



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

**ANÁLISE DE EDIFICAÇÕES EM ESTRUTURAS
METÁLICAS CONSTITUÍDAS DE PERFIS FORMADOS A
FRIO**

Ouro Preto, setembro de 2001.

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

**ANÁLISE DE EDIFICAÇÕES EM ESTRUTURAS
METÁLICAS CONSTITUÍDAS DE PERFIS FORMADOS A
FRIO**

MARCELO MENDONÇA DOS SANTOS FIGUEIREDO

ORIENTADORA: Prof^a. Dra. Arlene Maria Sarmanho Freitas

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

Ouro Preto, setembro de 2001.

À minha família.

AGRADECIMENTOS

- Meus sinceros agradecimentos ao colega e amigo Eng. Osmar Francisco da Silva por todo seu incentivo, presença e total apoio. Graças a ele pude desenvolver este trabalho e acima de tudo crescer como profissional e ser humano. Apoio este dado em todas as etapas do curso, desde as primeiras disciplinas até a defesa da dissertação. Presença constante, amiga, em todos os momentos difíceis nos quais pude sempre contar com sua capacidade técnica e integridade.
- Ao Eng. Gabriel Márcio Janot Pacheco, ao Arq. Pedrovaldo Caram Santos e aos colegas da Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço da USIMINAS pelo apoio e compreensão.
- Ao Prof. Francisco Carlos Rodrigues pela paciência, apoio e por todas as suas colaborações que me ajudaram a melhorar este trabalho.
- À minha orientadora Arlene Maria Sarmanho Freitas pela orientação e competência.
- Aos professores do Curso de Mestrado em Construções Metálicas e, em particular, ao professor Luiz Fernando Loureiro Ribeiro que sempre me ajudou em todas as etapas do curso.
- Ao professor Henor Artur de Souza pela sua ajuda e apoio.
- Aos colegas de mestrado pelo companheirismo e amizade.
- À Rovadavia Aline de Jesus Ribas e Silvana Maria Batista, secretárias do Departamento de Engenharia Civil da UFOP, por suas organizações e carinho.
- À Flasan Comercial, em especial ao Sr. Flávio de Figueiredo.
- À Sical Industrial, em particular, à engenheira Letícia Veloso Horta.

RESUMO

Os perfis formados a frio estão cada vez mais sendo utilizados no Brasil em função do seu baixo peso e versatilidade. O uso deste perfis em residências ainda não é muito difundido em função de poucos estudos desenvolvidos no país para este tipo de aplicação. A partir da industrialização da estrutura metálica buscou-se utilizar lajes e fechamentos para acompanhar este processo de industrialização. O estudo estrutural baseou-se em um projeto arquitetônico de edifício de 4 pavimentos em perfis formados a frio. Este projeto foi escolhido em segundo lugar no segundo prêmio USIMINAS de arquitetura em aço. A solução arquitetônica adotada foi avaliada estruturalmente com a proposição de solução não convencional em que os aspectos dimensionais e construtivos foram avaliados. Neste trabalho analisou-se a estrutura metálica utilizando os perfis formados à frio, as lajes em painéis de concreto celular autoclavado e as paredes em chapas de gesso acartonado e cimentícias. Estudou-se ainda, a utilização de perfis formados a frio preenchidos de concreto armado visando maiores vãos no estudo estrutural. Os estudos de ligações seguiram o conceito de “luvas” e “nós” de aço e soldadas, de modo a tornar o processo de fabricação e montagem da estrutura mais prático e de baixo custo. Aspectos construtivos de cada solução estrutural, bem como das lajes e fechamentos foram abordados. Paralelamente ao estudo estrutural e ao processo construtivo foram realizadas avaliações de conforto térmico da edificação seguindo o projeto arquitetônico original.

ABSTRACT

Nowadays lightweight cold-formed steel beams are being more used in Brazil due to its low weight and versatility. Their use in residential buildings is not yet wide spread due to the lack of research for this kind of application. Based upon the steel structure industrialization we have tried the use of slabs and walls to follow this industrialization process. The structural study was based on an architectural project of a 4-story building using cold-formed steel beams. This project was given the 2nd place of the USIMINAS Steel Architectural AWARD. The adopted architectural solution was assessed structurally as a non-conventional method according to its dimensional and constructive aspects. This paper analyses lightweight cold-formed steel structure, autoclaved cellular concrete panel slabs as well as dry plaster and cementitious plate walls. We have also studied the use of cold-formed steel beams with armed concrete aiming to achieve higher spans in the structural study. Bond studies have been developed following the concept of steel gloves to optimize the assembling and manufacture processes, making them more effective, practical and cheaper. Each structural solution and its built aspect were approached as well as slabs and wall system. Along with the structural analysis and the constructive process, thermal comfort evaluations have been realized accordingly to the original architectural project.

