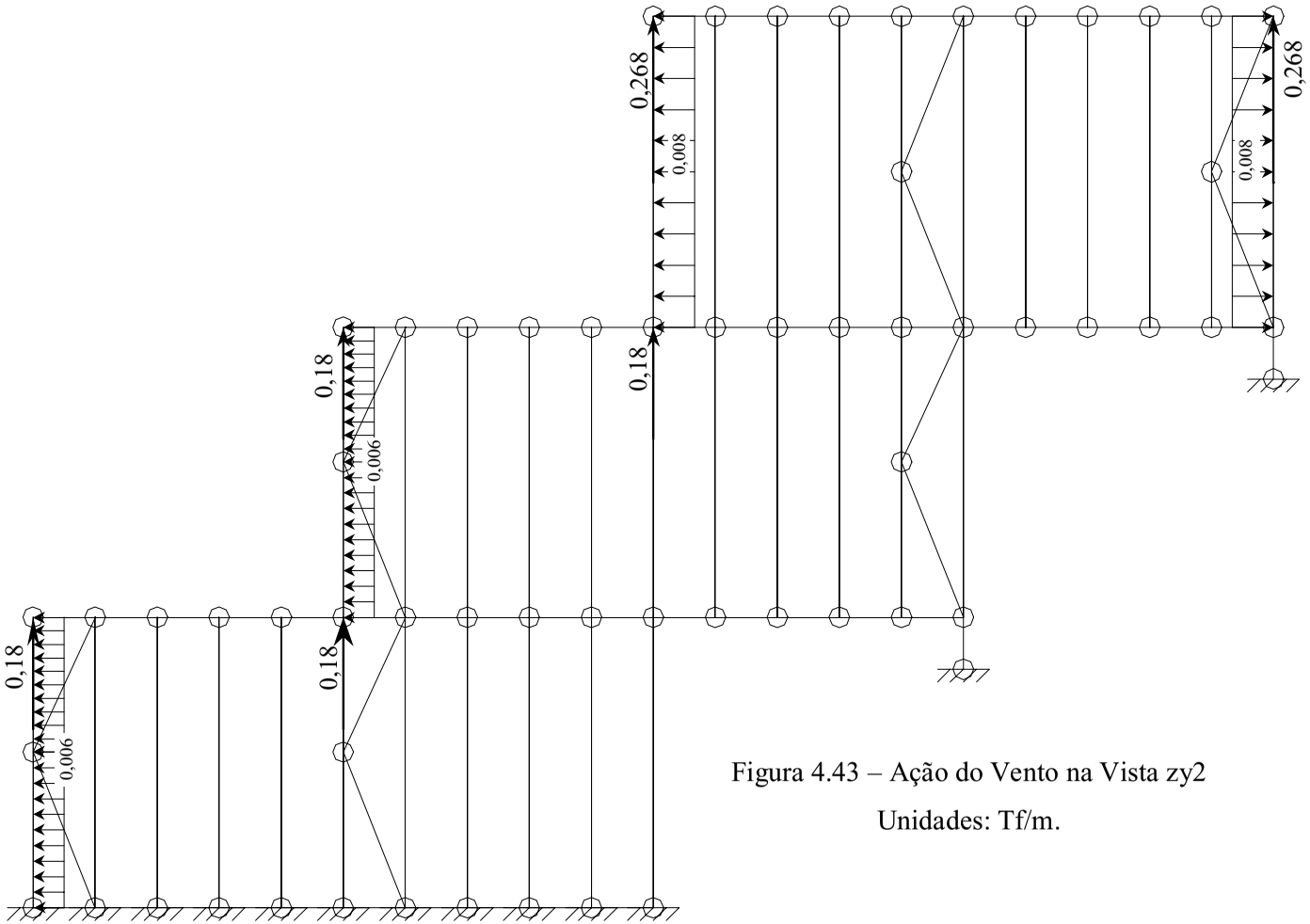


Figura 4.43 – Ação do Vento na Vista zy2

Unidades: Tf/m.

4.3.8 – Combinações das Ações

Todas as ações do carregamento atuante consideradas anteriormente, devem ser combinadas devido ao fato de poderem ocorrer simultaneamente.

Para aço dobrado o programa Cypecad (Multiplus, 1998) utiliza Ações Nominais. Os coeficientes de segurança utilizados são os coeficiente de "default" do programa que estão de acordo com os previstos no AISI – Tensões Admissíveis –. As combinações utilizadas são as seguintes:

1) - Sobrecarga 1 (Peso Próprio)$\rightarrow$ $1.Pp_1$;

2) - Sobrecarga 2 $\rightarrow$ $1.Pp_1 + 1.\ SC_1$;

3) - Sobrecarga 1, Vento 1 (direção $\alpha = 0^o$) $\rightarrow$ $1.Pp_1 + 1.V_1$;

4) - Sobrecarga 2, Vento 1 (") $\rightarrow$ $1.Pp_1 + 1.SC_1 + 1.V_1$;

5) - Sobrecarga 1, Vento 2 (direção $\alpha = 180^o$) $\rightarrow$ $1.Pp_1 + 1.V_2$;

6) - Sobrecarga 2, Vento 2 (") $\rightarrow$ $1.Pp_1 + 1.SC_1 + 1.V_2$;

7) - Sobrecarga 1, Vento 3 (direção $\alpha = 90^o$) $\rightarrow$ $1.Pp_1 + 1.V_3$;

8) - Sobrecarga 2, Vento 3 (") $\rightarrow$ $1.Pp_1 + 1.SC_1 + 1.V_3$.

Obs.: Pp_1 = Somatório dos pesos próprio da estrutura, lajes, telhados e fechamentos de paredes; SC_1 = Somatório das sobrecargas de lajes e telhados; V_1 = Ação do vento segundo a direção $\alpha = 0^o$; V_2 = Ação do vento segundo a direção $\alpha = 180^o$ e V_3 = Ação do vento segundo a direção $\alpha = 90^o$.

4.4 – RESULTADOS ENCONTRADOS

Neste tópico são abordados os resultados encontrados relacionado ao desempenho das estruturas sob a ação do carregamento solicitante, já especificado anteriormente no item 4.3.

A execução de cada modelo pode ser considerada bastante trabalhosa, levando-se em conta principalmente o grande número de barras e nós existentes (M4 com 654 barras e 366 nós e M6 com 912 barras e 508 nós) – ver item 4.2.2.

Observa-se a seguinte rotina para a execução dos modelos para a devida verificação dos resultados:

1) – Lançamento/desenho da geometria da estrutura;

2) – Lançamento das cotas de cada elemento;

3) – Descrição de cada barra de acordo com o perfil escolhido na biblioteca existente ou em biblioteca criada quando for o caso;

4) – Descrição de cada nó de acordo com a sua condição;

5) – Colocação do carregamento atuante

6) – Observação e ou estabelecimento de especificações particulares de cada modelo.

O programa calcula os esforços de acordo com as hipóteses de combinações enumeradas no item anterior. As envoltórias dos esforços de cada barra são determinadas e as barras são então dimensionadas para as piores situações. Nas vistas zx1, zx3 e zy1 do Anexo A relativo ao modelo M4, estão destacadas as barras 1, 2, 3 e 4, das quais se apresentam as Tabelas 4.2; 4.3; 4.4 e 4.5 relativas às envoltórias, e a Tabela 4.6, que mostra o percentual de aproveitamento da barra relacionado à tensão máxima a que ela esta submetida. Analogamente, nas vistas zx1, zx3 e zy1 do modelo M6 do Anexo B, estão destacadas as barras 5, 6, 7 e 8, das quais também se apresentam as Tabelas 4.7; 4.8; 4.9 e 4.10 relativas às envoltórias, e a Tabela 4.11, que mostra o percentual de aproveitamento da barra em relação também à tensão a que ela esta submetida,.

Tabela 4.2 – Envoltórias da Barra 1 - Modelo M4.

Barra 1 – ENVOLTORIAS (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-2,2312	-2,2308	-2,2304	-2,2300	-2,2295	-2,2291	-2,2287	-2,2283	-2,2278
N+	-1,2669	-1,2665	-1,2661	-1,2656	-1,2652	-1,2648	-1,2644	-1,2639	-1,2635
Ty-	-0,0016	-0,0016	-0,0016	-0,0016	-0,0016	-0,0016	-0,0016	-0,0016	-0,0016
Ty+	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001
Tz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz-	-0,0021	-0,0019	-0,0016	-0,0013	-0,0011	-0,0008	-0,0005	-0,0003	0,0000
Mz+	-0,0002	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 4.3 – Envoltórias da Barra 2 - Modelo M4.

Barra 2 – ENVOLTORIAS (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-0,9399	-0,9390	-0,9380	-0,9371	-0,9362	-0,9353	-0,9344	-0,9335	-0,9326
N+	-0,5887	-0,5878	-0,5868	-0,5859	-0,5850	-0,5841	-0,5832	-0,5823	-0,5813
Ty-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ty+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 4.4 – Envoltórias da Barra 3 - Modelo M4.

Barra 3 – ENVOLTORIAS (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-6,6852	-6,6824	-6,6795	-6,6766	-6,6738	-6,6709	-6,6680	-6,6652	-6,6623
N+	-3,9347	-3,9318	-3,9290	-3,9261	-3,9232	-3,9204	-3,9175	-3,9146	-3,9118
Ty-	-0,0444	-0,0444	-0,0444	-0,0444	-0,0444	-0,0444	-0,0444	-0,0444	-0,0444
Ty+	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093
Tz-	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Tz+	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	-0,0016	-0,0017	-0,0018	-0,0020	-0,0065	-0,0120	-0,0175	-0,0231	-0,0286
My+	0,0161	0,0105	0,0050	-0,0005	-0,0016	-0,0017	-0,0019	-0,0020	-0,0022
Mz-	-0,1161	-0,0995	-0,0828	-0,0662	-0,0495	-0,0328	-0,0322	-0,0340	-0,0358
Mz+	-0,0053	-0,0088	-0,0123	-0,0157	-0,0186	-0,0179	-0,0102	0,0049	0,0199

Tabela 4.5 – Envoltórias da Barra 4 - Modelo M4.

Barra 4 – ENVOLTORIAS (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-1,3970	-1,3958	-1,3946	-1,3934	-1,3922	-1,3910	-1,3898	-1,3886	-1,3874
N+	-0,9362	-0,9350	-0,9338	-0,9326	-0,9314	-0,9302	-0,9290	-0,9278	-0,9266
Ty-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ty+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 4.6 – Percentual de Aproveitamento das Barras Selecionadas no Modelo M4.

Barra	**APR.(%)**	**POS.(m)**	**N(Tf)**	**Ty(Tf)**	**Tz(Tf)**	**Mt(Tf·m)**	**My(Tf·m)**	**Mz(Tf·m)**
1	**64,97**	0,000	-2,0591	-0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0016
2	**74,64**	0,000	-0,9045	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	**97,41**	0,000	-6,0418	-0,0173	0,0004	0,0000	-0,0016	-0,0639
4	**77,36**	0,000	-1,3970	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 4.7 – Envoltórias da Barra 5 - Modelo M6.

Barra 5 – ENVOLTORIA (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-1,8565	-1,8561	-1,8556	-1,8552	-1,8548	-1,8544	-1,8539	-1,8535	-1,8531
N+	-1,3024	-1,3020	-1,3016	-1,3011	-1,3007	-1,3003	-1,2999	-1,2994	-1,2990
Ty-	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Ty+	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
Tz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz-	0,0005	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000
Mz+	0,0012	0,0010	0,0009	0,0007	0,0006	0,0004	0,0003	0,0001	0,0000

Tabela 4.8 – Envoltórias da Barra 6 - Modelo M6.

Barra 6 – ENVOLTORIA (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-6,9553	-6,9526	-6,9499	-6,9473	-6,9446	-6,9419	-6,9392	-6,9366	-6,9339
N+	-4,1142	-4,1116	-4,1089	-4,1062	-4,1035	-4,1009	-4,0982	-4,0955	-4,0928
Ty-	-0,0549	-0,0549	-0,0549	-0,0549	-0,0549	-0,0549	-0,0549	-0,0549	-0,0549
Ty+	0,0435	0,0435	0,0435	0,0435	0,0435	0,0435	0,0435	0,0435	0,0435
Tz-	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001
Tz+	0,0138	0,0138	0,0138	0,0138	0,0138	0,0138	0,0138	0,0138	0,0138
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	-0,0026	-0,0025	-0,0025	-0,0032	-0,0080	-0,0128	-0,0175	-0,0223	-0,0271
My+	0,0118	0,0070	0,0022	-0,0017	-0,0017	-0,0018	-0,0018	-0,0019	-0,0019
Mz-	-0,1201	-0,1008	-0,0816	-0,0624	-0,0432	-0,0239	-0,0075	-0,0210	-0,0355
Mz+	0,0864	0,0711	0,0559	0,0407	0,0254	0,0102	-0,0019	0,0152	0,0337

Tabela 4.9 – Envoltórias da Barra 7 - Modelo M6.

Barra 7 – ENVOLTORIA (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-1,0709	-1,0700	-1,0691	-1,0681	-1,0672	-1,0663	-1,0654	-1,0645	-1,0636
N+	-0,8586	-0,8577	-0,8567	-0,8558	-0,8549	-0,8540	-0,8531	-0,8522	-0,8513
Ty-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ty+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 4.10 – Envoltórias da Barra 8 - Modelo M6.

Barra 8 – ENVOLTORIA (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-3,2481	-3,2476	-3,2470	-3,2465	-3,2459	-3,2454	-3,2448	-3,2443	-3,2437
N+	-1,6570	-1,6565	-1,6559	-1,6553	-1,6548	-1,6542	-1,6537	-1,6531	-1,6526
Ty-	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
Ty+	0,0026	0,0026	0,0026	0,0026	0,0026	0,0026	0,0026	0,0026	0,0026
Tz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz-	0,0018	0,0016	0,0013	0,0011	0,0009	0,0007	0,0004	0,0002	0,0000
Mz+	0,0033	0,0029	0,0025	0,0021	0,0017	0,0013	0,0008	0,0004	0,0000

Tabela 4.11 – Percentual de Aproveitamento das Barras Selecionadas no Modelo M6.

Barra	APR.(%)	POS.(m)	N(Tf)	Ty(Tf)	Tz(Tf)	Mt(Tf·m)	My(Tf·m)	Mz(Tf·m)
5	**58,34**	0,000	-1,8498	0,0009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0012
6	**92,50**	0,000	-6,9553	-0,0549	-0,0001	0,0000	-0,0026	-0,1201
7	**86,12**	0,000	-1,0436	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
8	**90,51**	0,000	-3,2099	0,0026	0,0000	0,0000	0,0000	0,0033

Na Tabela 4.12 tem-se, finalmente, a relação Peso de aço da estrutura / m² de área construída de cada modelo abordado.

Tabela 4.12 – Relação Peso da Estrutura por m² de Área Construída.

MODELO	Relação Peso/m² de área Construída
M4	**25,19 kg/m²**
M6	**22,50 kg/m²**

No anexo A encontram-se detalhes dos perfis componentes das estruturas, nas vistas correspondentes de cada modelo.

Capítulo 5

O SISTEMA CONSTRUTIVO II E SEUS MODELOS ESTRUTURAIS

5.1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão abordados o outro sistema construtivo e seus modelos estruturais. Os mesmos tipos de unidades habitacionais ou moradias, apresentadas no capítulo anterior foram utilizados.

Conforme já referido anteriormente (item 3.3.1, Capítulo 3), este novo sistema construtivo recebeu a denominação de **Sistema Construtivo II**.

Os modelos estruturais receberam aqui a denominação: M4A e M6A, obedecendo no entanto ao mesmo projeto arquitetônico proposto por Maior (1997).

Primeiramente, no item5.2 – A Idéia Básica do Sistema – serão feitas considerações sobre o conceito do Sistema Construtivo II, com apresentação sucinta dos materiais a serem aplicados tanto na estrutura como nos diversos fechamentos.

No item 5.3 – Modelo Estrutural – serão comentados e descritos os modelos estruturais M4A e M6A, com figuras ilustrativas.

No item 5.4 – Carregamento Atuante – serão feitas algumas considerações sobre o carregamento atuante e mostradas como exemplo figuras ilustrativas de um dado tipo de carregamento.

No item 5.5 – Resultados Encontrados – serão comentados detalhes sobre a execução dos modelos. Finalmente, ainda neste item, serão mostradas as tabelas de envoltória e tensão máxima para algumas barras das estruturas, e o resultado final obtido no dimensionamento, com apresentação de tabela de relação peso da estrutura por metro quadrado de construção.

5.2 - A IDÉIA BÁSICA DO SISTEMA CONSTRUTIVO

A idéia básica deste sistema consiste na adoção de uma estrutura metálica leve e esbelta, feita de perfis formados de chapa de aço dobrada a frio, com a utilização de alguns tipos de fechamentos de paredes e lajes, quais sejam: fechamentos de paredes em tijolos furados de barro e em blocos especiais de concreto celular autoclavado; e lajes maciças de concreto armado e lajes de painéis de concreto celular autoclavado.

Podem ser encontrados exemplos de experiências bem sucedidas com esse tipo sistema construtivo**.** Destacam-se programa de construção de habitações populares da COHAB/MG em Juiz de Fora, Santa Luzia e Nova Lima, onde se construíram moradias multifamiliares em prédios de 04 pavimentos com estruturas metálica (ver item 2.4.17. Capítulo 2), e em São Paulo, com o programa Habiteto, desenvolvidos pelo governo estadual.

Este sistema proposto também pode ser desenvolvido pelo processo de auto construção ou de mutirão, criando assim facilidades construtivas, para que a própria família possa erguer a sua casa, a partir da implantação da estrutura. Nesse caso, conforme informações da COHAB/MG, o custo das construções em mutirão pode chegar a cerca de até 50% do custo total da obra, comparando-se ao caso dela ser desenvolvida por empreitada global. (Rodrigues/PÓRTICO, 1997).

Exemplo do sistema construtivo utilizado pela COHAB/MG encontra-se no Capítulo 2 item 2.4.17.

5.3 – MODELO ESTRUTURAL

Os modelos M4A e M6A têm as suas estruturas conforme as representações isométricas apresentadas na Figura 5.1 (modelo M4A) e 5.2 (modeloM6A).

As estruturas são formadas por perfis metálicos de chapa de aço dobrada a frio, de seção tipo caixa (ver Figura 3.14C e capítulo 3), que compõem as colunas e vigas do sistema.

A estrutura do modelo M4A possui 103 barras e 54 nós, e a do modelo M6A possui 133 barras e 70 nós.

A estabilidade é conferida por pórticos no sentido transversal e por contraventamentos no sentido longitudinal. Conforme já citado no item 3.2.2.3 do capítulo 3, com a utilização de lajes de painéis de concreto celular autoclavado, a estabilidade horizontal é conferida por contraventamentos horizontais. Passam então a ter os modelos M4A e M6A, respectivamente, 127 barras e 60 nós, e 169 barras e 79 nós.

Na Figura 5.1 além do aspecto geral da estrutura do modelo M4 tem-se a posição das vistas (zx), (zx1), (zx2), (zx3) e (zx4) no sentido transversal e das vistas (zy), (zy1) e (zy2) no sentido longitudinal.

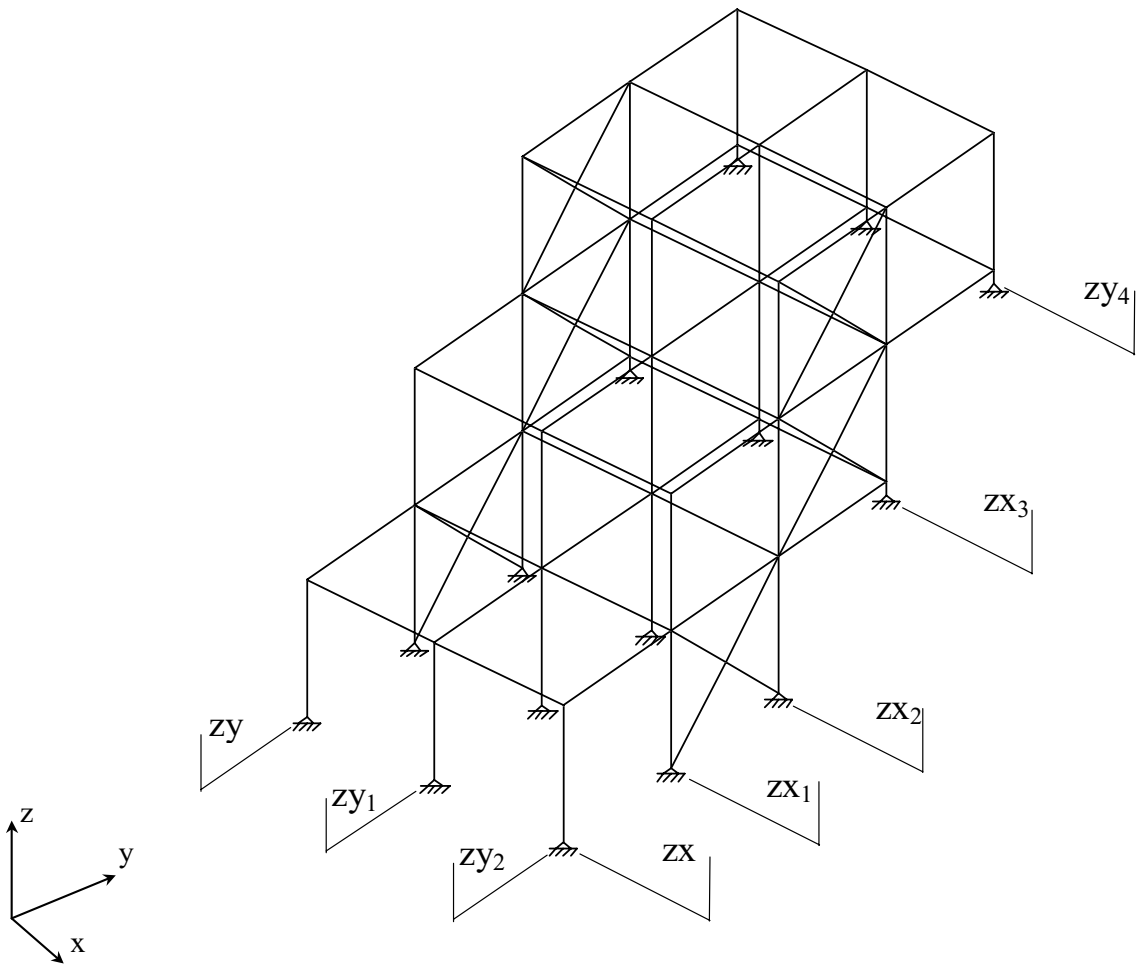


Figura 5.1 – Esquema da Estrutura do Modelo M4A (vista isométrica) com a Localização das Vistas de Detalhes.