SUMÁRIO

Resumo.....	VI
Abstract.....	VII
Lista de Figuras.....	XII
Lista de Tabelas.....	XVIII
Capítulo 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A HABITAÇÃO POPULAR NO BRASIL...	1
1.2 – SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS.....	3
1.3 – OBJETIVO DO TRABALHO.....	7
1.4 – ESTRUTURA DO TRABALHO.....	8
Capítulo 2 – PROJETO ARQUITETÔNICO.....	9
2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS DO PROJETO	9
2.2 – TIPOLOGIA ADOTADA DO PROJETO ARQUITETÔNICO.....	11
2.3 – AÇO UTILIZADO.....	13
2.4 – PERFIS ADOTADOS.....	14
2.5 – DIVISÓRIAS INTERNAS.....	16
2.5.1 – Componentes do sistema “dry wall”.....	17
2.5.1.1 - Chapas de gesso acartonado.....	17
2.5.1.2 - Perfis metálicos de aço galvanizado.....	18
2.5.1.3 - Acessórios.....	19
2.5.1.4 - Juntas de movimentação.....	20
2.5.2 – Identificação das paredes.....	20
2.5.3 – Paredes internas utilizadas no projeto.....	21

2.5.3.1 - Parede tipo 1 - face simples.....	23
2.5.3.2 - Parede tipo 2 - face simples.....	24
2.5.3.3 - Parede tipo 3 - face simples.....	25
2.5.3.4 - Parede tipo 4 - face dupla.....	26
2.5.3.5 - Parede tipo 5 - face dupla.....	27
2.6 – FECHAMENTOS EXTERNOS.....	28
2.6.1 – A placa cimentícia.....	28
2.6.2 - Perfis metálicos de aço galvanizado.....	30
2.6.3 – Paredes externas utilizadas no projeto.....	31
2.6.3.1 - Parede externa tipo A.....	32
2.6.3.2 - Parede externa tipo B	33
2.6.3.3 - Parede externa tipo C	34
2.7 – LAJES	35
2.7.1 – Generalidades	35
2.7.2 – Fabricação dos painéis.....	36
2.7.3 – Painel de concreto celular autoclavado.....	37
Capítulo 3 – ESTUDO ESTRUTURAL.....	41
3.1 – INTRODUÇÃO	41
3.2 – CONCEPÇÃO DOS MODELOS ESTRUTURAI.....	42
3.3 – PREMISSAS GERAIS DE CÁLCULO DOS MODELOS.....	43
3.4 – MODELO ESTRUTURAL 01.....	45
3.4.1 – Solução 01.....	49
3.4.1.1 – Luvras estruturais de aço.....	49
3.4.1.2 – Análise estrutural.....	53

3.4.2 – Solução 02.....	58
3.4.2.1 – Nós estruturais de aço.....	59
3.4.2.2 – Análise estrutural.....	61
3.4.3 – Solução 03.....	66
3.4.3.1 – Ligações soldadas.....	66
3.4.3.2 – Análise estrutural.....	66
3.5 – MODELO ESTRUTURAL 02.....	71
3.5.1 – Solução adotada.....	75
3.5.1.1 – Ligações	76
3.5.1.2 – Análise estrutural	78
Capítulo 4 – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO.....	83
4.1 – INTRODUÇÃO.....	83
4.2 – CARACTERÍSTICAS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO.....	83
4.2.1 - Levantamento das informações climáticas.....	85
4.2.2 - Levantamento das informações da edificação.....	85
4.2.3 - Levantamento das informações sobre as propriedades térmicas dos elementos de fechamento componentes da edificação.....	85
4.2.4 - Determinação do ganho de calor devido à radiação solar.....	85
4.2.5 - Determinação do ganho de calor por condução em regime transitório.....	86
4.2.6 - Determinação do ganho de calor devido às fontes de calor internas.....	86
4.2.7 – Determinação do ganho de calor por trocas de massa de ar.....	86
4.2.8 – Determinação das cargas térmicas de condicionamento e das temperaturas do ambiente.....	86
4.3 – AVALIAÇÃO TÉRMICA DO PROJETO ARQUITETÔNICO.....	88
4.4 – AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	91