No modelo M6A da Figura 5.2 destacam-se as vistas (zx), (zx1), (zx2), (zx3) e (zx4) no sentido transversal, e (zy), (zy1), (zy2) e (zy3) no sentido longitudinal.

Por terem ambos os modelos menor número de elementos do que os modelos M4 e M6, já vistos no capítulo anterior, não se faz necessário aqui destacar as suas vistas que podem ser observadas no Anexo B com os detalhes da estrutura já em sua fase final cálculo.

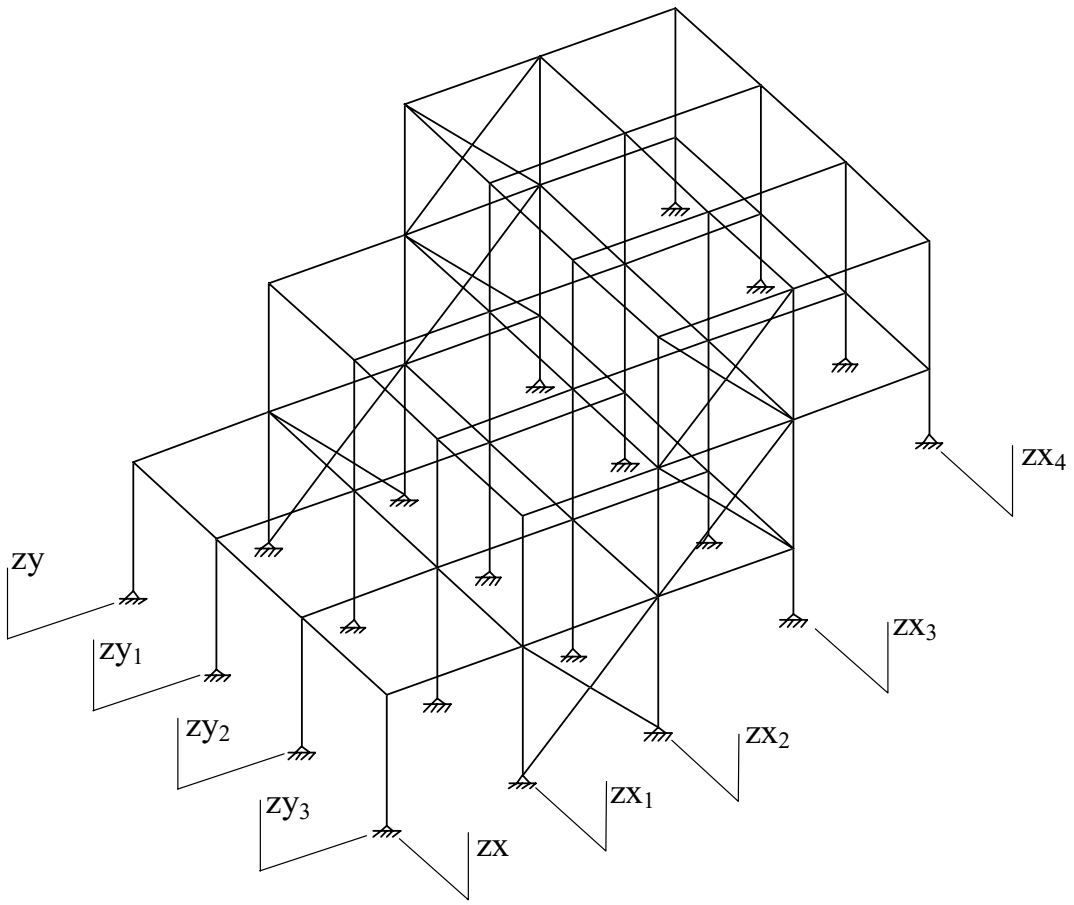


Figura 5.2 – Esquema da Estrutura do Modelo M6A (Vista Isométrica) com a Localização das Vistas de Detalhes.

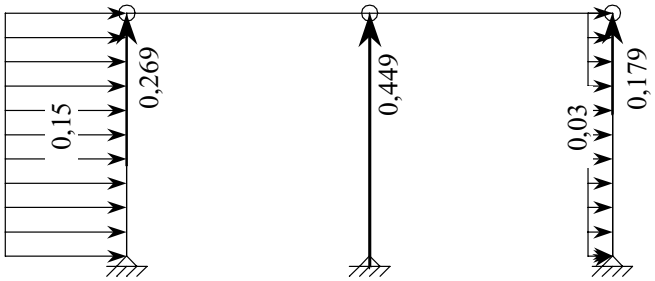
5.4 – CARGAS ATUANTES

Os valores das cargas atuantes para estes dois modelos apresentados são basicamente os mesmos dos atuantes nos modelos M4 e M6 tratados no Capítulo anterior. Contudo a sua aplicação na estrutura (para alguns tipos de carregamentos obviamente) é diferente, devido à características próprias, principalmente quando se trata das ações do vento atuante.

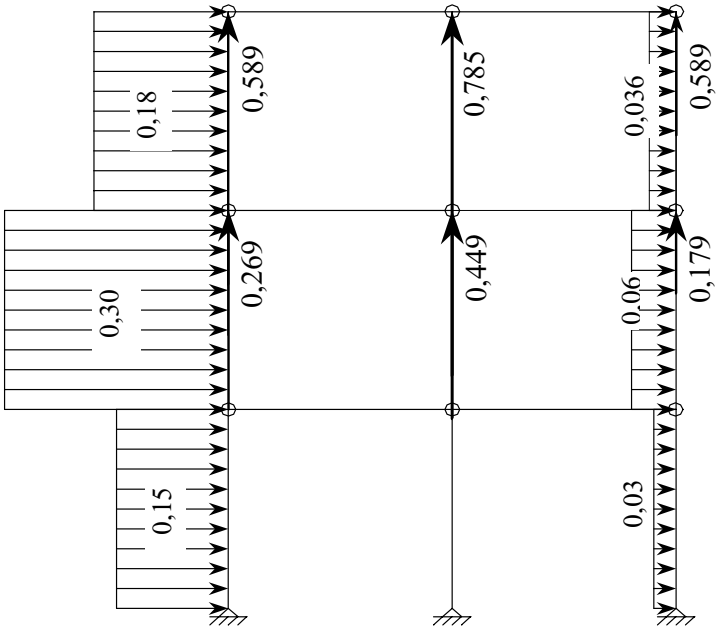
Nos modelos M4 e M6 todas as cargas aplicadas — permanentes, acidentais e ações do vento — além de serem transmitidas às vigas e aos pilares, são também transmitidas aos

montantes internos às paredes (pilaretes), que são espaçados entre si de 0,60 m. Neste Sistema, não havendo os montantes, todo o carregamento é transmitido às vigas e colunas.

Assim, a título de ilustração, nas figuras apresentadas a seguir podem ser observados esquemas da ação do vento para o modelo estrutural M4A (NBR 6123, 1988). Considerou-se o vento atuante na direção **α = 90º**. Nas Figuras 5.3A e B observa-se a ação do vento na estrutura segundo as vistas zx e zx2 (transversais), e na Figura 5.4 segundo a vista zy1 (longitudinal).



A) – Vista zx.



B) – Vista zx2.

Figura 5.3A e B – Esquema da Ação do Vento Segundo a Vista zx2. Unidades: Tf/m; Tf.

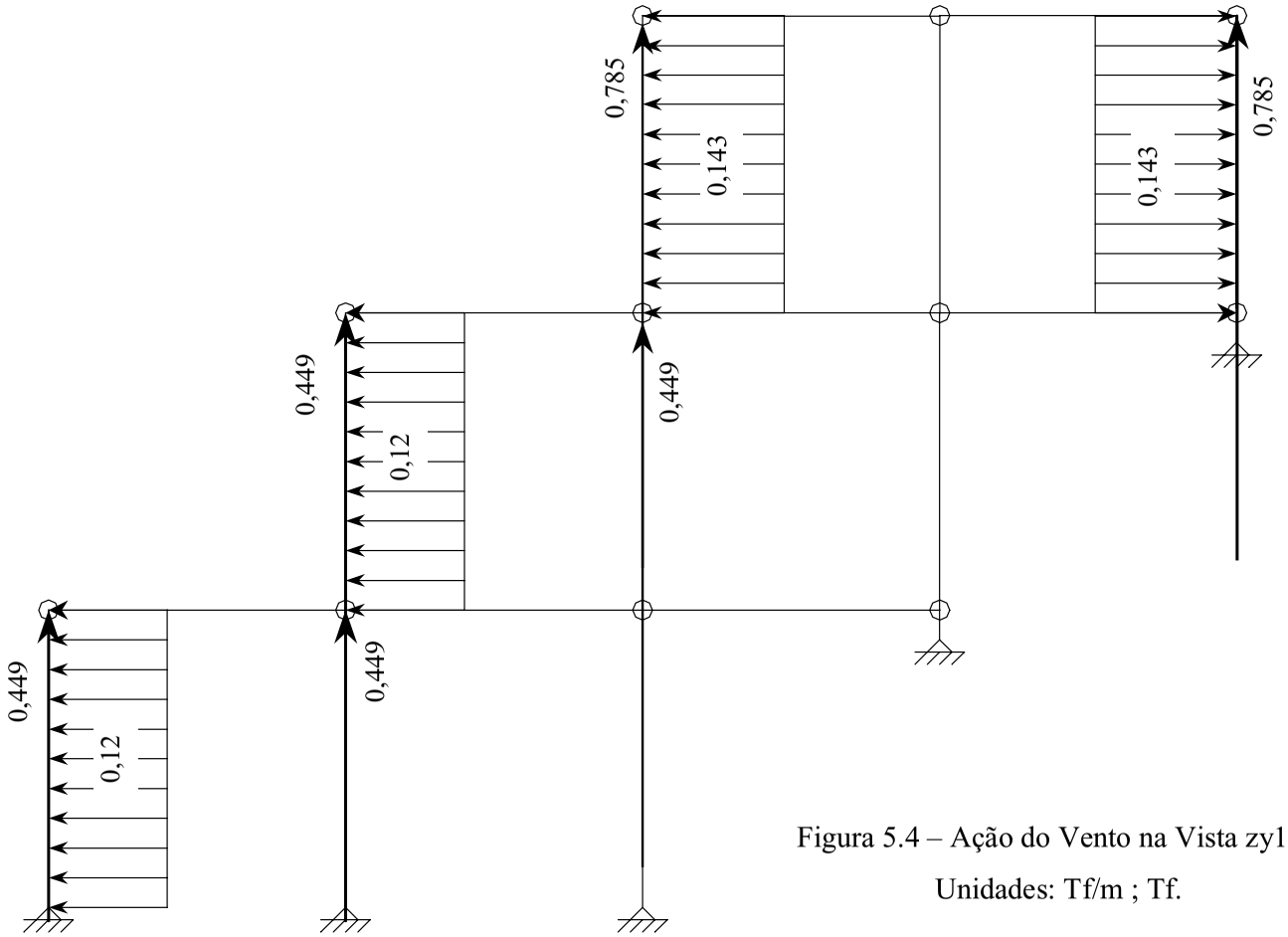


Figura 5.4 – Ação do Vento na Vista zy1.

Unidades: Tf/m ; Tf.

5.5 – RESULTADOS ENCONTRADOS

Com a utilização do programa de computação Cypecad (Multiplus, 1998) neste trabalho, a elaboração dos modelos estruturais abordados tornou-se uma tarefa simples de ser executada. Isto porque, possuem os modelos em questão, formas e geometrias também muito simples, além de um número de elementos e de nós bem menor do que os dos modelos M4 e M6 vistos anteriormente.

Também a título de exemplo, foram escolhidas algumas barras de cada modelo construtivo aqui tratado, das quais se apresentam a seguir, tabelas com os valores das respectivas envoltórias, e dos percentuais de aproveitamento relativos às tensões máximas a que estão submetidas. Assim, nas vistas zx1, zx2 e zy1 do Anexo C relativas ao modelo M4A, estão destacadas as barras 1, 2 e 3 das quais se tem, as tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 das envoltórias e a Tabela 5.4 relativa ao percentual de aproveitamento acima referido. Nas vistas zx2, zx3 e zy1 do Anexo D relativas ao modelo M6A, estão destacadas as barras 4, 5 e 6, das quais também se tem as tabelas de envoltórias, respectivamente tabelas 5.5, 5.6 e 5.7, e a de tensão máxima, que é a Tabela 5.8.

Tabela 5.1 – Envoltórias da Barra 1 - Modelo M4A.

Barra 1 – ENVOLTÓRIAS (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-10,2603	-10,2559	-10,2515	-10,2471	-10,2427	-10,2383	-10,2339	-10,2295	-10,2251
N+	-7,6447	-7,6403	-7,6358	-7,6314	-7,6270	-7,6226	-7,6182	-7,6138	-7,6094
Ty-	-0,0412	-0,0412	-0,0412	-0,0412	-0,0412	-0,0412	-0,0412	-0,0412	-0,0412
Ty+	0,0444	0,0444	0,0444	0,0444	0,0444	0,0444	0,0444	0,0444	0,0444
Tz-	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
Tz+	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	-0,0014	-0,0028	-0,0042	-0,0057	-0,0071	-0,0085	-0,0099	-0,0113
My+	0,0000	-0,0004	-0,0008	-0,0013	-0,0017	-0,0021	-0,0025	-0,0029	-0,0033
Mz-	0,0000	-0,0167	-0,0333	-0,0500	-0,0666	-0,0833	-0,0999	-0,1166	-0,1332
Mz+	0,0000	0,0155	0,0309	0,0464	0,0618	0,0773	0,0927	0,1082	0,1236

Tabela 5.2 – Envoltórias da Barra 2 - Modelo M4A.

Barra 2 – ENVOLTÓRIAS (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-19,6834	-19,6764	-19,6694	-19,6624	-19,6553	-19,6483	-19,6413	-19,6343	-19,6273
N+	-14,8663	-14,8593	-14,8523	-14,8453	-14,8383	-14,8313	-14,8243	-14,8173	-14,8103
Ty-	-0,0114	-0,0114	-0,0114	-0,0114	-0,0114	-0,0114	-0,0114	-0,0114	-0,0114
Ty+	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180
Tz-	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023
Tz+	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	-0,0020	-0,0041	-0,0061	-0,0082	-0,0102	-0,0122	-0,0143	-0,0163
My+	0,0000	-0,0009	-0,0017	-0,0026	-0,0034	-0,0043	-0,0052	-0,0060	-0,0069
Mz-	0,0000	-0,0068	-0,0135	-0,0203	-0,0270	-0,0338	-0,0405	-0,0473	-0,0540
Mz+	0,0000	0,0043	0,0086	0,0129	0,0172	0,0215	0,0258	0,0301	0,0343

Tabela 5.3 – Envoltórias da Barra 3 - Modelo M4A.

Barra 3 – ENVOLTÓRIAS (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
N+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ty-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ty+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz-	-2,3847	-1,7885	-1,1923	-0,5962	0,0000	0,4769	0,9538	1,4307	1,9077
Tz+	-1,9077	-1,4308	-0,9538	-0,4769	0,0000	0,5962	1,1923	1,7885	2,3847
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	0,6224	1,0731	1,3378	1,4308	1,3378	1,0731	0,6224	0,0000
My+	0,0000	0,7780	1,3414	1,6722	1,7885	1,6722	1,3414	0,7780	0,0000
Mz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 5.4 – Percentual de Aproveitamento das Barras Selecionadas no Modelo M4A.

Barra		APR.(%)	POS.(m)	N(Tf)	Ty(Tf)	Tz(Tf)	Mt(Tf·m)	My(Tf·m)	Mz(Tf·m)
1		**74.61**	3.000	-10.2251	0.0021	0.0011	0.0000	-0.0033	-0.0064
2		**90.82**	3.000	-19.6273	0.0056	0.0026	0.0000	-0.0078	-0.0169
3		**95.48**	1.500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.7885	0.0000

Tabela 5.5 – Envoltórias da Barra 4 - Modelo M6A.

Barra 4 – ENVOLTÓRIAS (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-18,7554	-18,7452	-18,7351	-18,7249	-18,7148	-18,7046	-18,6945	-18,6843	-18,6742
N+	-14,1787	-14,1686	-14,1584	-14,1483	-14,1381	-14,1280	-14,1178	-14,1077	-14,0975
Ty-	-0,0334	-0,0334	-0,0334	-0,0334	-0,0334	-0,0334	-0,0334	-0,0334	-0,0334
Ty+	0,0045	0,0045	0,0045	0,0045	0,0045	0,0045	0,0045	0,0045	0,0045
Tz-	-0,7159	-0,7159	-0,7159	-0,7159	-0,7159	-0,7159	-0,7159	-0,7159	-0,7159
Tz+	-0,0173	-0,0173	-0,0173	-0,0173	-0,0173	-0,0173	-0,0173	-0,0173	-0,0173
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	0,0065	0,0130	0,0195	0,0259	0,0324	0,0389	0,0454	0,0519
My+	0,0000	0,2685	0,5369	0,8054	1,0739	1,3423	1,6108	1,8793	2,1478
Mz-	0,0000	-0,0017	-0,0034	-0,0051	-0,0068	-0,0085	-0,0102	-0,0119	-0,0136
Mz+	0,0000	0,0125	0,0251	0,0376	0,0502	0,0627	0,0753	0,0878	0,1003

Tabela 5.6 – Envoltórias da Barra 5 - Modelo M6A.

Barra 5 – ENVOLTÓRIAS (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-12,1009	-12,0950	-12,0890	-12,0831	-12,0772	-12,0713	-12,0654	-12,0595	-12,0535
N+	-9,8510	-9,8451	-9,8391	-9,8332	-9,8273	-9,8214	-9,8155	-9,8096	-9,8036
Ty-	-0,0694	-0,0694	-0,0694	-0,0694	-0,0694	-0,0694	-0,0694	-0,0694	-0,0694
Ty+	0,0632	0,0632	0,0632	0,0632	0,0632	0,0632	0,0632	0,0632	0,0632
Tz-	-0,5754	-0,5754	-0,5754	-0,5754	-0,5754	-0,5754	-0,5754	-0,5754	-0,5754
Tz+	-0,0140	-0,0140	-0,0140	-0,0140	-0,0140	-0,0140	-0,0140	-0,0140	-0,0140
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	-0,8380	-0,6222	-0,4064	-0,1907	0,0068	0,0121	0,0174	0,0226	0,0279
My+	-0,0142	-0,0089	-0,0037	0,0048	0,0251	0,2408	0,4566	0,6724	0,8881
Mz-	-0,1407	-0,1147	-0,0887	-0,0626	-0,0366	-0,0106	-0,0183	-0,0420	-0,0657
Mz+	0,1244	0,1021	0,0839	0,0657	0,0475	0,0293	0,0160	0,0421	0,0681

Tabela 5.7 – Envoltórias da Barra 6 - Modelo M6A.