Capítulo 5 – ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....	97
5.1 – TRANSPORTE DAS ESTRUTURAS METÁLICAS.....	98
5.2 – EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS.....	99
5.3 – PLANEJAMENTO DA MONTAGEM DA ESTRUTURA.....	100
5.3.1 – Preparação das bases das colunas.....	101
5.3.2 – Plano de montagem da estrutura.....	102
5.3.2.1 – Modelo estrutural 01 (Módulos 3m x 4m) – Solução 01.....	103
5.3.2.2 – Modelo estrutural 01 (Módulos 3m x 4m) – Solução 02.....	109
5.3.2.3 – Modelo estrutural 01 (Módulos 3m x 4m) – Solução 03.....	116
5.3.2.4 – Modelo estrutural 02 (Módulos 6m x 8m) – Solução adotada	122
5.4 – MONTAGEM DAS LAJES.....	127
5.4.1 – Descarregamento dos painéis.....	127
5.4.2 – Montagem.....	127
5.5 - MONTAGEM DAS DIVISÓRIAS INTERNAS E DOS FECHAMENTOS EXTERNOS.....	131
5.5.1 – Marcação e fixação das guias.....	132
5.5.2 – Colocação dos montantes.....	132
5.5.3 – Colocação das chapas de gesso.....	135
5.5.4 - Tratamento das juntas entre as chapas de gesso.....	138
5.5.5 - Paredes em ambientes molháveis.....	140
5.5.6 – Acabamento.....	140
Capítulo 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	141
6.1 – CONCLUSÕES.....	141
6.2 – SUGESTÕES.....	144
Referências Bibliográficas.....	145

LISTA DE FIGURAS

	Página
Capítulo 1	
Figura 1.1	Residência estudantil na Universidade de Cardiff, Reino Unido, fabricada em módulos de aço. a) na fase de montagem; b) na fase de acabamento e; c) concluída. 5
Figura 1.2	Detalhe do módulo estrutural utilizado na Residência Estudantil. 6
Capítulo 2	
Figura 2.1	Planta baixa dos módulos estruturais existentes no projeto arquitetônico. 10
Figura 2.2	Tipologia adotada para a implantação dos edifícios. 12
Figura 2.3	Identificação dos módulos estruturais compondo 02 unidades habitacionais 13
Figura 2.4	Vista da seção transversal dos perfis utilizados. a) vigas e colunas no modelo estrutural 01 (3m x 4m); b) vigas no modelo estrutural 02 (6m x 8m); c) colunas no modelo estrutural 02 (6m x 8m). 15
Figura 2.5	Esquema básico do sistema construtivo em “dry wall”. 17
Figura 2.6	Tipos de perfis galvanizados utilizados nas paredes e função estrutural dos mesmos. 19
Figura 2.7	Exemplo de identificação das paredes do sistema construtivo “dry wall”. 21
Figura 2.8	Identificação dos tipos de paredes internas utilizadas no projeto arquitetônico. 22
Figura 2.9	Figura ilustrativa da placa cimentícia 29
Figura 2.10	Detalhe da instalação da placa cimentícia nos montantes galvanizados. 30
Figura 2.11	Perfis galvanizados utilizados para guias, montantes e reforços. 30
Figura 2.12	Identificação das paredes externas do projeto arquitetônico 31

Figura 2.13	Detalhe da armação dos painéis de concreto celular autoclavado.	37
Figura 2.14	Detalhe do painel laje utilizado.	38
Figura 2.15	Detalhe da seção transversal do painel laje utilizado.	39
 Capítulo 3		
Figura 3.1	Esquema de carregamento das lajes constituídas dos painéis de concreto celular autoclavado.	44
Figura 3.2	Modelo Estrutural 01: modulação de 3m x 4m.	45
Figura 3.3	Identificação das colunas, vigas transversais e longitudinais e os eixos de referência.	46
Figura 3.4	Numeração dos nós do 4º pavimento do projeto	46
Figura 3.5	Eixos globais das vigas	47
Figura 3.6	Eixos globais das colunas	47
Figura 3.7	Eixos locais das vigas	48
Figura 3.8	Eixos locais das colunas	48
Figura 3.9	Detalhe da luva utilizada para as ligações entre colunas e vigas	49
Figura 3.10	Esquema de ligação de luvas soldadas à coluna	50
Figura 3.11	Detalhe das luvas estruturais soldadas na coluna	51
Figura 3.12	Detalhe das vigas utilizadas na solução 01 do modelo 01.	51
Figura 3.13	Detalhe das vigas utilizadas observando-se o sistema de furação utilizado	52
Figura 3.14	Detalhe da ligação da viga com a luva	52
Figura 3.15	Nó estrutural de aço	59
Figura 3.16	Tipos de ligações constituídas por nós estruturais de aço.	60
Figura 3.17	Ligação entre uma viga e uma coluna constituída de nó de aço	61

Figura 3.18	Modelo Estrutural 02: modulação 6m x 8m.	71
Figura 3.19	Identificação das colunas, das vigas e os eixos de referência.	72
Figura 3.20	Numeração dos nós do 4º pavimento da edificação analisada	72
Figura 3.21	Eixos globais das vigas	73
Figura 3.22	Eixos globais das colunas	73
Figura 3.23	Eixos locais das vigas	74
Figura 3.24	Eixos locais das colunas	74
Figura 3.25	Seção transversal da viga em perfil I preenchida de concreto armado.	76
Figura 3.26	Tipo de ligação utilizada entre as colunas e vigas da solução 01 do modelo estrutural 02	77
Figura 3.27	Detalhe do tipo de ligação utilizada entre as vigas secundárias e longitudinais da solução estrutural 01 do modelo 02.	78
 Capítulo 4		
Figura 4.1	Fluxo das análises dos principais elementos para a simulação térmica de uma edificação.	84
Figura 4.2	Planta esquemática dos dois módulos analisados.	88
Figura 4.3	Temperatura do ar no interior do banheiro para um dia típico de verão.	92
Figura 4.4	Temperatura do ar no interior da cozinha para um dia típico de verão.	93
Figura 4.5	Temperatura do ar no interior do quarto para um dia típico de verão.	93
Figura 4.6	Temperatura do ar no interior da sala para um dia típico de verão.	94
 Capítulo 5		
Figura 5.1	Munck, caminhão dotado de guindaste hidráulico	99

Figura 5.2	Base de coluna metálica sobre bloco de fundação	101
Figura 5.3	Detalhe da furação dos blocos de fundação	102
Figura 5.4	Identificação do sentido e da numeração das colunas de acordo com a seqüência de montagem da estrutura da solução estrutural 1 do modelo 01	104
Figura 5.5	Esquema da montagem das colunas do eixo 2 (E2)	105
Figura 5.6	Esquema de ligação da colunas com a viga utilizando luva estrutural	106
Figura 5.7	Etapas de montagem das vigas dos núcleos centrais do 4º pavimento	107
Figura 5.8	Etapas de montagem das vigas que constituem os núcleos de extremidade do 4º pavimento	108
Figura 5.9	Detalhe da utilização da luva estrutural de aço nas ligações da colunas e das vigas metálicas.	109
Figura 5.10	Esquema de montagem das colunas da solução 2 do modelo estrutural 01	110
Figura 5.11	Nós de ligação utilizados entre as colunas e vigas da estrutura da solução estrutural 2 do modelo 01	111
Figura 5.12	Tipos de nós estruturais de aço utilizados nas ligações entre colunas e vigas do 4º pavimento, onde não há continuidade da coluna	112
Figura 5.13	Esquema de ligação das vigas e colunas através de nó estrutural	113
Figura 5.14	Etapas da montagem das vigas transversais da solução estrutural 2 do modelo 01	114
Figura 5.15	Etapas de montagem das vigas longitudinais da solução estrutural 2 do modelo 01	115
Figura 5.16	Esquema de identificação dos pórticos que são pré-montados na fábrica.	117
Figura 5.17	Exemplo de montagem de pórticos pré-montados no canteiro de obras	117
Figura 5.18	Vista dos pórticos C1-C2 e C4-C5 montados na obra	118

Figura 5.19	Esquema de montagem dos pórticos longitudinais pré-montados na fábrica, do pórtico pré-montado no canteiro de obras e da colocação da coluna C13.	119
Figura 5.20	Etapas de montagem da estrutura da solução 3 do modelo 01.	120
Figura 5.21	Detalhe da ligação soldada entre coluna e vigas	121
Figura 5.22	Sequência de concretagem de um dos lados das vigas.	123
Figura 5.23	Seqüência de concretagem do outro lados das vigas.	123
Figura 5.24	Etapas de montagem da estrutura da solução adotada do modelo 02	125
Figura 5.25	Etapas de colocação das vigas secundárias da solução adotada do modelo 02	126
Figura 5.26	Preparação para elevação do painel por meio de cordas e roldanas.	128
Figura 5.27	Elevação dos painéis de concreto celular autoclavado	128
Figura 5.28	Esquema de apoio dos painéis de concreto celular autoclavado sobre as vigas metálicas e detalhe da cantoneira metálica utilizada para evitar o deslizamento dos mesmos.	129
Figura 5.29	Detalhe entre os painéis de concreto celular autoclavado onde será colocado o “grout” para proporcionar maior solidariedade à laje.	130
Figura 5.30	Aspecto geral da laje constituída de painéis de concreto celular autoclavado.	130
Figura 5.31	Vista geral de identificação das peças que compõe o sistema construtivo à seco “Dry-wall”	131
Figura 5.32	Detalhes do esquema de marcação e fixação das guias	132
Figura 5.33	Detalhes da colocação dos montantes	133
Figura 5.34	As guias inferiores são dobradas (90°) de modo a determinar o vão da porta	133
Figura 5.35	Detalhe da fixação da guia e do montante ao batente da porta	134

Figura 5.36	Detalhe da fixação da guia que serve como verga da porta	134
Figura 5.37	Fixação das chapas de gesso aos montantes metálicos. Detalhe do espaço de 1cm deixado na fixação da chapa de gesso ao perfil metálico	135
Figura 5.38	Detalhe do fechamento com a utilização de dois painéis sobrepostos	136
Figura 5.39	Detalhe dos reforços para fixação da pia e vaso sanitário, além do esquema estrutural dos montantes, guias e painéis	136
Figura 5.40	Detalhe do flange utilizado nas saídas de água.	137
Figura 5.41	Detalhe do protetor plástico para eletrodutos e mangueiras flexíveis	138
Figura 5.42	Detalhe da fixação da fita de papel microperfurada e da massa de rejuntamento.	139
Figura 5.43	Juntas tipo “L” e tipo “T”	139
Figura 5.44	Detalhe da impermeabilização utilizada em áreas molháveis.	140