Barra 6 – ENVOLTÓRIAS (Aço Dobrado) Tf; Tf.m									
	0L	**1/8L**	**1/4L**	**3/8L**	**1/2L**	**5/8L**	**3/4L**	**7/8L**	**1L**
N-	-0,5320	-0,5320	-0,5320	-0,5320	-0,5320	-0,5320	-0,5320	-0,5320	-0,5320
N+	0,4822	0,4822	0,4822	0,4822	0,4822	0,4822	0,4822	0,4822	0,4822
Ty-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ty+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tz-	-2,3352	-1,7514	-1,1676	-0,5838	0,0000	0,4687	0,9373	1,4060	1,8747
Tz+	-1,8747	-1,4060	-0,9373	-0,4687	0,0000	0,5838	1,1676	1,7514	2,3352
Mt-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mt+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
My-	0,0000	0,6116	1,0545	1,3146	1,4060	1,3146	1,0545	0,6116	0,0000
My+	0,0000	0,7618	1,3135	1,6375	1,7514	1,6375	1,3135	0,7619	0,0000
Mz-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mz+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 5.8 – Percentual de Aproveitamento das Barras Selecionadas no Modelo M6A.

Barra		APR.(%)	POS.(m)	N(Tf)	Ty(Tf)	Tz(Tf)	Mt(Tf·m)	My(Tf·m)	Mz(Tf·m)
4		**92.41**	3.000	-17.4308	-0.0333	-0.7159	0.0000	2.1478	0.0999
5		**88.26**	0.000	-12.1009	0.0486	-0.5754	0.0000	-0.8380	0.1198
6		**93.53**	1.500	-0.0064	0.0000	0.0000	0.0000	1.7514	0.0000

Na Tabela 5.9 tem-se, finalmente, a relação peso de aço da estrutura / m² de área construída de cada modelo abordado.

Tabela 5.9 – Relação Peso da Estrutura por m² de Área Construída.

MODELO	**Relação Peso/m² de área Construída**
M4A	**21,04 kg/m²**
M6A	**20,35 kg/m²**

Capítulo 6

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

6.1 – INTRODUÇÃO

Neste Capítulo será feito um estudo da viabilidade econômica para a implantação das habitações populares dos sistemas construtivos apresentados nos capítulos 3 e 5.

Primeiramente, no item 6.2 – Custo das Unidades Habitacionais no Sistema Construtivo I – é abordado o custo dos modelos M4 e M6, considerando variações de elementos construtivos, onde se apresenta uma tabela de composição de custos.

De forma análoga, no item 6.3 – Custo das Unidades Habitacionais no Sistema Construtivo II – é levantado o custo dos modelos M4A e M6A. Finalmente, no item 6.4 – Conclusões – são feitas algumas comparações entre os sistemas construtivos propostos e alguns já realizados, com considerações sobre a implantação e tempo de execução.

6.2 – CUSTO DAS UNIDADES HABITACIONAIS – SISTEMA CONSTRUTIVO I

As unidades habitacionais M4 e M6, de acordo com o Sistema Construtivo I, têm seus custos apresentados na Tabela 6.1. A composição destes custos foi realizada através de pesquisa de mercado — no caso das estruturas metálicas, dos painéis de lajes, das chapas de gesso acartonado e chapas especiais para paredes externas utilizadas nos fechamentos — e por consulta a publicações especializadas nos diversos itens.

Para alguns itens foi adotado um valor global para custo dos serviços, como no caso das instalações hidráulicas e elétricas.

Na Tabela 6.1 constam valores menores (A) e maiores (B) obtidos para a construção, levando-se em conta adoção de variação dos elementos construtivos. O valores menores foram determinados utilizando-se lajes de concreto armado moldado “in locu” (1) e telhas metálicas (4). Os valores maiores foram determinados com a adoção de lajes de painéis de concreto celular autoclavado (2) e também telhas metálicas (4).

Tabela 6.1 – Custo para a Unidade Habitacional M4 e M6 (Valores em Reais).

Etapa		**M4**	**M6**
Canteiro de Obras		50,66	50,66
Mov. de Terra e Locação		413,10	486,90
Fundações		1.037,85	1.383,90
Estrutura		3.431,87	4.579,05
Paredes Tipo Dry Wall	Internas	3.420,00	4.476,00
	Externa	5.184,00	6.480,00
	Molháveis	2.160,00	1.984,00
Lajes Concreto	Armado	2.622,00 (1)	3.475,00 (1)
	Autoclavado	3.793,00 (2)	5.690,00 (2)
Cobertura / Telhas	de Barro	1.986,00 (3)	2.622,24 (3)
	Metálicas	1.094,40 (4)	1.639,44 (4)
Revestimento	Interno (azulejos)	280,00	320,00
	Externo	—	—
Pisos		874,00	1.311,55
Instalação Hidráulica		521,41	632,85
Instalação Elétrica		400,10	492,20
Esquadrias		1.143,00	1.642,00
Pintura		1.296,00	1.620,00
Preço Total do Modelo		**23.648,39** (A) / **25.099,39** (B)	**30.573,55** (A) / **31.149,11** (B)
Preço por m²		**218,96** (A) / **232,40** (B)	**188,72** (A) / **192,27** (B)

6.3 – CUSTO DAS UNIDADES HABITACIONAIS – SISTEMA CONSTRUTIVO II

O mesmo procedimento foi adotado para o cálculo do custo das unidades M4A e M6A, que fazem parte do sistema construtivo 2. Na Tabela 6.2 encontra-se a composição destes custos.

Tabela 6.2 – Custo para a Unidade Habitacional M4A e M6A (Valores em Reais).

Etapa		**M4A**	**M6A**
Canteiro de Obras		50,66	50,66
Movimento de Terra e Locação		513,10	586,90
Fundações		1.037,85	1.383,90
Estrutura		2.397,45	3.458,53
Paredes Tipo	Tijolos Furados	3.118,50 (1)	3.742,20 (1)
	Concreto Celular *	4.036,50 (2)	4.874,85 (2)
Lajes de Concreto	Armado	2.622,00 (3)	3.475,00 (3)
	Autoclavado *	3.793,60 (4)	5.690,00 (4)
Cobertura / Telhas	de Barro	1.986,00 (5)	2.622,24 (5)
	Metálicas *	1.094,40 (6)	1.639,44 (6)
Revestimento	Interno (azulejo)	280,00	320,00
	Reboco	1.230,00	2.362,00
Pisos		874,00	1.311,55
Instalação Hidráulica		521,41	632,85
Instalação Elétrica		400,10	492,20
Esquadrias		1.143,00	1.642,00
Pintura		1.296,00	1.620,00
Preço Total o Modelo		**16.758,47** (A) / **18.668,07** (B)	**22.717,23** (A) / **26.064,88** (B)
Preço por m²		**153,50** (A) / **172,85** (B)	**140,22** (A) / **160,89** (B)

No caso da Tabela 6.2, o preço menor (A) também foi determinado adotando-se lajes de concreto armado moldado "in locu"(3) como no sistema anterior, paredes de tijolos cerâmicos de 08 furos (1), e telhas metálicas. O preço maior (B) foi determinado adotando-se lajes de painéis (4) e paredes (2) de blocos de concreto celular autoclavado e telhas metálicas.

6.4 – CONCLUSÕES SOBRE OS CUSTOS

O custo médio para a construção dos modelos M4 e M6 é de R$189,10/m² e R$173,97/m², respectivamente, e para os modelos M4A e M6A tal custo é também da ordem de R$163,17 / m² e R$150,55 / m², respectivamente.

Comparando-se com os resultados obtidos por Maior (1997) que para os mesmos modelos construtivos determinou um custo médio de R$269,78/m², considerando o custo de implantação de 29 unidades habitacionais (em construção em larga escala os preços tendem a diminuir), pode-se concluir que o custo encontrado neste trabalho, seja para os modelos M4, M4A, M6 e M6A, está bastante aquém do valor por ele determinado.

Pode-se afirmar que, com relação ao Sistema Construtivo I — tipo Dry wall — o valor aqui determinado é cerca de 27% menor, e com relação ao Sistema Construtivo II — Estrutura de Perfis Leves de Chapa Dobrada — este valor chega à ordem de 60% a menos.

Em seu trabalho, Maior (1997) determinou, para efeito de comparação, os custos das mesmas construções, para implantação de 29 unidades habitacionais executadas em alvenaria estrutural e em estrutura de concreto armado. Chegou-se aos seguintes valores: R$242,00/m² para alvenaria estrutural e R$243,28/m² para estrutura em concreto armado. Nesses casos, o Sistema Construtivo I tem o custo cerca de 30% e o Sistema Construtivo II cerca de 50% a menos que aqueles encontrados em Maior (1997).

O custo de ambos os sistemas construtivos aqui estudados é equivalente à maioria dos sistemas construtivos citados do Capítulo 2 item 2.4. O sistema construtivo da CSN – Casa Modular CSN (item 2.16 do Capítulo 2) – tem seu custo em torno de R$260,00/m² (CSN, 1998) sendo portanto cerca de 35% maior que o do Sistema Construtivo I. O Sistema da COHAB/MG (item 2.17 do Capítulo 2) apresenta um custo da ordem de R$159,14 (USIMINAS, 1998) compatível portanto com o custo determinado neste trabalho para os modelos M4A e M6A.

Este fato se deve principalmente pela adoção de um sistema estrutural leve, o que nos leva a concluir a viabilidade da estrutura metálica em quase todos os tipos de construção, e como aqui está demonstrado, principalmente na construção de habitações populares em encostas.

Os valores determinados para os custos foram calculados para uma unidade habitacional de cada modelo, tendo cada unidade respectivamente 108,00m² e 162,00m² de área construída. Acredita-se que na implantação na implantação de 27 unidades habitacionais, num total de 3.726m² de área de construção, possa se conseguir uma diferença em torno de 10% do valor total.

A título de comparação, na Tabela 6.3 são apresentados alguns valores de sistemas construtivos atuais.

Tabela 6.3 – Valores de Alguns Sistemas Construtivos.

Sistema Construtivo		**Preço da Unidade Habitacional (R$)**	**Preço/m² (R$)**
Sistema Construtivo I	Mod. M4	25.260,82 *	224,62 *
	Mod. M6	30.723,17 *	189,64 *
Sistema Construtivo II	Mod M4A	17.713,27 *	164,01 *
	Mod M6A	24.391,05 *	150,55 *
Casa Popular CSN (CSN, 1998)			260,00
Sistema COHAB MG. (USIMINAS, 1998)		13.000,00	159,14
Proposição de Maior (1997)			384,66

Obs.: 1) – (*) → Preço médio entre o maior e o menor valor do orçamento.

2) – Os valores dos modelos M4A e M6A são evidentemente aproximados. O valor do Sistema COHAB MG foi obtido de uma implantação específica no município de Santa Luzia, e portanto, com suas especificidades próprias. Contudo observa-se que os valores são bastante próximos podendo ser considerados na média, praticamente iguais.

3) – Equivalência entre o Dólar Americano e o Real na data da cotação dos preços: U$1,00 = R$1,20

Capítulo 7

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1 – INTRODUÇÃO

Neste trabalho foi estudado a utilização de perfis leves de chapas de aço dobrada a frio, em estruturas para moradias populares em encostas propostas por Maior (1997). Tem também como objetivo o uso da construção industrializada em habitações para famílias de baixa renda, sendo portanto mais uma proposta de incentivo a este tipo de construção, em um país com problemas de déficit habitacional tão grande como o Brasil.

Experiências bem sucedidas com o uso deste tipo de estrutura, como a da COHAB MG (Rodrigues/Pórtico, 1997) e da Casa Modular CSN (CSN, 1998), demonstram a viabilidade das soluções apresentadas.

As soluções propostas visaram a redução do peso da estrutura aplicada por Maior (1997) em seu trabalho, com a conseqüente diminuição do custo da obra. O objetivo foi alcançado através de dois sistemas construtivos apresentados, quais sejam:

Sistema Construtivo I (caracterizado no Capítulo 3) – em que se propõe a utilização do sistema construtivo tipo "Dry Wall", mas executado de tal maneira que, na construção das paredes, sejam atribuídos aos seus componentes internos (perfis metálicos) uma função estrutural. As paredes externas tem seus fechamentos com chapas especiais, e as internas de gesso acartonado.

Este sistema apresenta todas as vantagens de qualquer sistema de construção industrializada, aliado às grandes vantagens provenientes do uso de estruturas metálicas. Sendo um sistema do tipo "Dry Wall", a rapidez da montagem dos elementos das paredes, a esse sistema pode ser equiparada, qual seja: aproximadamente 20 m² de parede/homem por dia.

Demonstra-se a sua viabilidade pelo seu baixo preço / m² de construção no Capítulo 6 item 6.2; em média de R$200,00 / m².

Como principal desvantagem, pode-se citar a não existência no Brasil, de fabricantes das chapas utilizadas para paredes externas. Hoje, estas embora tenham um preço acessível, em virtude de serem importadas têm seus custos sujeitos, entre outras coisas, às incertezas das variações cambiais. Contudo, conforme citado anteriormente, já existem esforços e trabalhos no país no sentido da fabricação deste tipo de chapa.

Este sistema requer também o emprego de mão de obra mais especializada. Isto contudo, deve ser caracterizado como uma vantagem, traduzindo esta qualificação em desenvolvimento da industria e benefício para o operário através de sua qualificação.

Sistema Construtivo II (caracterizado no Capítulo 5) – em que se propõe uma estrutura em perfis de aço fabricada de chapas de aço dobradas a frio, combinada com alguns tipos de fechamentos.

A grande vantagem deste tipo de sistema se traduz na flexibilidade que permite quanto ao uso dos mais diversos tipos de materiais de fechamentos, que se traduz na combinação de elementos como, por exemplo: paredes de tijolos de barro, blocos ou painéis de concreto celular autoclavado, lajes de concreto armado moldadas "in loco", lajes pré fabricadas de concreto celular autoclavado, lajes Steel Deck, cobertura com telhas metálicas ou de barro etc. É portanto adaptável às mais diversas condições oferecidas no local a ser implantado. O seu baixo custo determinado no item 6.3 comprova a sua viabilidade.

O programa utilizado — Cypecad, versão Metálica 3D (Multiplus, 1998) — pode ser considerado adequado para a finalidade do trabalho. Problemas iniciais encontrados no início do trabalho foram resolvidos com a aquisição de uma atualização da versão usada. Houve necessidade de se criar uma biblioteca de perfis compatível com perfis existentes no mercado.

Algumas considerações sobre a utilização destes perfis em estruturas metálicas em um modo mais amplo são comentadas a seguir.

Tornar as estruturas mais econômicas através da redução de seu peso e do consumo de materiais, sem contudo, diminuir a sua segurança e durabilidade, tem sido o principal objetivo da engenharia estrutural. Isto pode ser alcançado usando-se novos materiais e métodos de cálculo, racionalizando-se o uso dos materiais já existentes e, ultimamente, usando-se as ferramentas gráficas e numéricas desenvolvidas a partir do uso de computadores. Isto tem levado a estruturas cada vez mais leves e, consequentemente, a elementos estruturais mais esbeltos. Paralelamente, engenheiros e pesquisadores têm sido chamados a projetar e estudar estruturas em escala e com grau de complexidade cada vez maiores.

Cabe aqui ressaltar que, a medida que o elemento estrutural se torna mais esbelto, a não-linearidade geométrica se torna cada vez mais importante, e dá origem a vários fenômenos, que não são encontrados em sistemas lineares. Estes fenômenos incluem a existência de múltiplas configurações de equilíbrio (estáveis e instáveis) e de pontos de máximo e mínimo ao longo do caminho não linear de equilíbrio (pontos limite) onde a estrutura pode exibir saltos dinâmicos. A presença da não linearidade exige o desenvolvimento de técnicas de calculo cada vez mais sofisticadas e um conhecimento cada vez mais profundo do comportamento estrutural.

Diversos elementos estruturais esbeltos, tais como colunas, cascas, vigas, placas e arcos dentre outros, quando submetidos a certos tipos de carregamentos, estão sujeitos ao fenômeno de flambagem, quer através de bifurcação, quer através da existência de pontos limite ao longo do caminho não linear de equilíbrio. Problemas de instabilidade ocorrem em geral, de forma repentina, e, por esta razão, muitas das falhas de instabilidade estrutural são espetaculares e bastante perigosas (Gonçalves, 1994).

7.2 – SUGESTÕES

A seguir são apresentadas algumas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Construção do modelo proposto do Sistema Construtivo I, em função das facilidades que se apresentam para tal, quais sejam: obtenção das chapas de fechamento das paredes (Lafarge Gypsum) e perfis metálicos (USIMINAS). Tal modelo seria

construído no Campus da UFOP, com a finalidade de se verificar experimentalmente a sua construção e analisar o seu desempenho como sistema construtivo;

- Estudo e determinação de perfis metálicos próprios para o Sistema Construtivo I, com verificação da viabilidade de uso de perfis com espessuras menores;
- Análise de Segunda ordem no Sistema Construtivo I e II em função da esbeltez dos perfis metálicos utilizados.
- Estudo de ligações parafusadas para este tipo de estrutura.
- Estudo da utilização de vigas mistas nestas estruturas.
- Estudo destes sistemas construtivos utilizando-se outros tipos de painéis de fechamentos e outro tipos de pisos.