LISTA DE TABELAS

		Página
Capítulo 2		
Tabela 2.1	Módulos arquitetônicos com respectiva descrição de cômodo e área.	10
Tabela 2.2	Composição química do aço especificado.	14
Tabela 2.3	Propriedades mecânicas do aço especificado.	14
Tabela 2.4	Características gerais exigidas para as chapas de gesso acartonado.	18
Tabela 2.5	Descrição detalhada da parede tipo 1 do projeto arquitetônico	23
Tabela 2.6	Descrição detalhada da parede tipo 2 do projeto arquitetônico	24
Tabela 2.7	Descrição detalhada da parede tipo 3 do projeto arquitetônico	25
Tabela 2.8	Descrição detalhada da parede tipo 4 do projeto arquitetônico	26
Tabela 2.9	Descrição detalhada da parede tipo 5 do projeto arquitetônico	27
Tabela 2.10	Características técnicas da placa cimentícia Superboard	29
Tabela 2.11	Descrição detalhada da parede externa tipo A do projeto arquitetônico.	32
Tabela 2.12	Descrição detalhada da parede externa tipo B do projeto arquitetônico.	33
Tabela 2.13	Descrição detalhada da parede externa tipo C do projeto arquitetônico.	34
Tabela 2.14	Dimensões e características dos painéis de concreto celular autoclavado.	38
Tabela 2.15	Dimensões da seção transversal do painel de concreto celular autoclavado.	39
Tabela 2.16	Identificação das dimensões dos painéis de concreto celular autoclavado utilizados como lajes no projeto arquitetônico.	40

Capítulo 3

Tabela 3.1	Coeficientes utilizados nas combinações dos carregamentos	44
Tabela 3.2	Deslocamentos relativos nos nós da solução 01 do modelo 01	54
Tabela 3.3	Principais esforços solicitantes das colunas da solução 01 do modelo 01	55
Tabela 3.4	Esforços solicitantes das vigas da solução 01 do modelo 01	55
Tabela 3.5	Perfis utilizados como colunas na análise de dimensionamento estrutural	56
Tabela 3.6	Perfis utilizados como vigas na análise de dimensionamento estrutural da solução 01 do modelo 01	56
Tabela 3.7	Características das colunas, vigas e contraventamentos da solução 01 do modelo 01	57
Tabela 3.8	Resumo de material referente às colunas, vigas e contraventamentos da solução 01 do modelo 01	58
Tabela 3.9	Deslocamentos relativos nos nós da solução 02 do modelo 01	62
Tabela 3.10	Principais esforços solicitantes das colunas da solução 02 do modelo 01	63
Tabela 3.11	Esforços solicitantes das vigas da solução 02 do modelo 01	63
Tabela 3.12	Perfis utilizados na análise de dimensionamento estrutural da solução 02 do modelo 01	64
Tabela 3.13	Perfis utilizados como vigas na análise de dimensionamento estrutural da solução 02 do modelo 01	64
Tabela 3.14	Características das colunas, vigas e contraventamentos da solução 02 do modelo 01	65
Tabela 3.15	Resumo de material referente às colunas, vigas e contraventamentos da solução 02 do modelo 01	65
Tabela 3.16	Deslocamentos relativos nos nós	67
Tabela 3.17	Principais esforços solicitantes das colunas da solução 03 do modelo 01	68
Tabela 3.18	Esforços solicitantes das vigas da solução 03 do modelo 01	68

Tabela 3.19	Perfis utilizados como colunas na análise de dimensionamento estrutural da solução 03 do modelo 01	69
Tabela 3.20	Perfis utilizados como vigas na análise de dimensionamento estrutural da solução 03 do modelo 01	69
Tabela 3.21	Características das colunas, vigas e contraventamentos da solução 03 do modelo 01	70
Tabela 3.22	Resumo de material referente às colunas, vigas e contraventamentos da solução 03 do modelo 01	70
Tabela 3.23	Deslocamentos relativos nos nós	79
Tabela 3.24	Principais esforços solicitantes das colunas da solução adotada do modelo 02	80
Tabela 3.25	Esforços solicitantes das vigas da solução adotada do modelo 02.	80
Tabela 3.26	Perfis utilizados como colunas na análise de dimensionamento estrutural da solução adotada do modelo 02.	81
Tabela 3.27	Perfis utilizados como vigas na análise de dimensionamento estrutural da solução adotada do modelo 02.	81
Tabela 3.28	Características das colunas, vigas da solução adotada do modelo 02.	82
Tabela 3.29	Resumo de material referente às colunas, vigas da solução adotada do modelo 02.	82

Capítulo 4

Tabela 4.1	Características do módulo e perfil de ocupação/ equipamentos.	90
Tabela 4.2	Propriedades térmicas dos elementos de fechamento (Temperatura = 300 K).	90
Tabela 4.3	Critérios de avaliação do desempenho térmico dos níveis “A”, “B”, “C” e “D” em função da temperatura do ar interior.	95

Capítulo 5

Tabela 5.1	Dimensões padrões no transporte rodoviário	99
Tabela 5.2	Exemplos de consumíveis para a soldagem do aço SAC-300.	122

1. INTRODUÇÃO

1.1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A HABITAÇÃO POPULAR NO BRASIL

A precariedade da situação habitacional brasileira revelada pelas estatísticas sociais indica a urgência de medidas concretas para amortizar a dívida social.

Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 1995 e 1996, divulgados pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o déficit habitacional brasileiro era de 4,4 milhões de habitações em 1981. Esse déficit elevou-se para 5,1 milhões, em 1995 e para 5,4 milhões em 1996, abrangendo um contingente de cerca de 20 milhões de pessoas que moram em habitações rústicas, improvisadas e compartilhadas, segundo dados da Câmara Brasileira de Indústria da Construção (CBIC, 1998).

Porém, os dados sobre a distribuição desse déficit indicam que 83% das famílias, que não tinham habitação digna em 1995, auferiam renda mensal de até cinco salários mínimos. No caso das habitações rústicas, 90% dos domicílios pertenciam a famílias com renda domiciliar igual ou inferior a cinco salários mínimos.

Além da concentração relativa do déficit nas famílias de menor poder aquisitivo, nota-se que o próprio perfil econômico da população brasileira é desfavorável: 39% das famílias têm renda inferior a três salários mínimos e outros 41% auferem renda entre três e dez salários mínimos (CBIC, 1998).

Seriam necessários investimentos de aproximadamente R\$ 77 bilhões, ou seja, algo em torno de 10% do PIB, para erradicar o déficit habitacional acumulado até 1996. Para isto um programa de erradicação desse déficit exigiria recursos de R\$ 3,85 bilhões ao ano, durante vinte anos, apenas para atender à demanda reprimida por habitações, sem

considerar o crescimento do número de famílias no período. Este crescimento é estimado em cerca de um milhão de novas moradias ao ano, 80% das quais com renda familiar inferior a dez salários mínimos (Sinduscon-MG – Sindicato da Indústria da Construção de Minas Gerais, 1998).

Algumas políticas adotadas pelo Governo Federal para combater o déficit habitacional – Plano de Habitação Popular – como por exemplo, a criação SFH (Sistema Financeiro de Habitação) e do BNH (Banco Nacional de Habitação) em 1964, não atingiram os resultados esperados.

Recentemente o Governo Federal lançou o Programa Nacional de Habitação Popular que visa a construção de 2 milhões de moradias para famílias com renda mensal de até 3 salários mínimos. O investimento realiza-se com uma combinação de recursos do FGTS e do orçamento geral da união, acrescidos ainda de contrapartida proveniente de estados e municípios. Os bens e serviços essenciais à implantação de cada projeto obedecem os seguintes percentuais: 50% do FGTS, 30% da união, 20% dos estados e municípios. A falta de capacidade financeira das famílias é superada pela concessão de subsídio da união, estados e municípios segundo dados da Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU, 1998).

Os projetos das unidades habitacionais a serem construídas dentro do Programa Nacional de Habitação Popular obedecem a um padrão mínimo de acabamento com as seguintes características (SEDU, 1998):

- Previsão de ampliação da unidade habitacional e método construtivo que permita a execução desta ampliação com facilidades;
- Área mínima referencial de 38 m², composta de sala, cozinha, banheiro e 2 quartos.
- Regime de construção através de administração direta, empreitada global, mutirão ou autoconstrução.
- Custos médios para edificação das unidades habitacionais: Administração Direta - R\$ 5.830,00; Empreitada Global - R\$ 7.000,00; Autoconstrução/Mutirão - R\$ 3.800,00.

Contudo, a política nacional para a habitação, do ponto de vista social e economicamente sustentável para o setor, não pode estar apoiada somente em programas de mutirão ou autoconstrução. Uma alternativa para o desenvolvimento do setor é a efetiva participação da iniciativa privada no programa.

Diante deste quadro, a USIMINAS lançou o programa USITETO “Solução Usiminas para a Habitação Popular” e escolheu as habitações populares como tema do 2º Prêmio Usiminas Arquitetura em Aço.

Será escopo deste trabalho a análise estrutural e construtiva do projeto classificado em 2º lugar no referido concurso.

1.2 - SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS

A construção artesanal está sendo cada vez mais substituída pela industrializada, devido ao desenvolvimento de novas tecnologias e produtos industrializados que estão conquistando o mercado da construção civil da América Latina (Pedrazzi, 1998), estas já consagradas em países desenvolvidos da Europa, Estados Unidos e Japão.