ANEXO A

Vistas do Modelo M4

Legenda dos Perfis

① - Perfil Caixa – C100x100x17x1,5

② - Perfil Caixa – C100x100x17x2.2

③ - Perfil Caixa – C127x100x17x2.0

④ - Perfil Caixa – C127x100x17x3.3

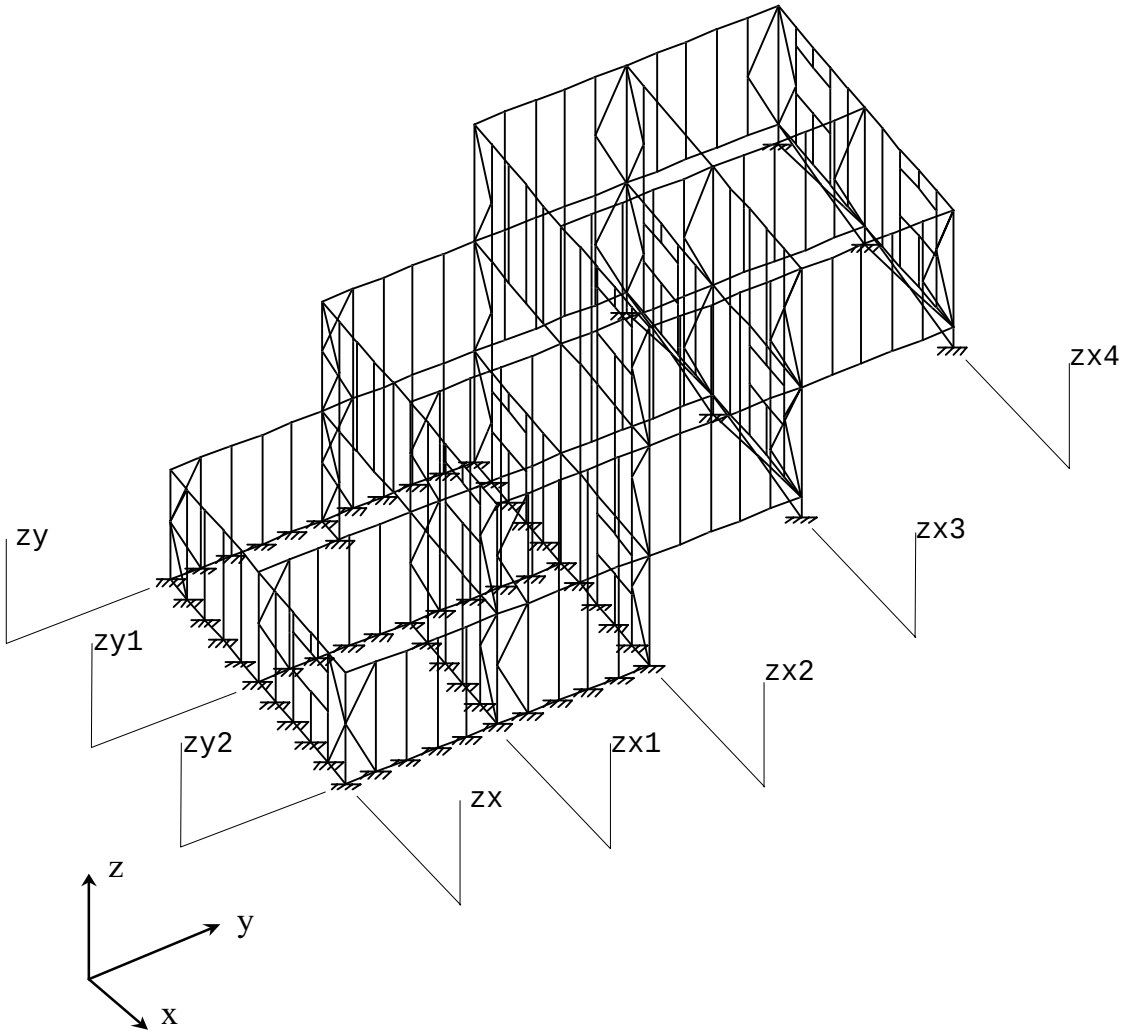
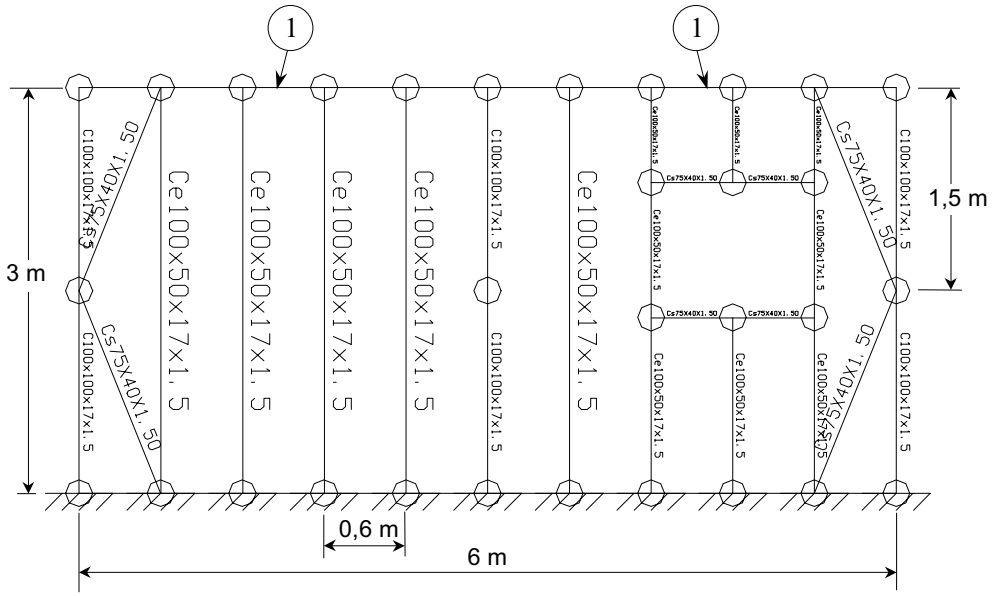
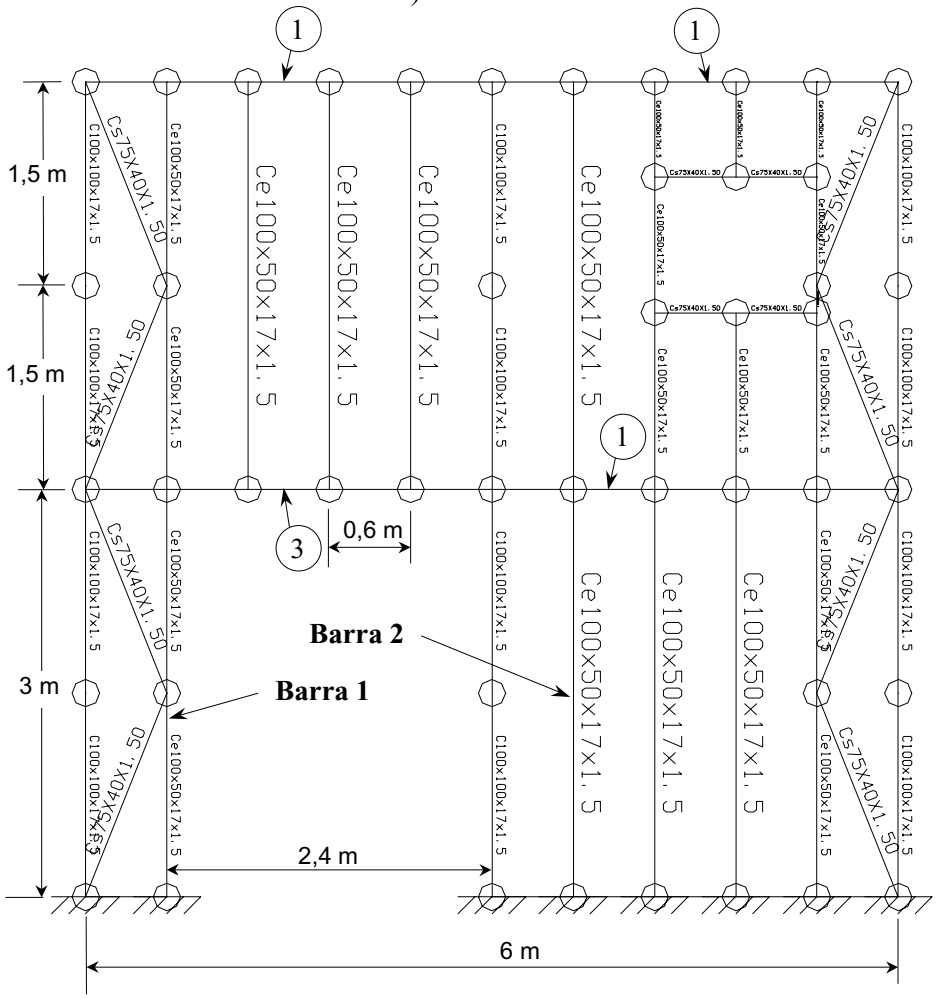


Figura A.1 – Vista Isométrica.



A) Vista zx.



B) Vista zx1.

Figura A.2A e B – Vistas zx e zx1

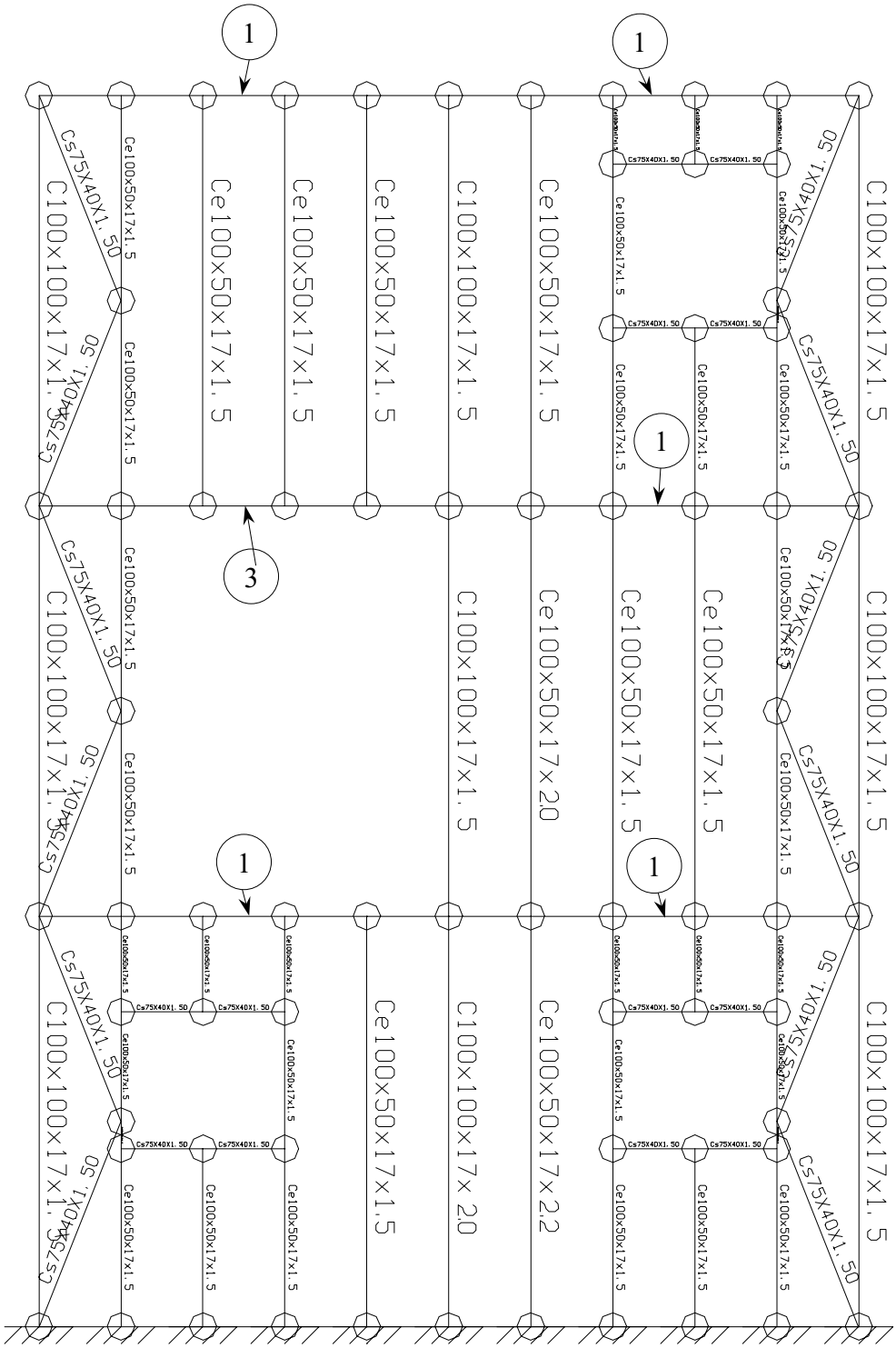


Figura A.3 – Vista zx2.

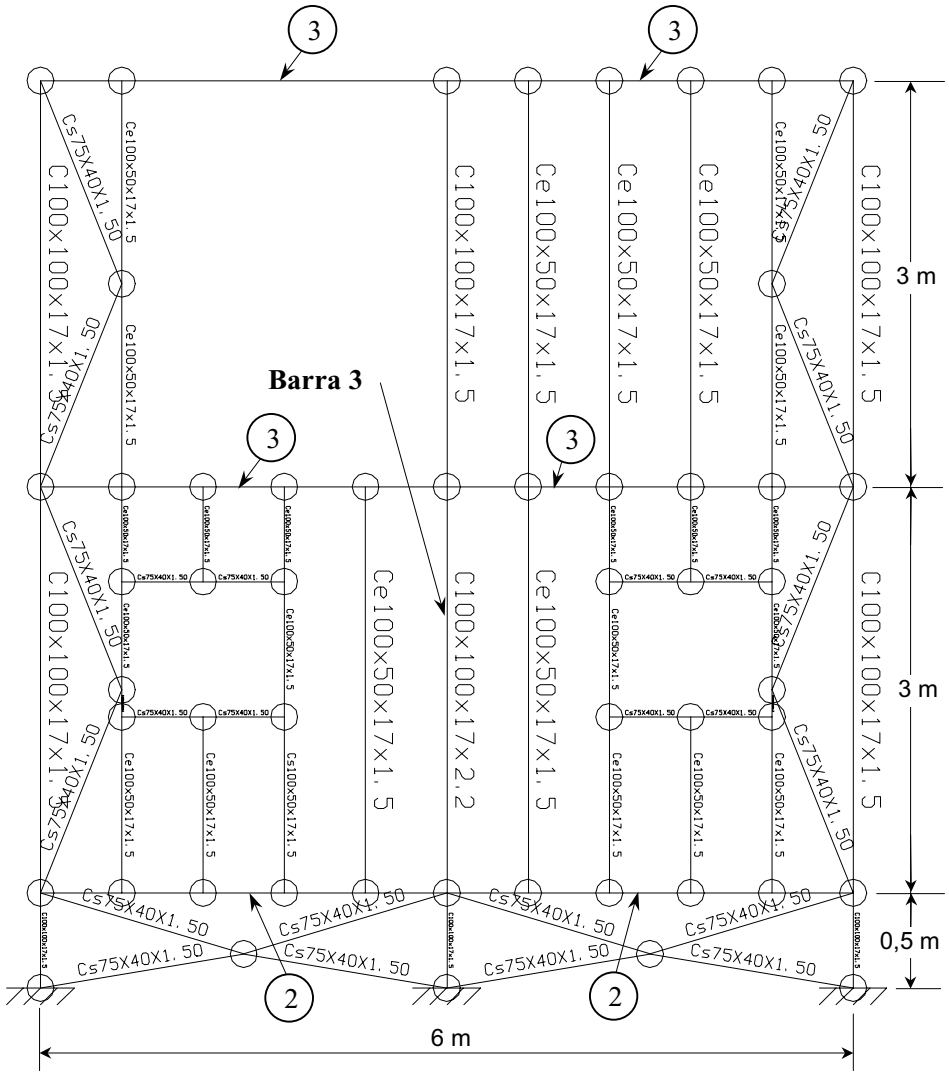


Figura A.4 – Vista zx3.

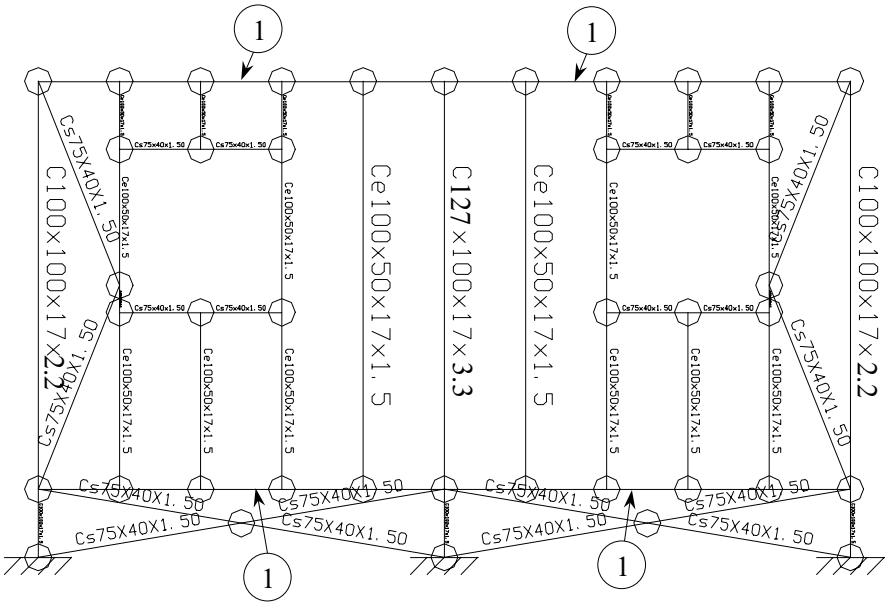


Figura A.5 – Vista zx4.

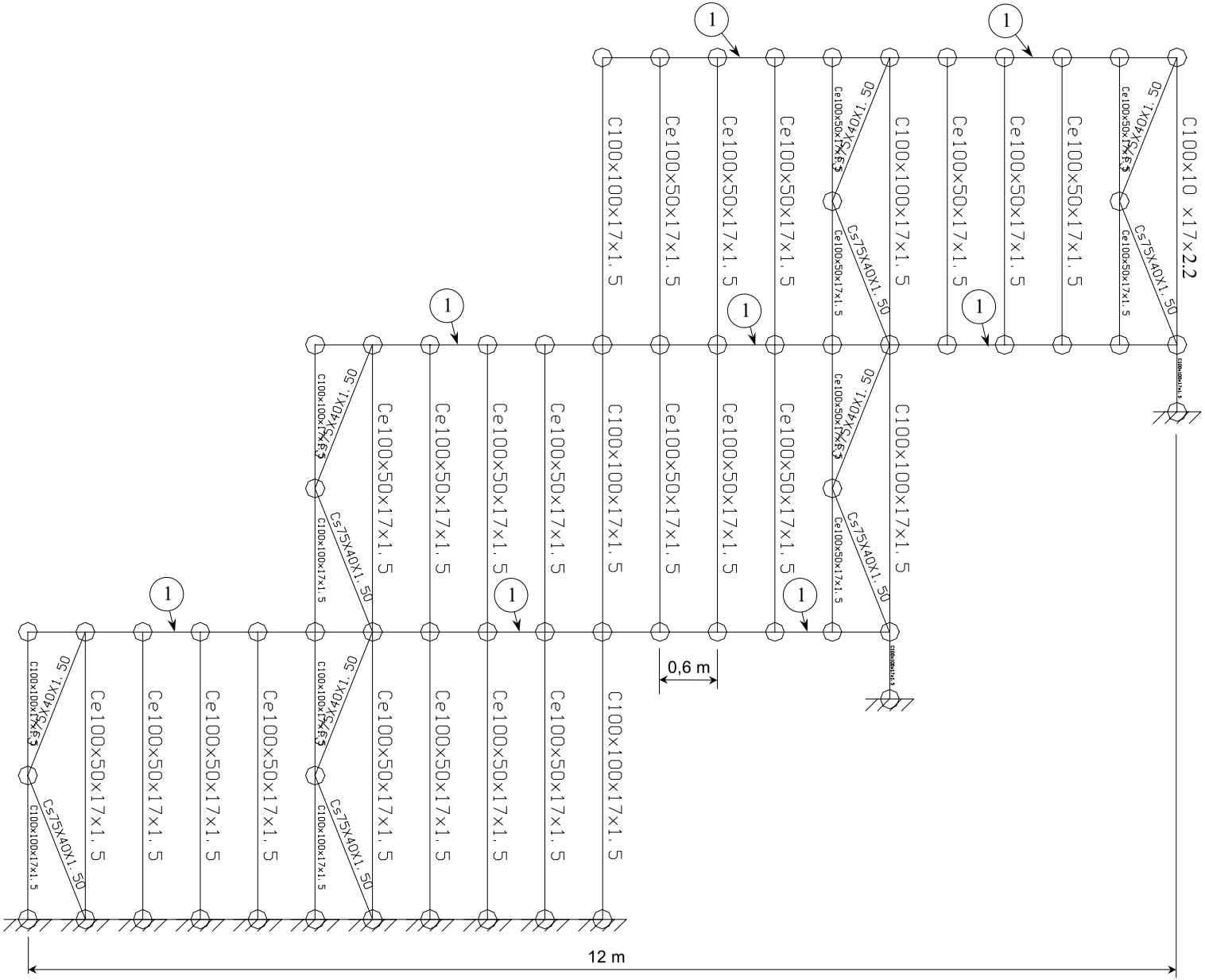


Figura A.6 – Vista zy e zy2.

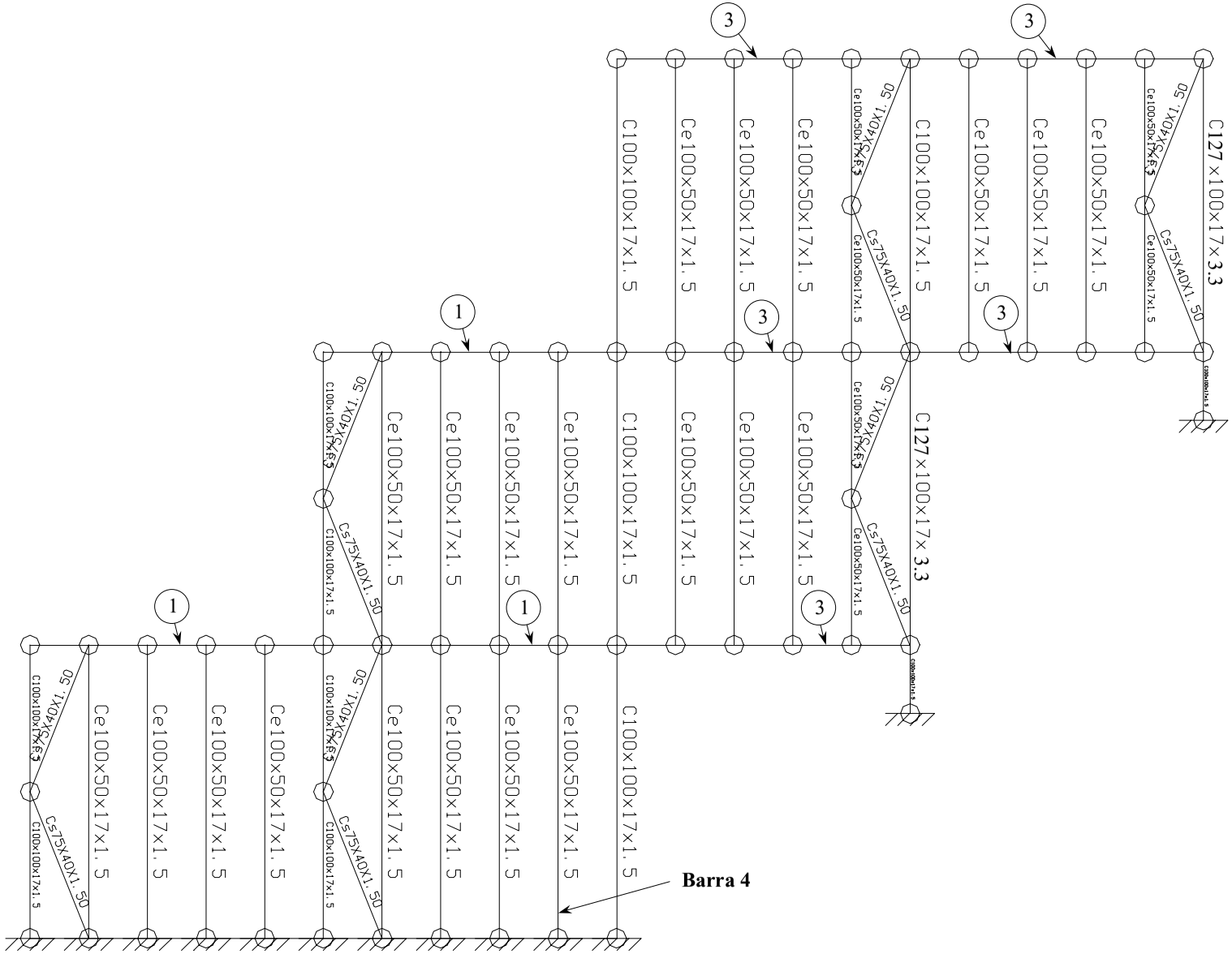


Figura A.7 – Vista zy1.

ANEXO B

Vistas do Modelo M6

Legenda dos Perfis

① - Perfil Caixa – C100x100x17x1,5

② - Perfil Caixa – C100x100x17x2.2

③ - Perfil Caixa – C127x100x17x2,0

④ - Perfil Caixa – C127x100x17x3,3

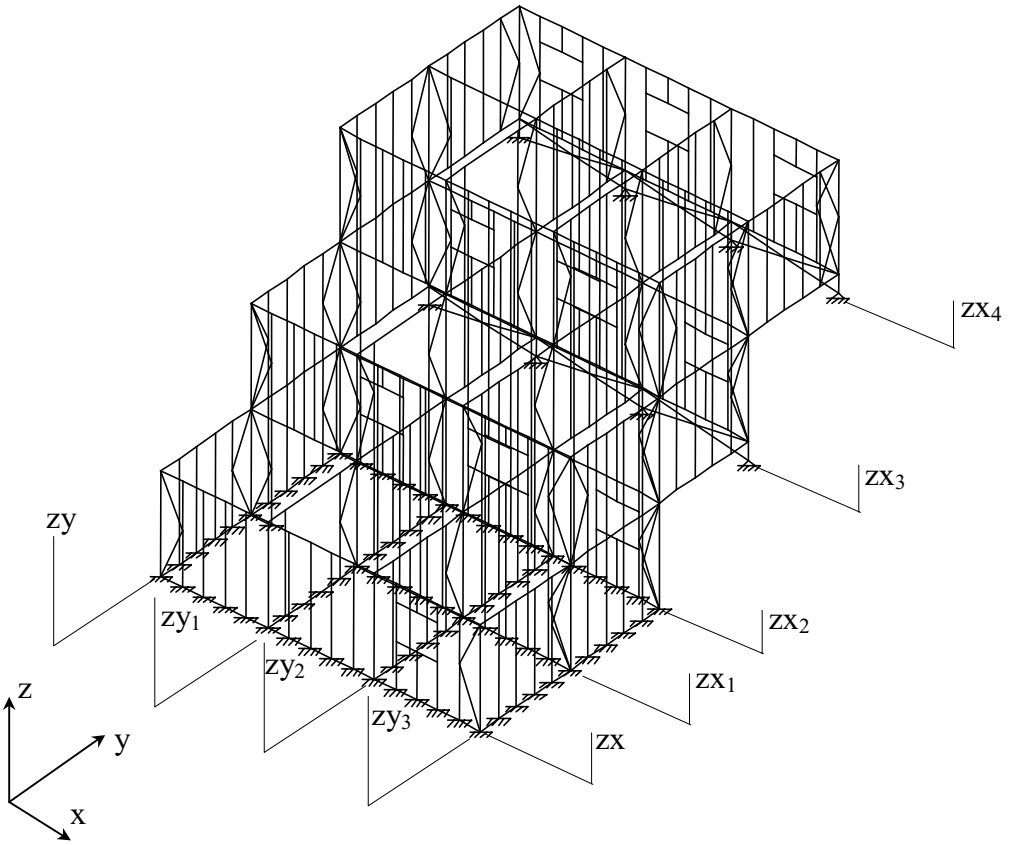
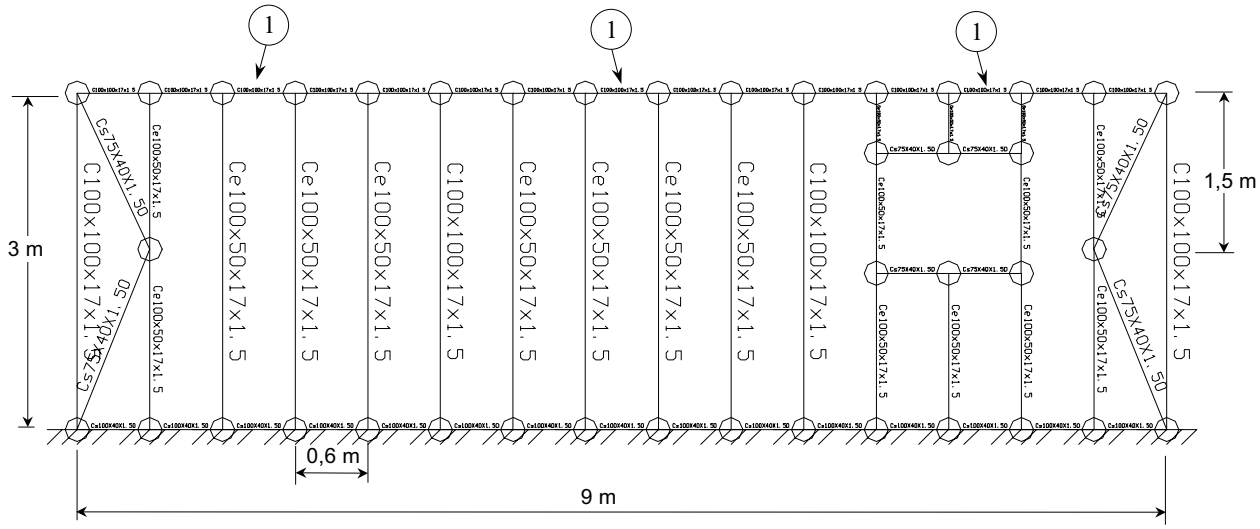
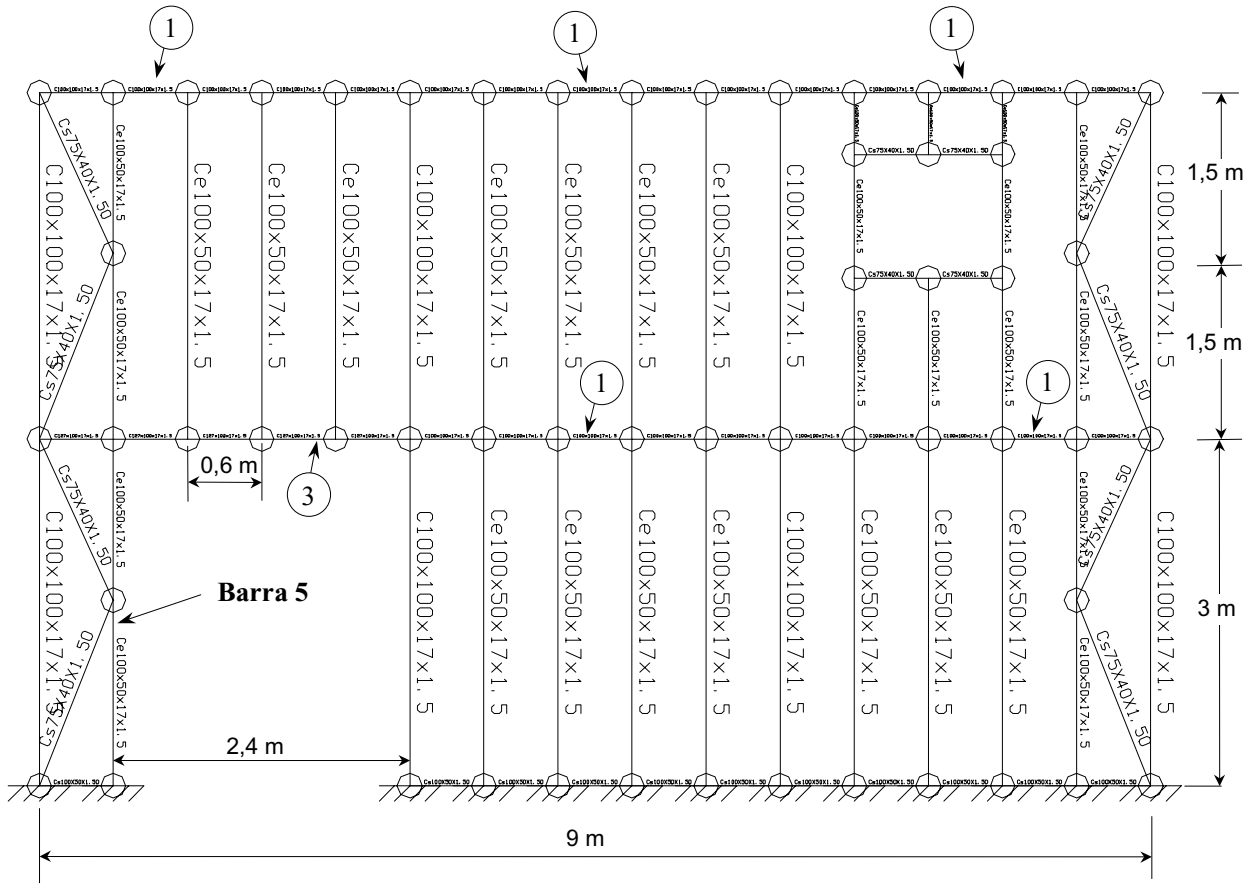


Figura B.1 – Vista Isométrica.



A) Vista zx.



B) Vista zx1.

Figura B.2A e B – Vistas zx e zx1

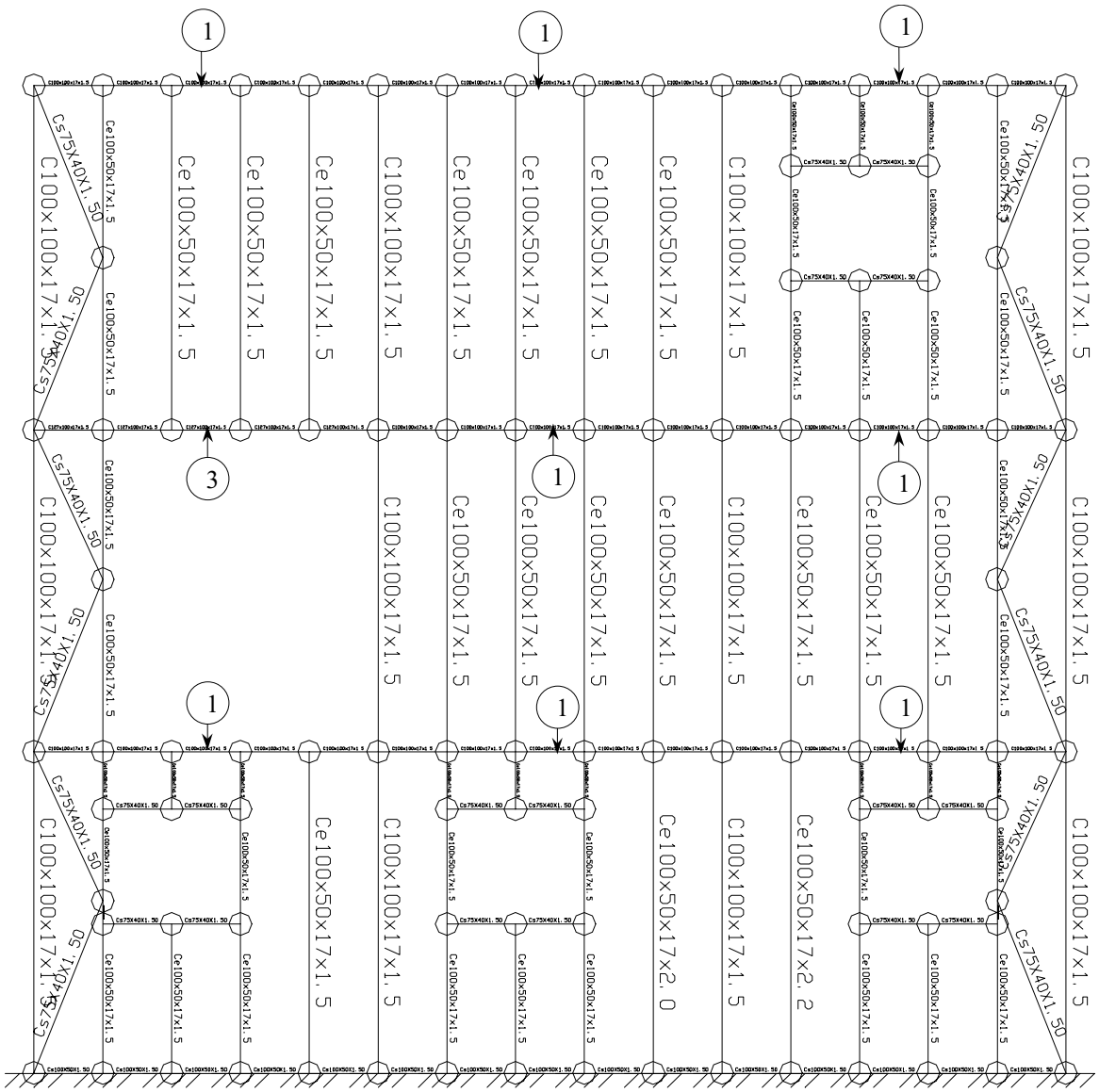
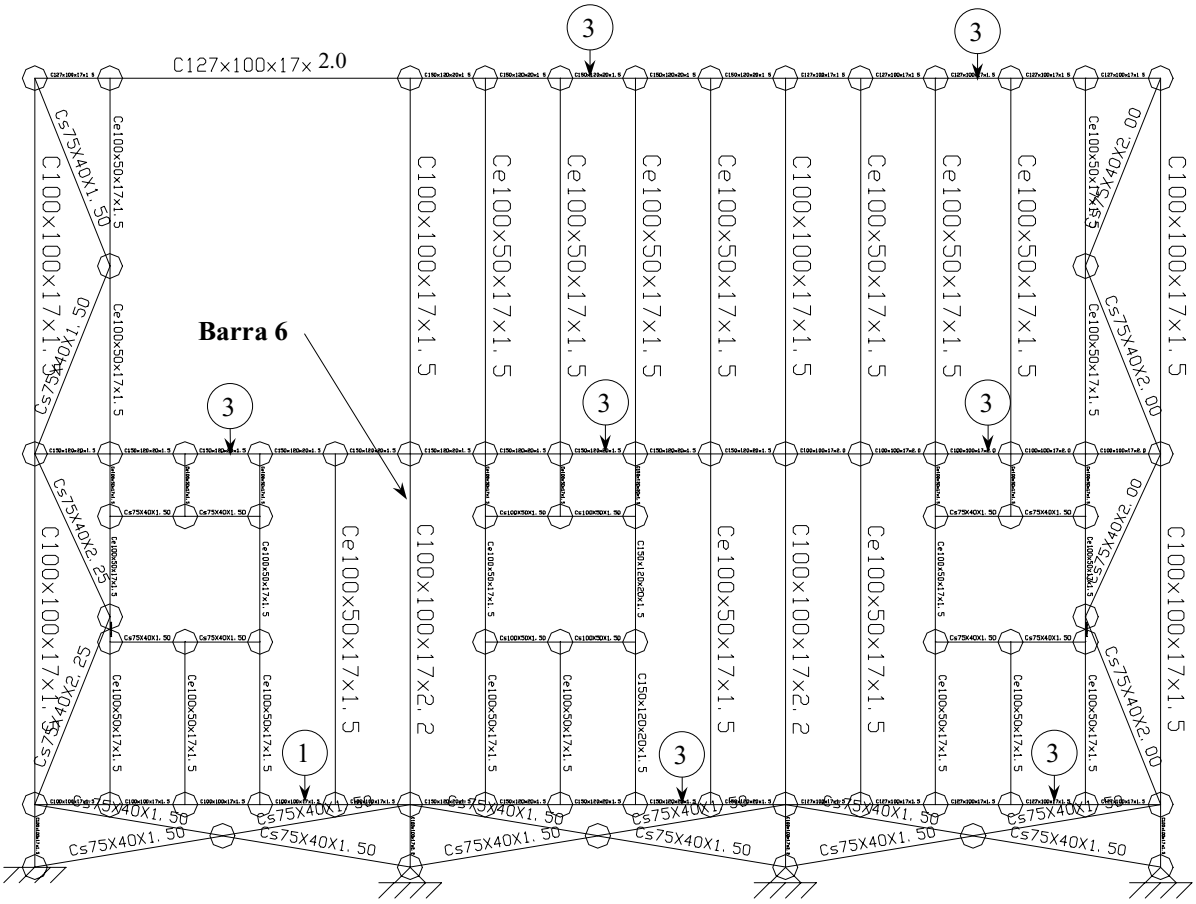
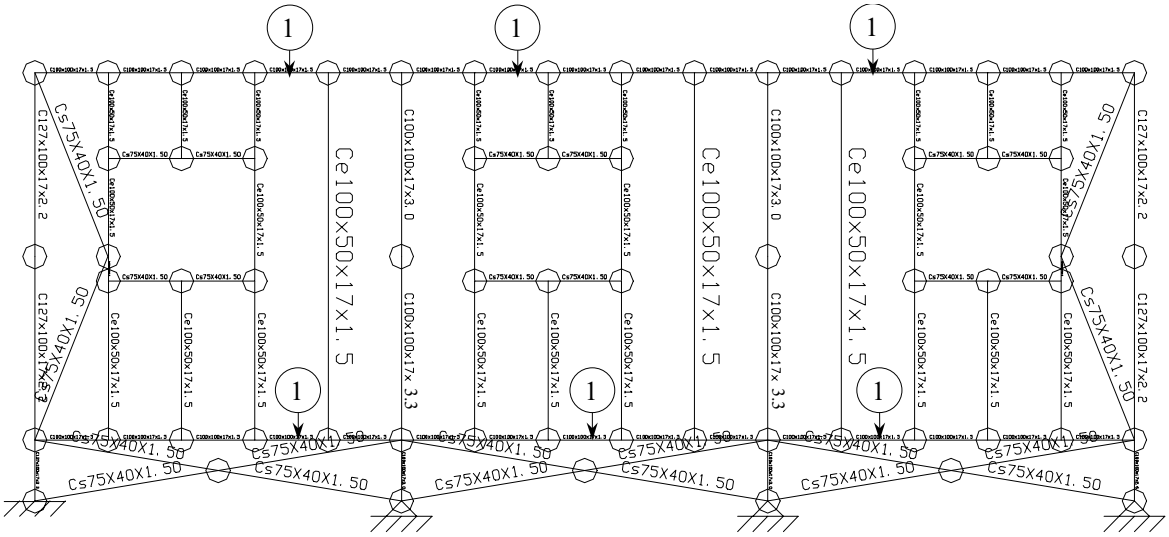


Figura B.3 – Vista zx2.



A) Vista zx3.



B) Vista zx4.

Figura B.4A e B – Vista zx3 e zx4

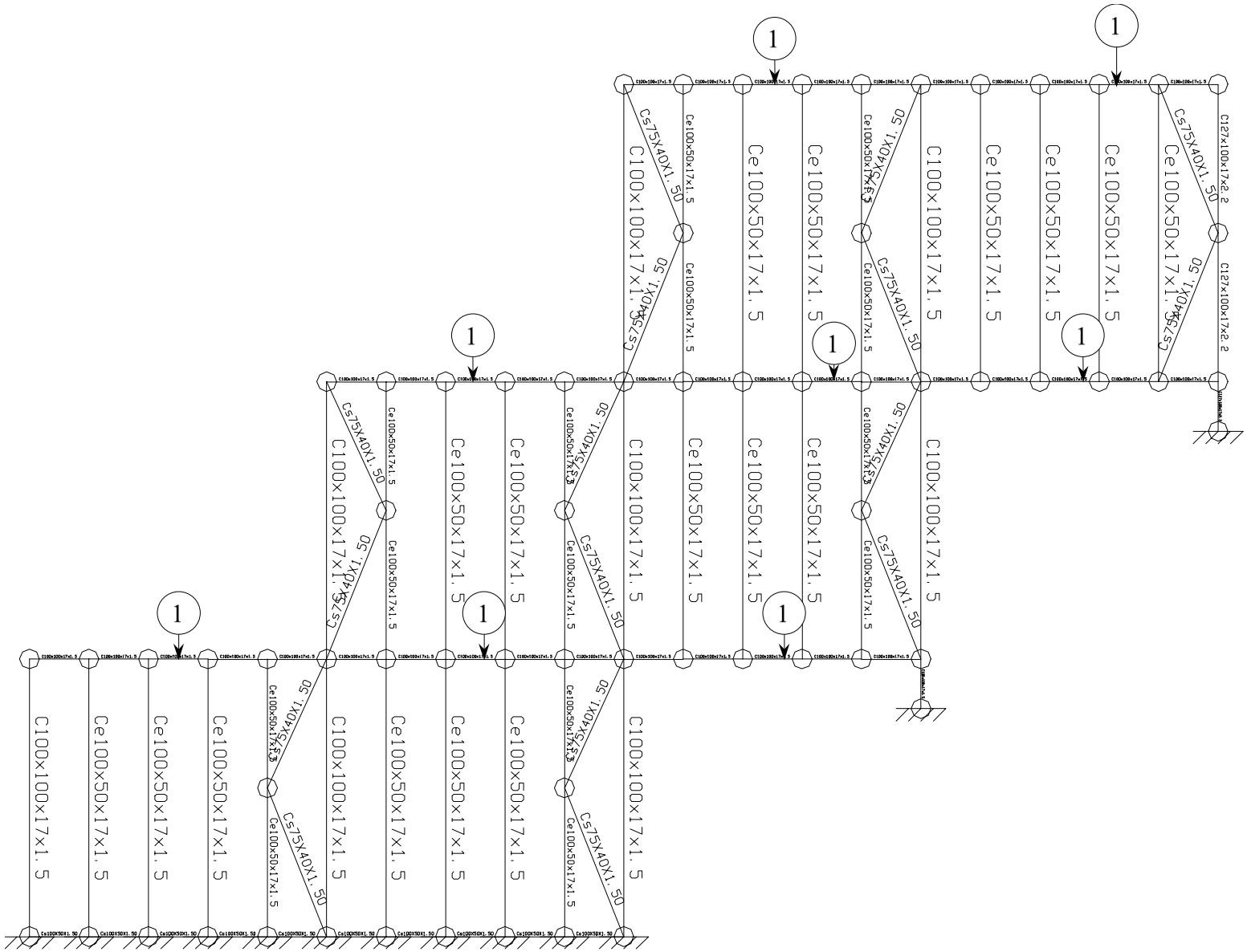


Figura B.5 – Vista zy e zy3.