Basicamente, entende-se como sistema construtivo industrializado, o sistema composto pela a estrutura, laje, instalações elétricas e hidráulicas e os painéis de vedação externos e internos. Segundo Ramos (1997), os painéis de vedação *“são aqueles que são projetados e solucionados para substituir as alvenarias numa construção, podendo ser autoportantes ou não, isolantes acústicos ou não, e isolantes térmicos ou não, mas sempre estanques à umidade e à chuva”*.

Os sistemas construtivos industrializados apresentam vantagens no que se refere ao peso por m² de construção que, conseqüentemente, aliviam as cargas na estrutura e nas fundações, uma maior velocidade construtiva, qualidade, redução de retrabalho, precisão dos materiais entre outras. A utilização de painéis de paredes e lajes industrializadas apresenta flexibilidade para futuras ampliações da construção, pelo fato dos mesmos serem modulares (Krüger, 2000).

Os sistemas industrializados de construção diferenciam-se das soluções convencionais em função da qualidade e do custo da mão-de-obra empregada intensivamente.

Empresas de construção civil vêm modificando suas metodologias de trabalho com a implantação de produtos e tecnologias industrializadas. Assim o desenvolvimento da construção deve ser na direção do aumento de produtividade. Este aumento será efetivo com a simplificação da construção, eliminando as interferências entre cada parte da obra, a finalização de cada serviço, além da adoção de práticas gerenciais mais modernas (Techné nº 32, 1998).

Um exemplo da utilização de processos industrializados é a construção do Shopping Frei Caneca na cidade de São Paulo. O gerenciamento e a construção deste empreendimento foi realizado pela construtora Zeeni Reis Barros. Foram utilizados diversos produtos industrializados como os perfis metálicos soldados para as estruturas, decks metálicos para as lajes, painéis pré-moldados de concreto nas fachadas, painéis de gesso acartonado nas divisórias internas e materiais de proteção contra fogo das estruturas (Rodrigues, 2000).

Com a utilização de produtos industrializados, a construção civil passa pela substituição da visão do material por uma visão sistêmica de toda a cadeia produtiva.

Com a abertura do mercado brasileiro aos produtos e tecnologias internacionais, os fabricantes e fornecedores nacionais passaram também a investir no desenvolvimento de novos materiais e aprimoramento tecnológico. Atualmente, já encontram-se instaladas no Brasil empresas como Placo, Lafarge, Knauf, Reago e outras que produzem produtos industrializados para construção civil.

Estes produtos e tecnologias adequados à construção metálica, pois esta requer produtos industrializados que proporcionem vantagens competitivas nas análises de custo dos empreendimentos.

Como exemplo de novas tecnologias construtivas, a figura 1.1 ilustra a construção de uma residência estudantil na Universidade de Cardiff, Reino Unido que foi publicada na revista do International Iron and Steel Institute (IISI, 1996). Trata-se de módulos de aço com paredes em painéis de chapas compostas de aço galvanizado, cimento fibroso e painéis sanduíche. A figura 1.2 ilustra o módulo estrutural de aço. A estrutura é reforçada e ligada por perfis formados à frio de 3 mm fabricados para se adequar a cada local.



(a)



(b)



(c)

Figura 1.1 – Residência estudantil na Universidade de Cardiff, Reino Unido, fabricada em módulos de aço. a) na fase de montagem ; b) na fase de acabamento e ; c) concluída (IISI, 1996).

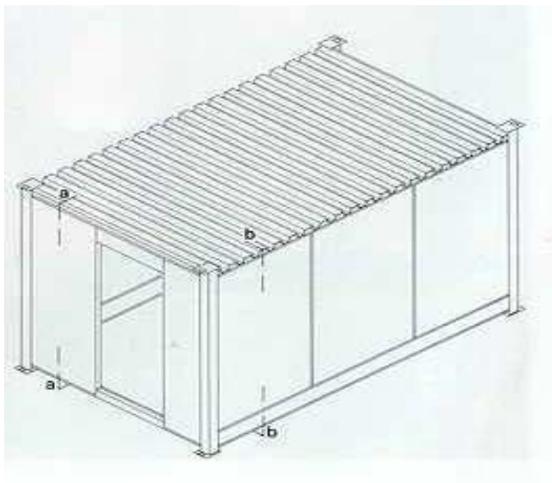


Figura 1.2 – Módulo estrutural utilizado na Residência Estudantil (IISI, 1996).

O mercado de edifícios residenciais no Japão é dominado pela construção modular e cerca de 150.000 edificações são produzidas anualmente utilizando este conceito. Devido ao elevado custo dos terrenos, as construções modulares tornaram-se essenciais para a viabilização das obras devido à velocidade construtiva e ao baixo custo (IISI, 1996).