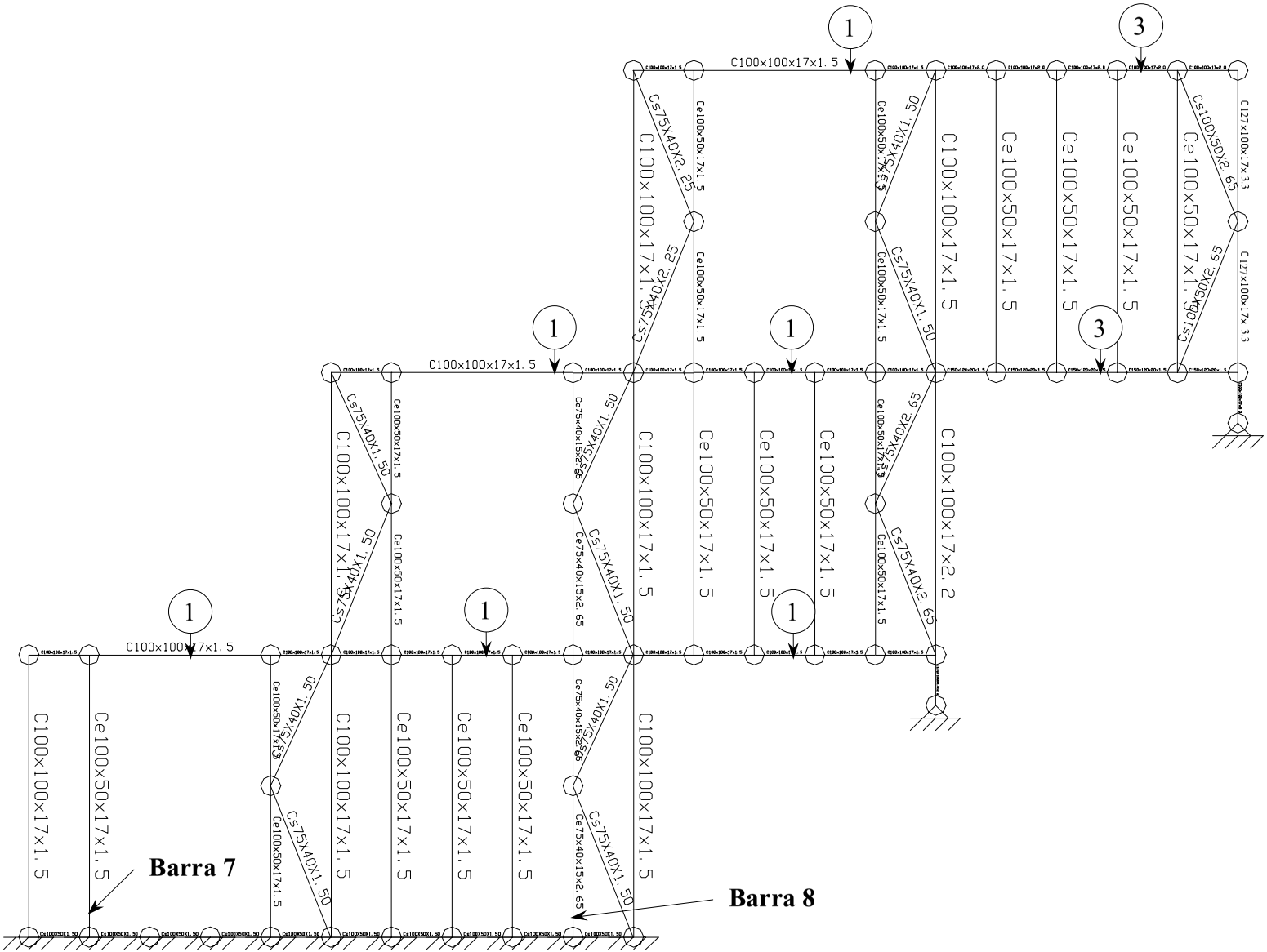


Figura B.6 – Vista zy1.

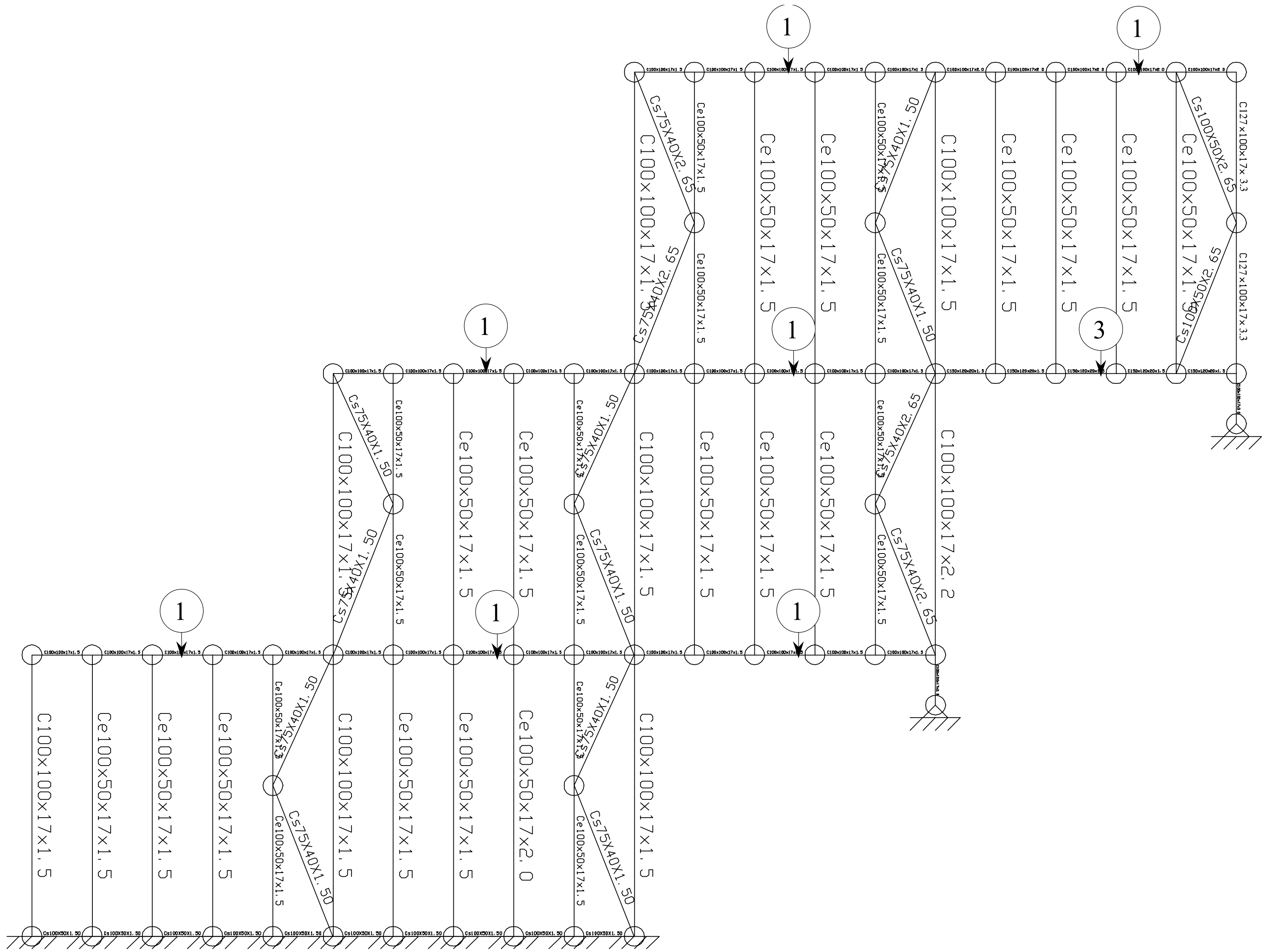


Figura B.7 – Vista zy2.

ANEXO C

Vistas do Modelo M4A

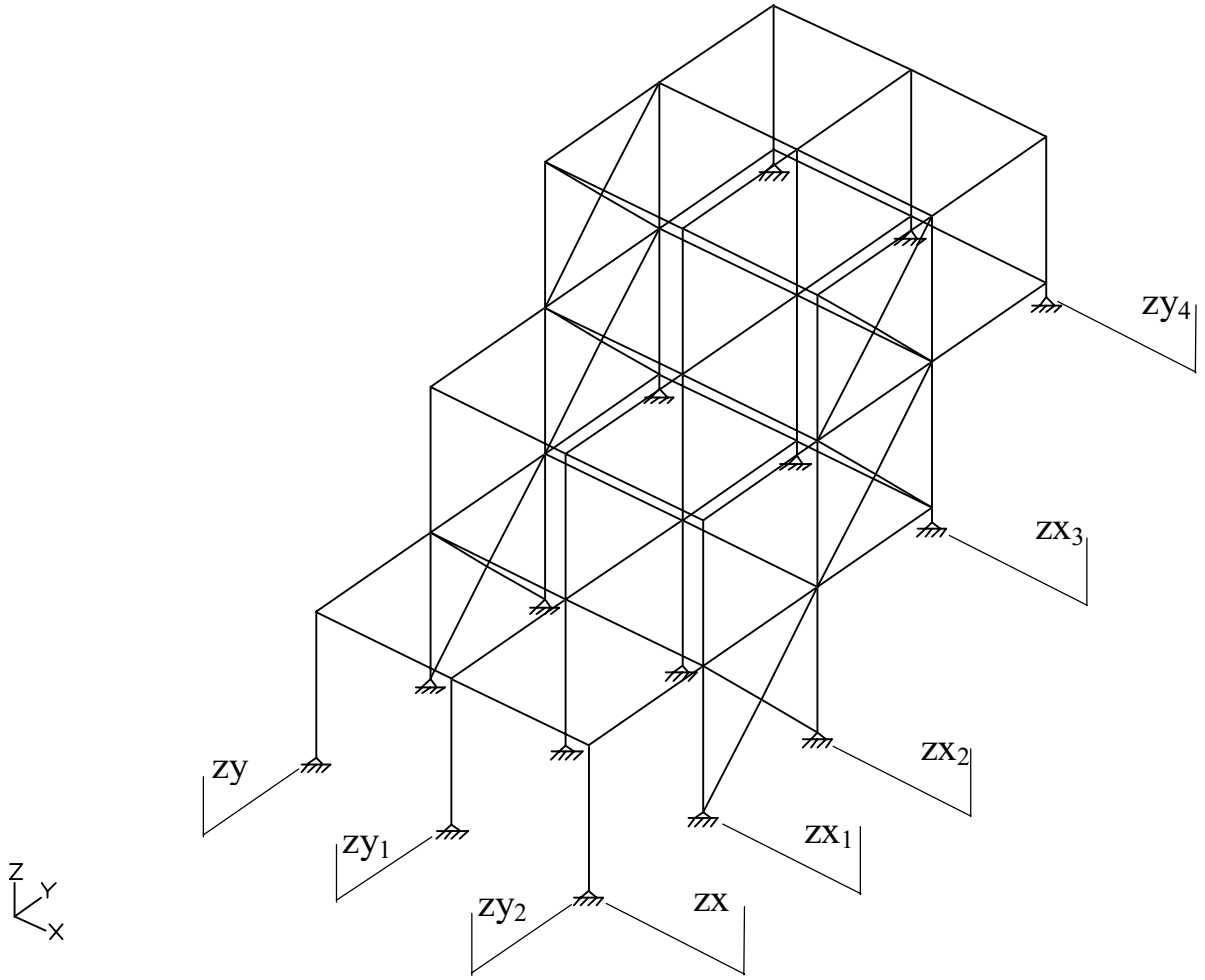
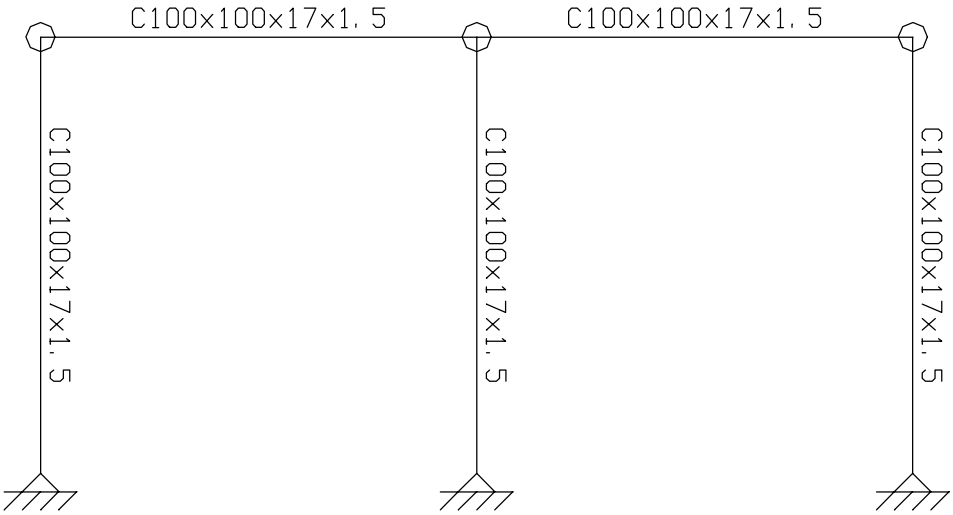
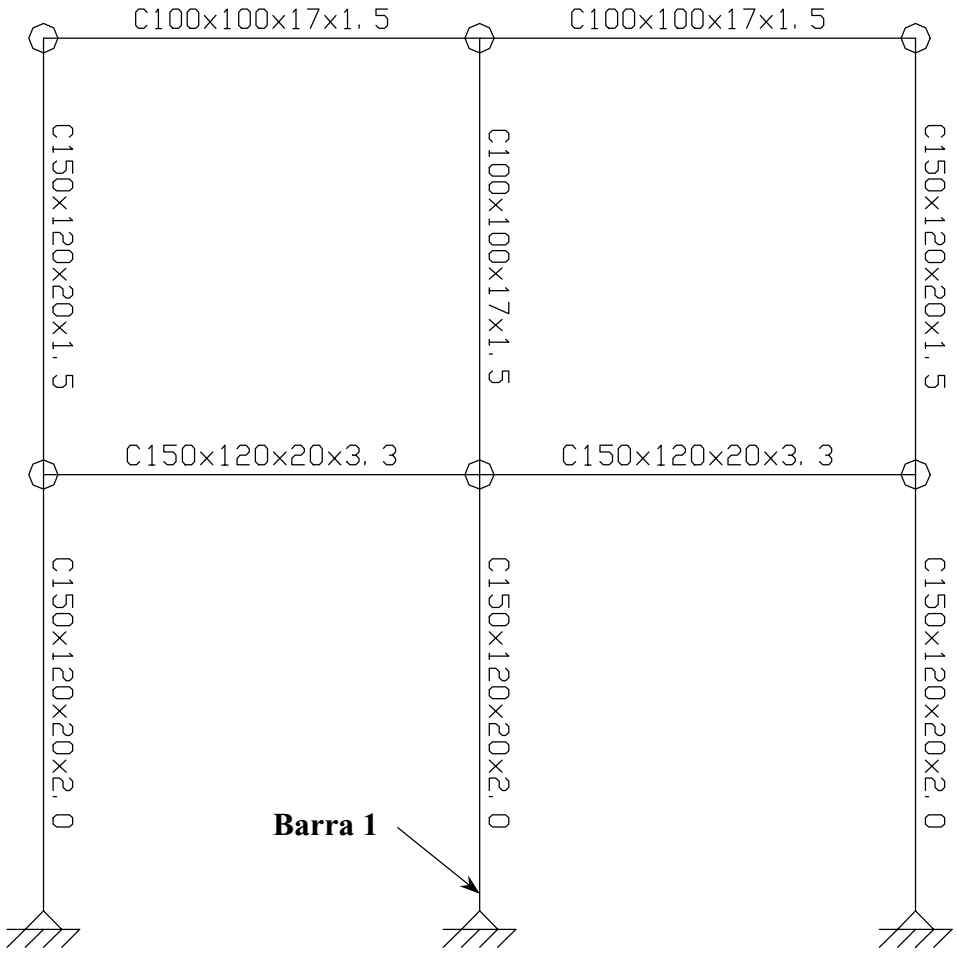


Figura C.1 – Vista Isométrica.

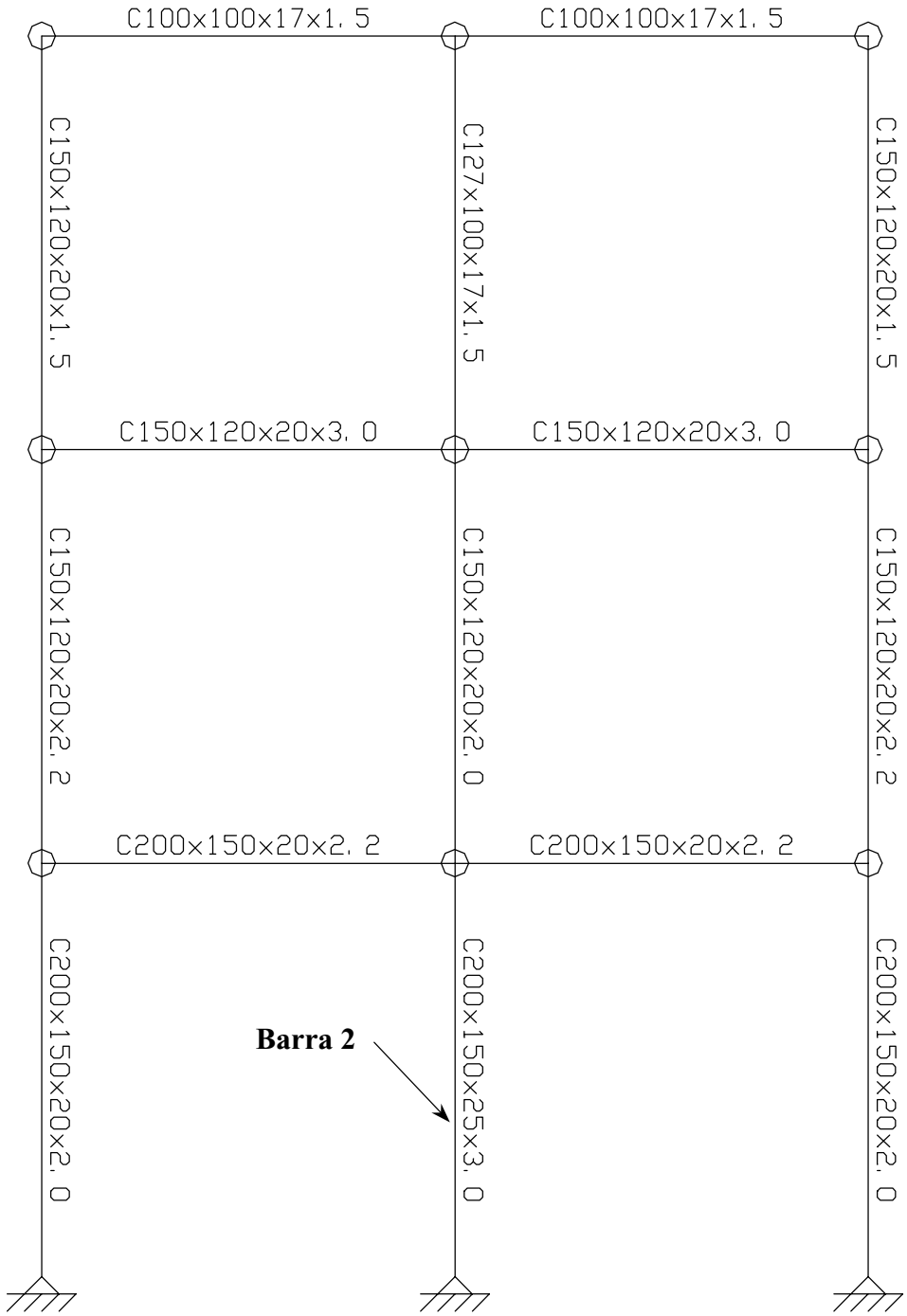


A) Vista zx.



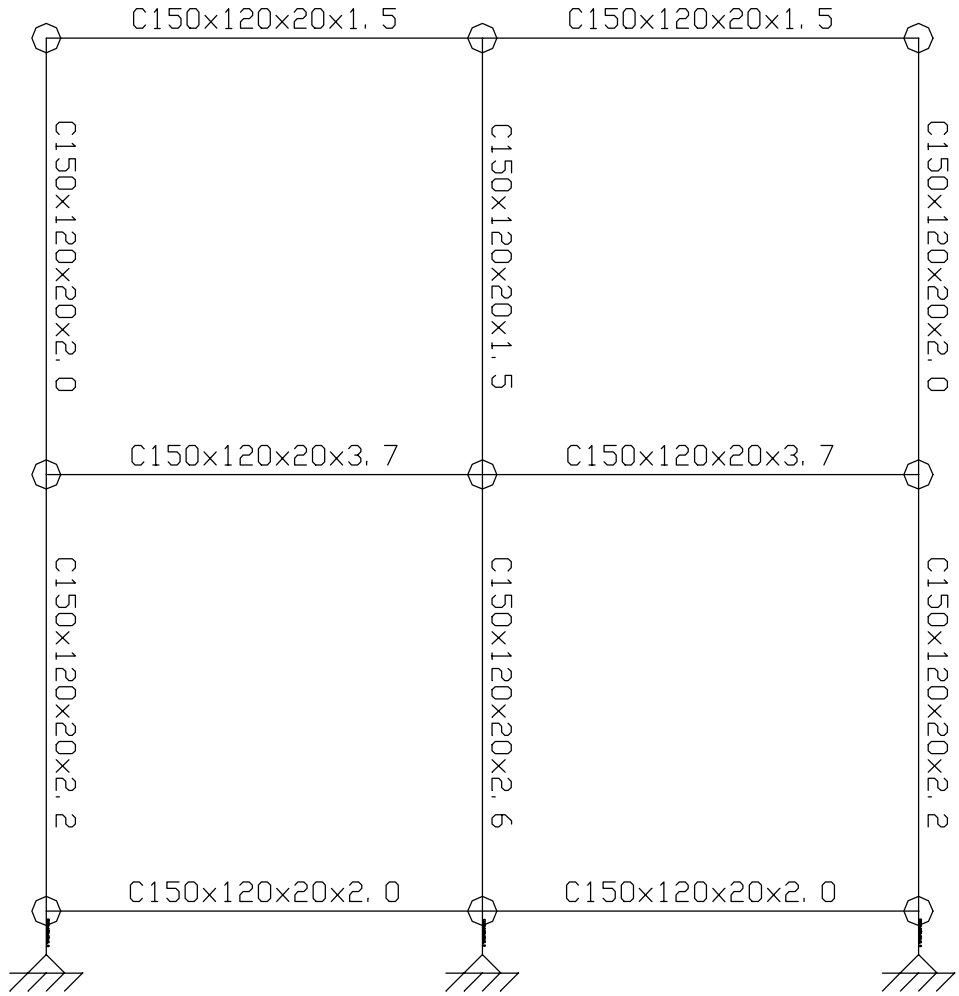
B) Vista zx1.

Figura C.2A e B – Vista zx e zx1

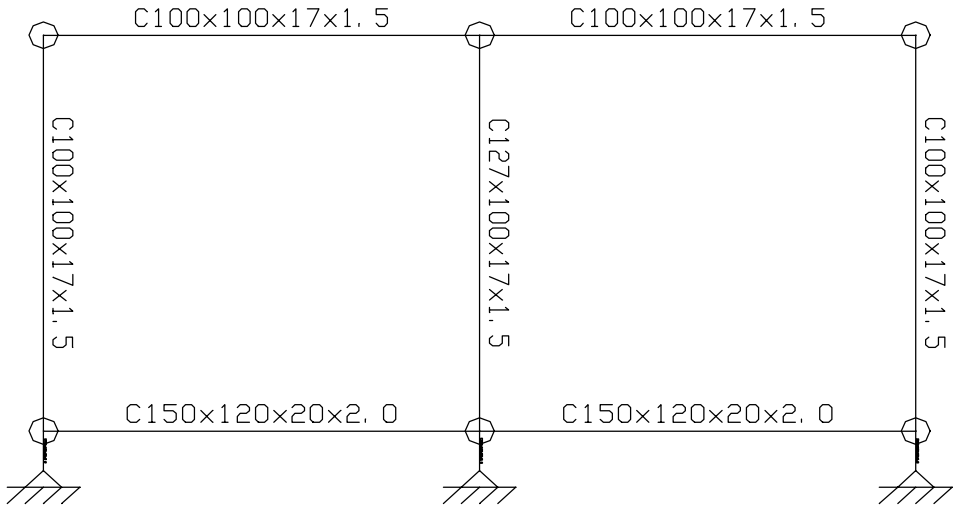


Vista zx2.

Figura C.3 – Vista zx2



A) Vista zx3.



B) Vista zx4.

Figura C.4A e B – Vistas zx3 e zx4.

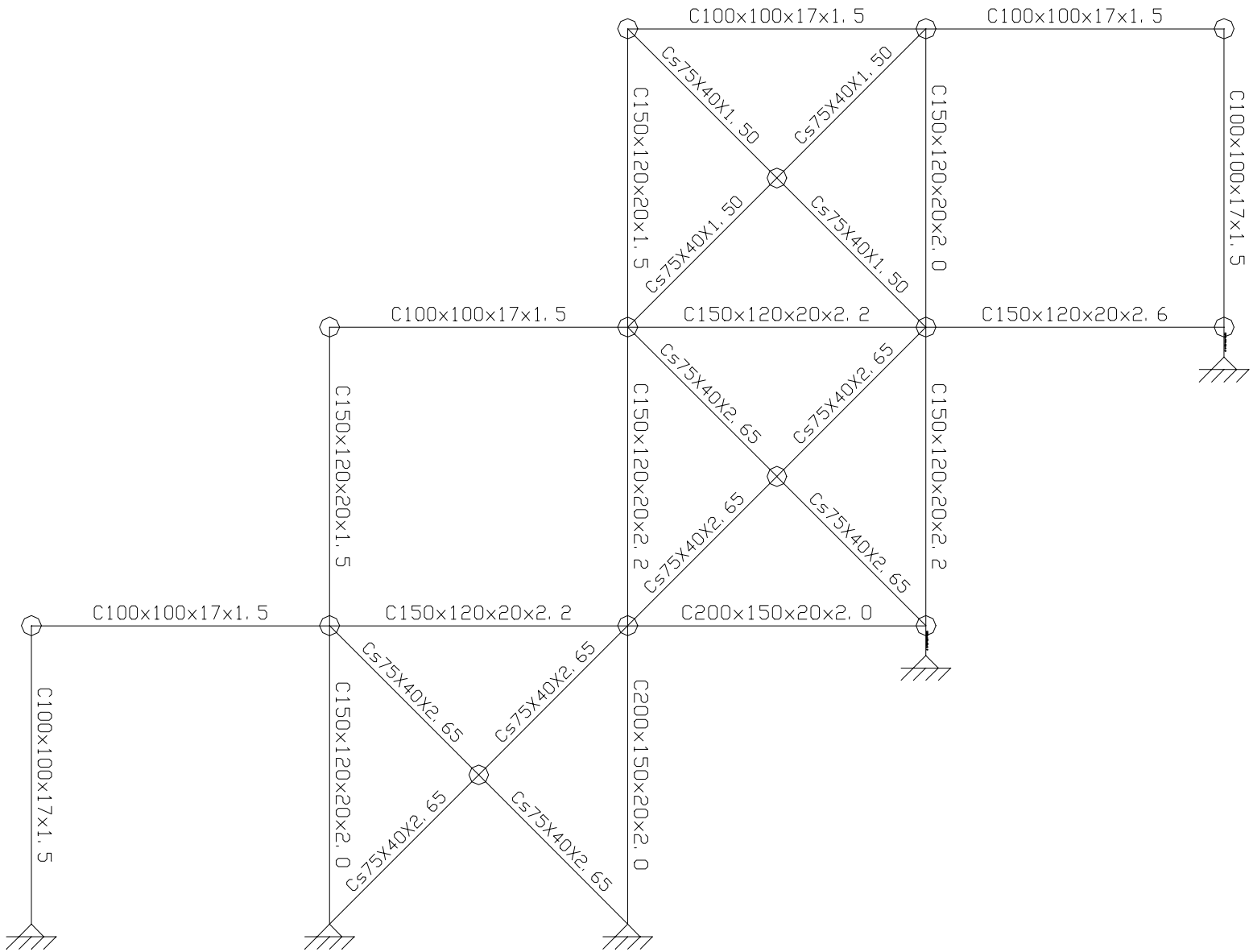


Figura C.5 – Vista zy e zy2.

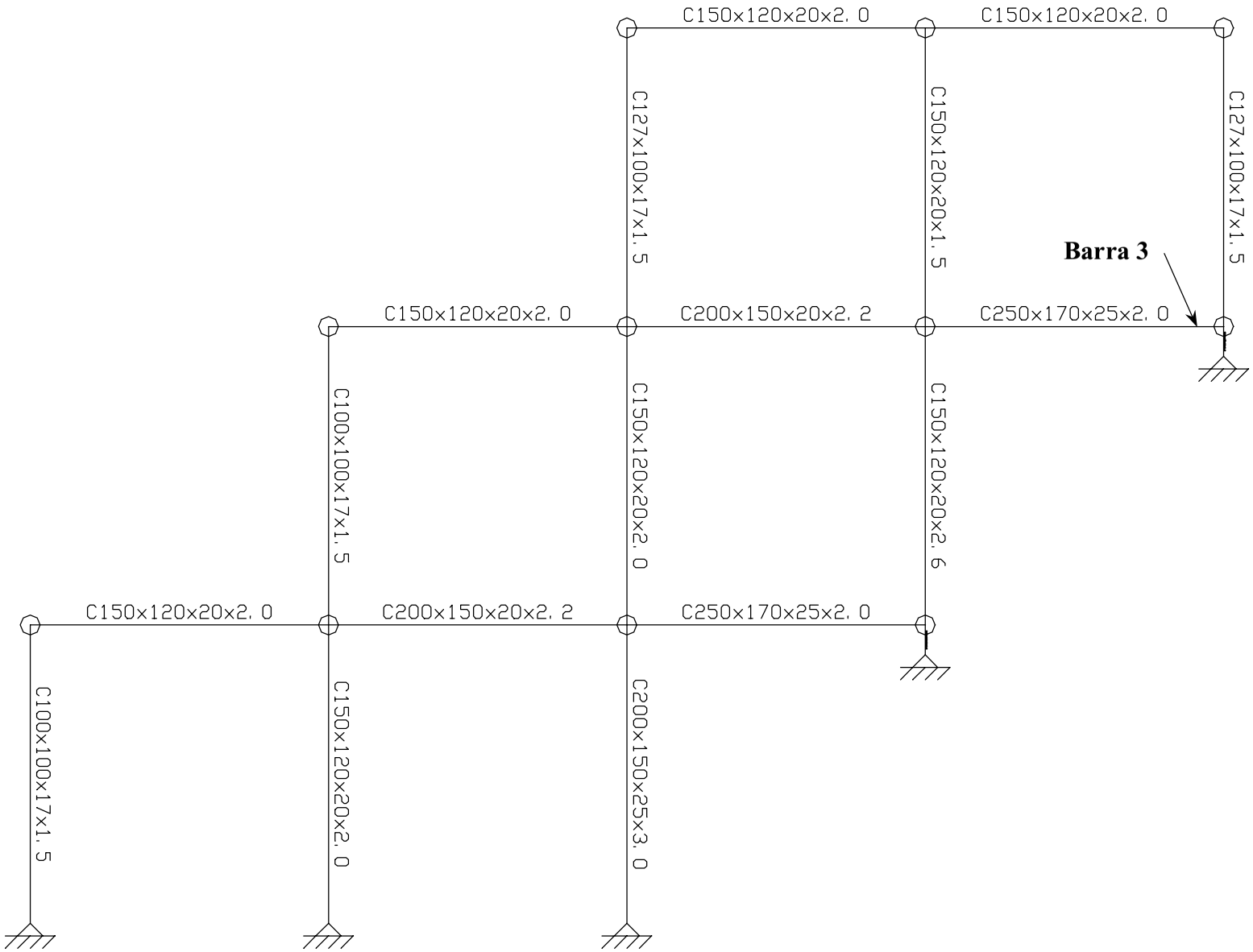


Figura C.6 – Vista zy1.

ANEXO D

Vistas do Modelo M6A

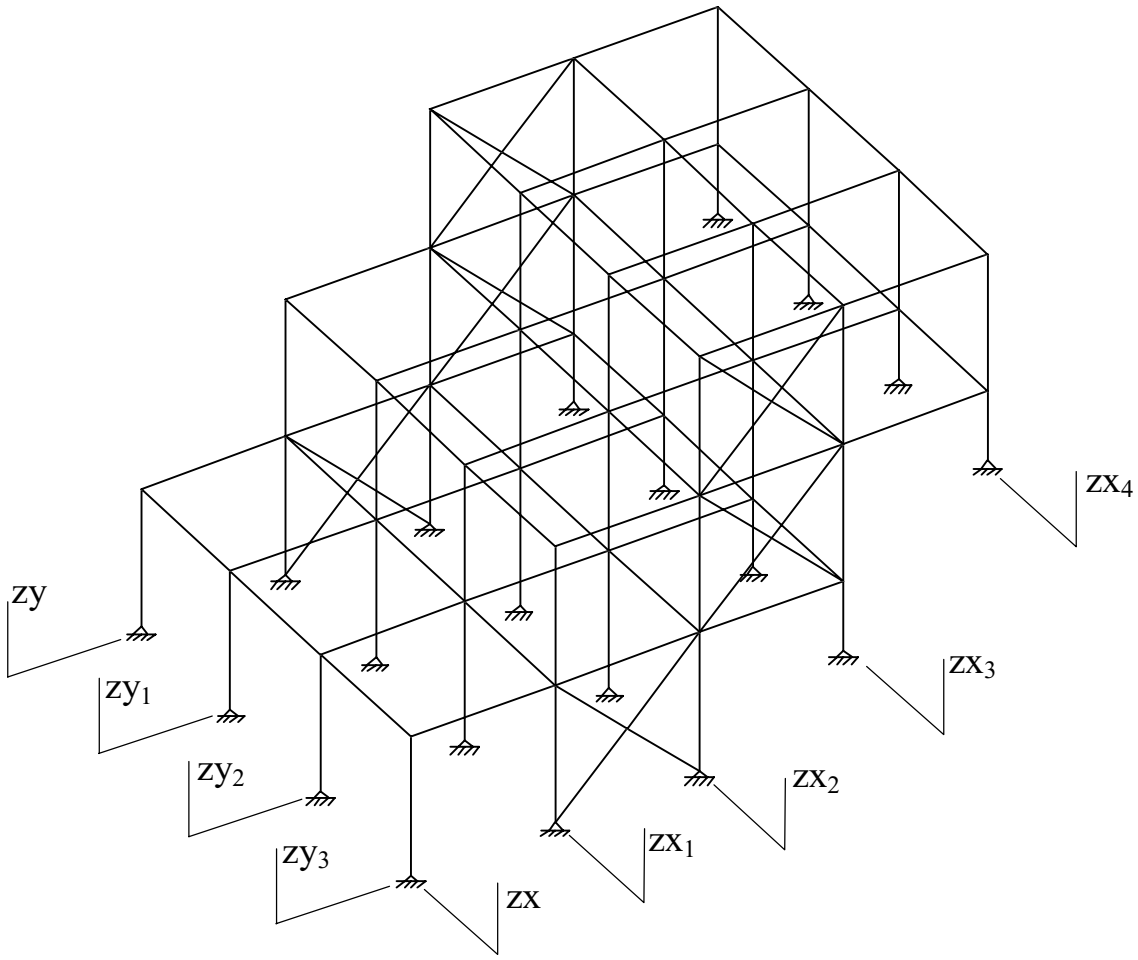
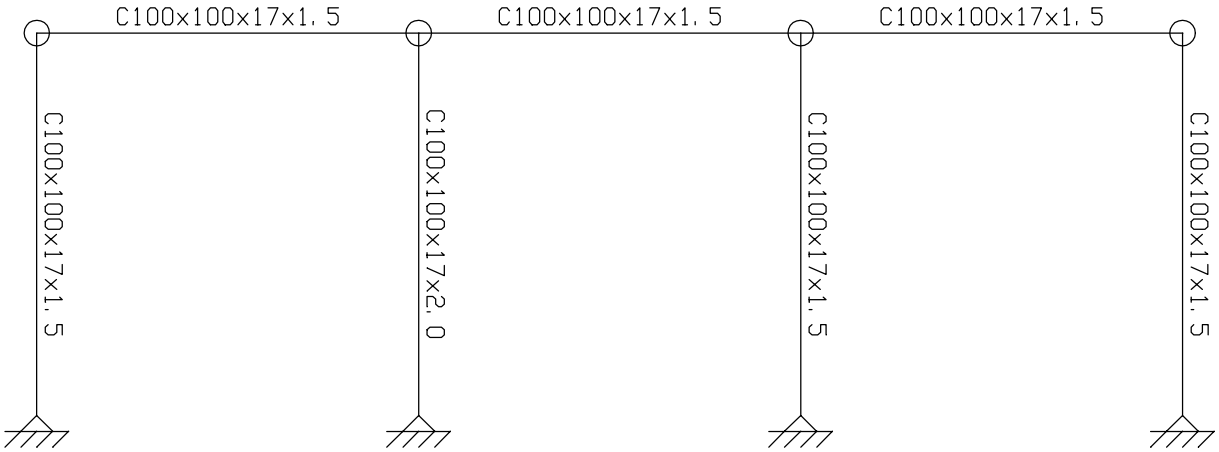
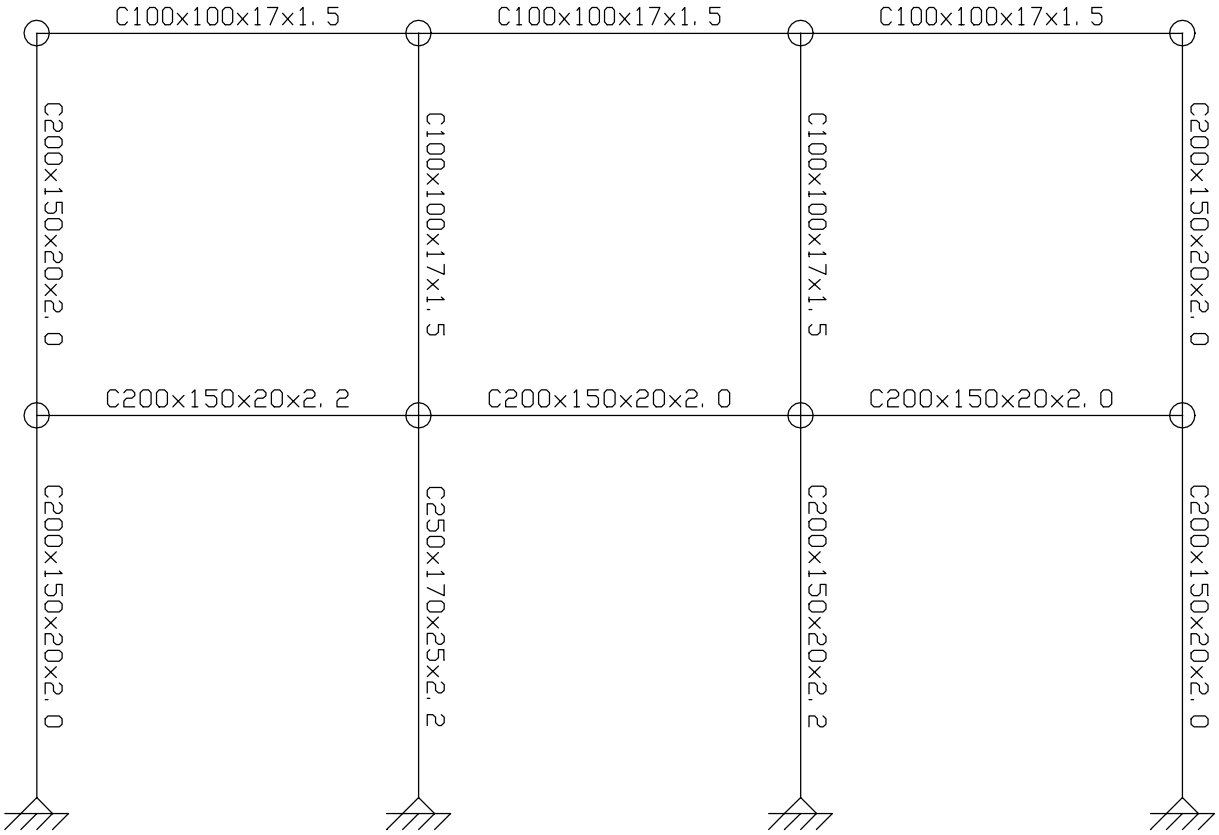


Figura D.1 – Vista Isométrica.



A) Vista zx.



Vista zx1.

Figura D.2A e B – Vistas zx e zx1

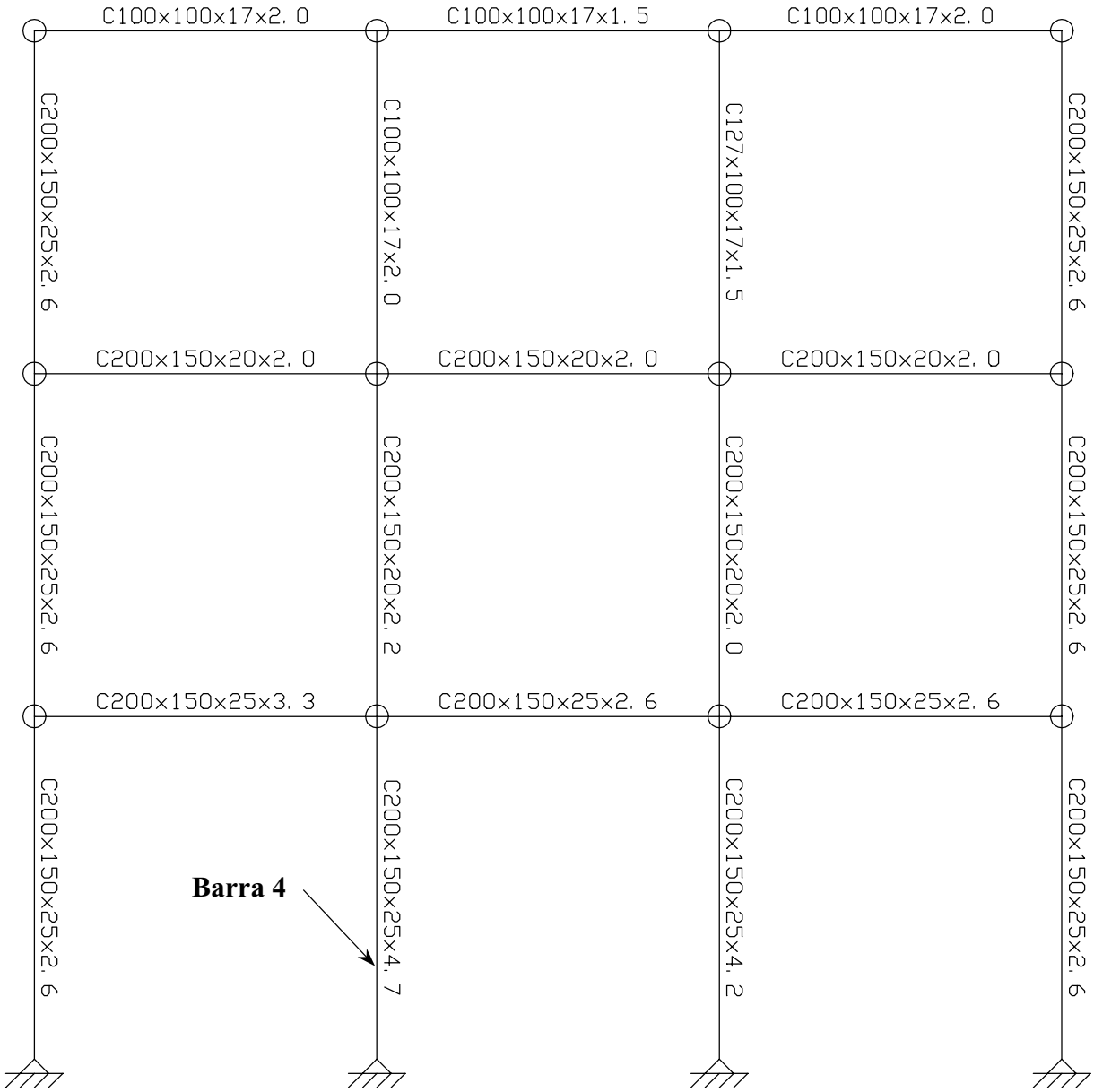
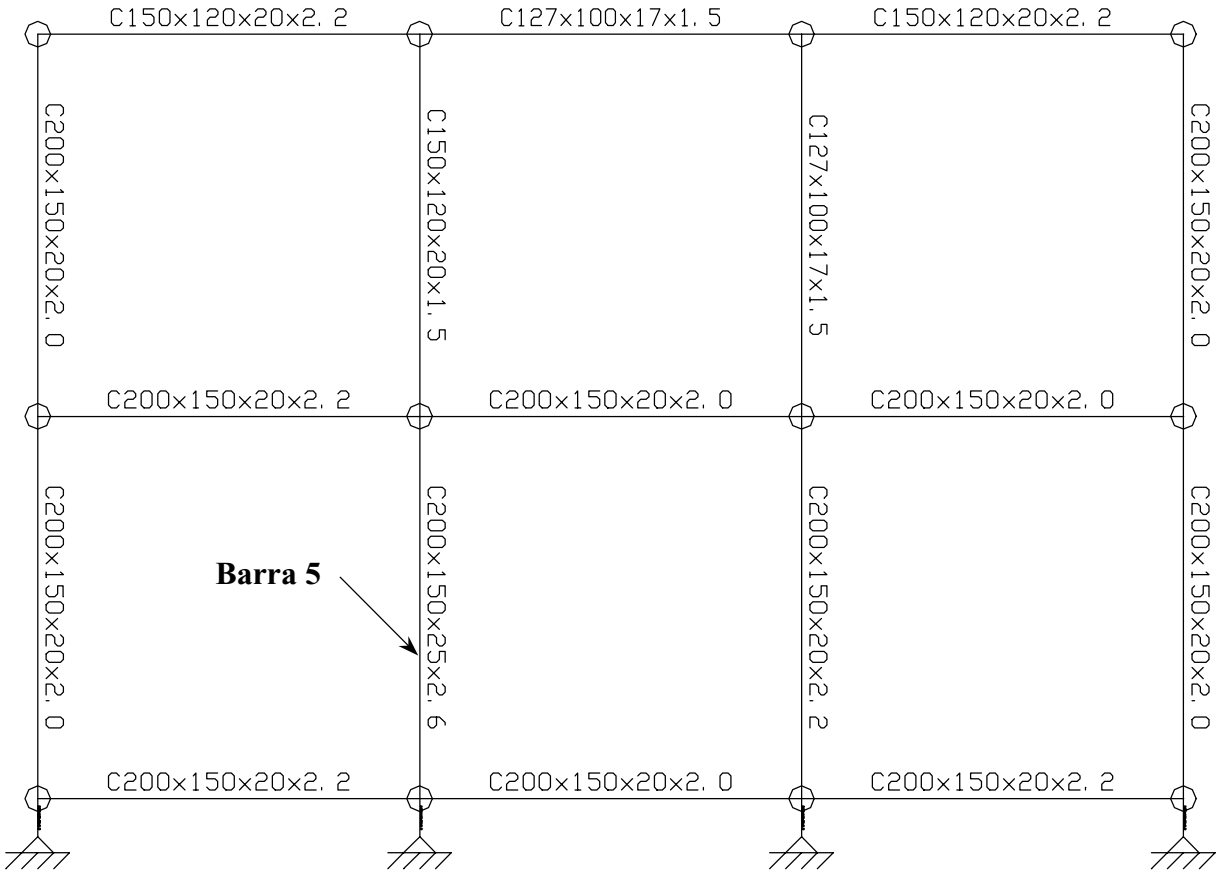
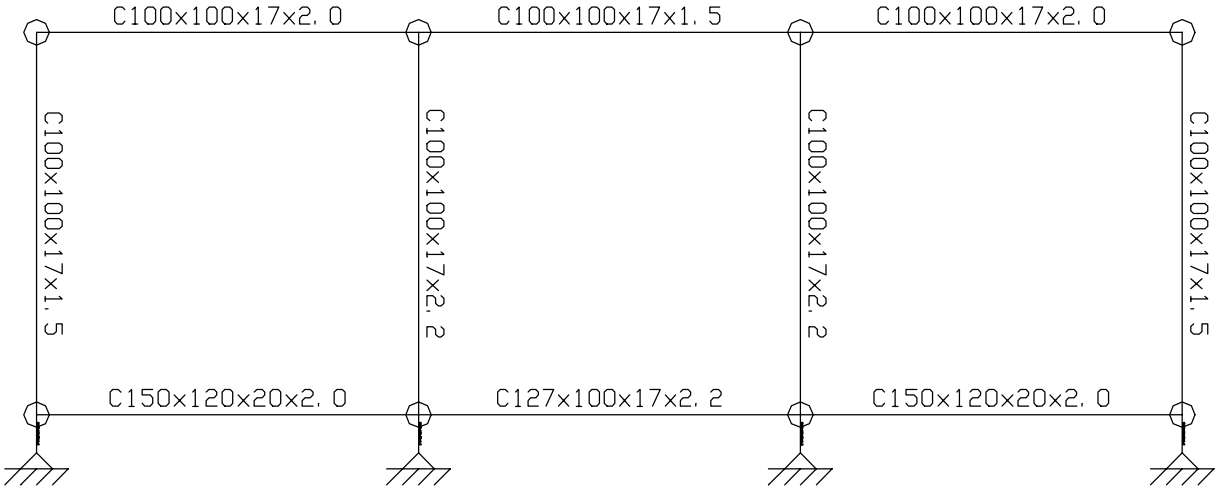


Figura D.3 – Vista zx2.



A) Vista zx3.



B)Vista zx4.

Figura D.4A e B – Vistas zx3 e zx4

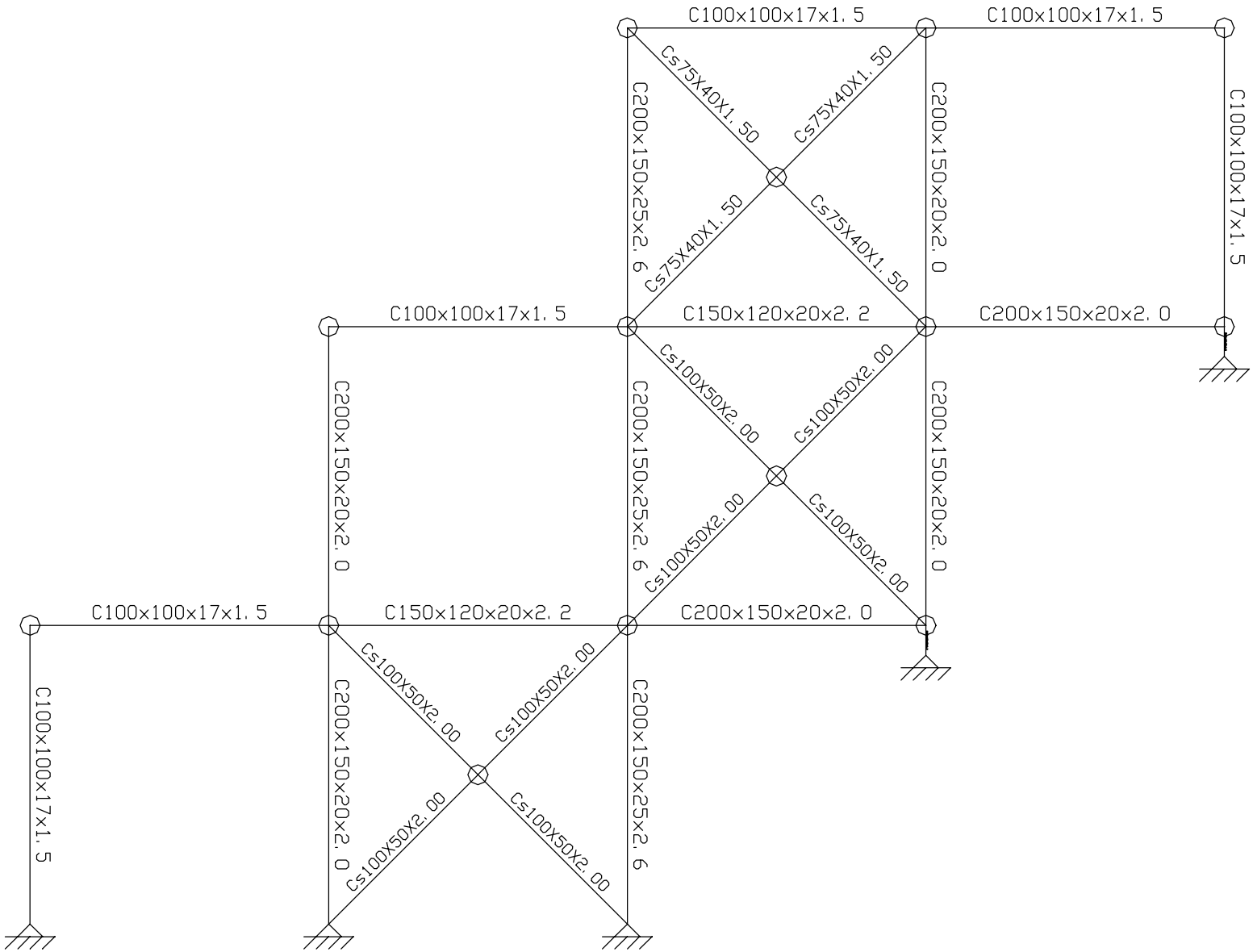


Figura D.5 – Vista zy e zy2.

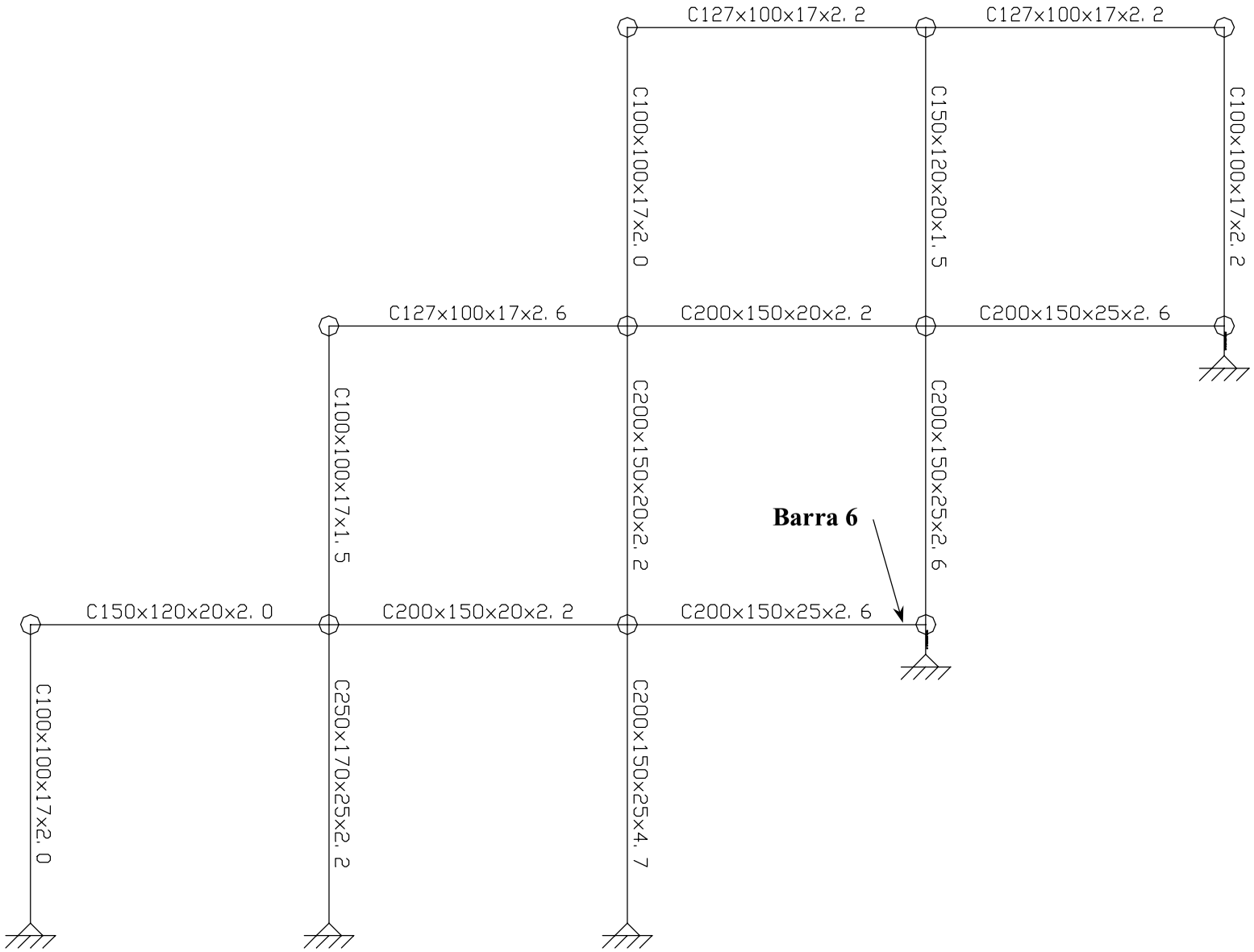


Figura D.6 – Vista zy1.

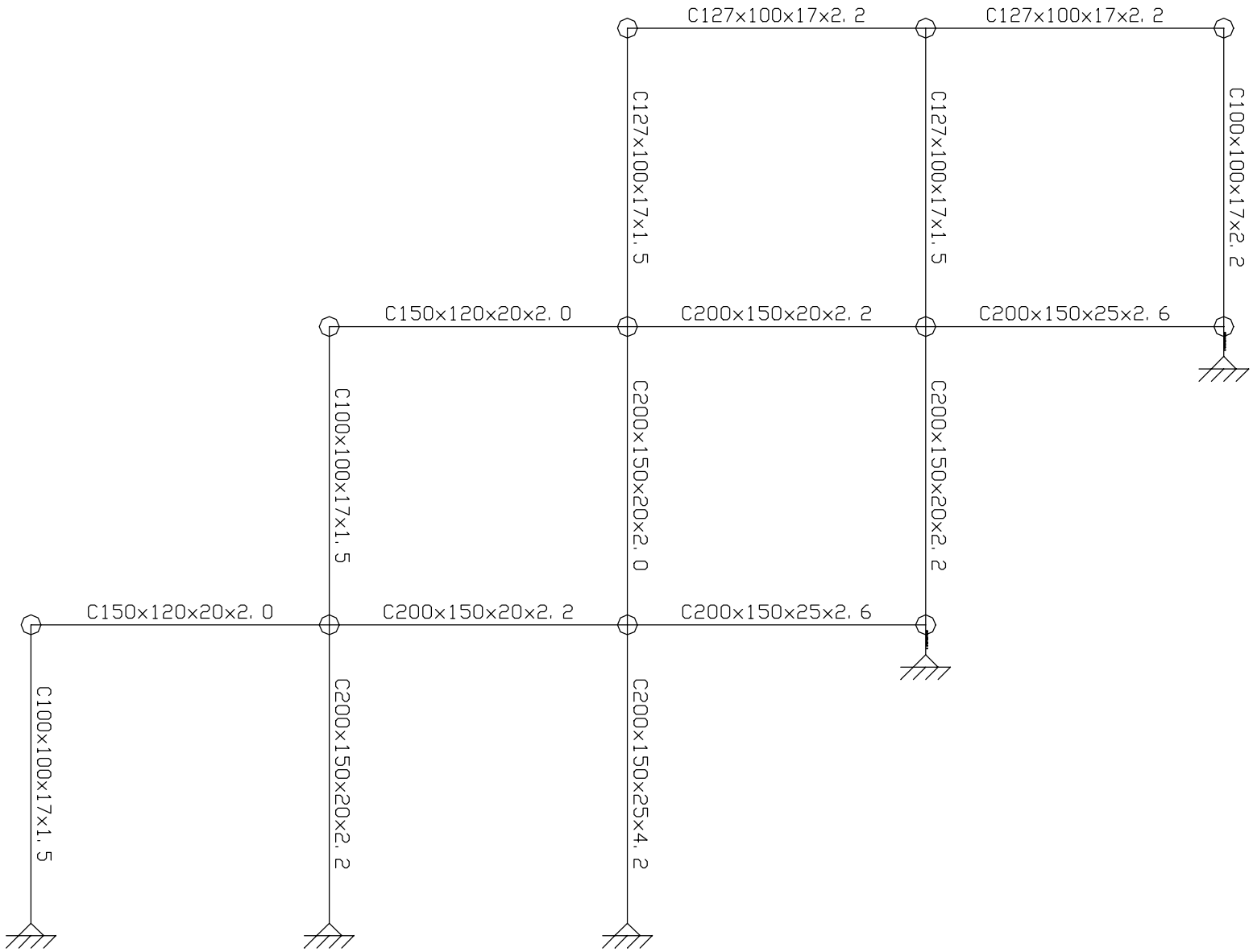


Figura D.7 – Vista zy2.