Na Inglaterra, a maioria das empresas optam por trabalhar com sistemas modulares. Com a construção de sistemas modulares e a utilização de materiais industrializados pode-se reduzir os custos da obra em cerca de 60% segundo estudo do The Steel Construction Institute publicado no *Modular Construction Using Light Steel Framing* (SCI,1999).

Existem uma série de fatores que fazem com que construções modulares em aço sejam diferentes das construções tradicionais. Dentre eles, destacam-se a pré-fabricação dos elementos estruturais, das lajes e dos materiais utilizados para fechamentos externos e internos. Outro parâmetro é a construção à seco (dry construction). A utilização de materiais que proporcionam sujeira, poeira e entulho mostra-se incompatível com os

conceitos modernos de construção. Os arquitetos do futuro terão que aceitar o conceito de *modular discipline*, ou seja, o uso da modulação de dimensões visando facilitar o projeto, a fabricação e a montagem da obra (Davies, 1999).

1.3 – OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é propor diferentes soluções estruturais e construtivas a partir do projeto arquitetônico, de edifício de até 04 pavimentos em perfis formados à frio, elaborado pela equipe coordenada pelo arquiteto Paulo Gustavo von Krüger, classificado em segundo lugar do 2º Prêmio USIMINAS Arquitetura em Aço (Usiminas, 2000).

A solução arquitetônica adotada será avaliada estruturalmente com a proposição de solução não convencional em que os aspectos dimensionais, construtivos, e de estabilidade são avaliados. A partir deste estudo é proposta a solução adequada ao projeto, possibilitando uma avaliação experimental a ser realizada em trabalhos futuros.

Há uma tendência da utilização de perfis formados à frio nas estruturas de edificações para baixa renda, devido ao baixo custo de fabricação e montagem, facilidade de modulação, limitação de pavimentos e menores vãos (Coskun, 1999).

Ressalta-se a título de informação, que os perfis formados à frio são compostos por uma associação de placas esbeltas e estão sujeitas a fenômenos de instabilidade estrutural. Nestes perfis os fenômenos de instabilidade podem ser locais, como a flambagem local e distorcional que considera a influência do tipo de seção transversal e das paredes que a constituem, e globais, como a flambagem por flexão. A melhor utilização destes perfis está relacionada a análise destes fenômenos, e ainda o conhecimento da interação entre modos de instabilidade locais e globais.

1.4 – ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 2 apresenta-se uma caracterização completa do projeto arquitetônico e dos materiais utilizados, detalhando-se as principais características técnicas dos materiais utilizados nas lajes, na estrutura, nos fechamentos externos e nas divisórias internas.

No Capítulo 3 tem-se o estudo estrutural do projeto arquitetônico. São avaliados dois modelos estruturais, sendo o primeiro constituído por módulos estruturais de 3m x 4m e o segundo de módulos de 6m x 8m. São estudadas diversas situações estruturais utilizando perfis formados à frio tipo “caixa” no primeiro modelo e de seções tipo I, no segundo modelo. Neste último, os perfis que compõem as vigas são constituídos por um perfil “U” enrijecido soldado à dois perfis “U” simples de modo a formar um perfil tipo I preenchidos por concreto armado de modo a proporcionar maior rigidez aos mesmos. A escolha destes tipos de perfis, que compõem a estrutura, foi determinada buscando-se uma solução prática, em termos de fabricação e montagem e viável economicamente. Analisou-se também as ligações parafusadas tipo “luvas” de aço e tipo “nós” estruturais bem como as ligações soldadas para cada solução estrutural do modelo adotado.

O Capítulo 4 aborda um estudo referente à avaliação do desempenho térmico do projeto arquitetônico analisado. A avaliação do desempenho térmico consiste na elaboração do estudo da temperatura interna do ambiente, checando-se as condições de conforto térmico.

O Capítulo 5 refere-se aos aspectos construtivos do projeto. Descreveu-se principalmente a montagem da estrutura metálica e de seus principais componentes para as soluções estruturais da análise. Plano de montagem, planejamento, equipamentos utilizados, sequência de operações, cuidados necessários, nivelamento e prumo são abordados neste trabalho. Aborda-se também o processo de montagem das paredes externas e internas bem como das lajes.

No Capítulo 6 são apresentadas algumas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. PROJETO ARQUITETÔNICO

2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS DO PROJETO

A habitação popular no Brasil é comumente relacionada a um produto sem qualidade e sem preocupação com o usuário. Estas edificações sempre foram abordadas considerando uma alta produtividade e economia.

O projeto arquitetônico, desenvolvido pela equipe de arquitetos coordenados pelo arquiteto Paulo Gustavo von Krüger, se resume na maleabilidade e atualmente encontra-se em processo de patente. O projeto visa atender o conforto do usuário, a produtividade do processo construtivo, a qualidade e rapidez de execução com custos reduzidos,

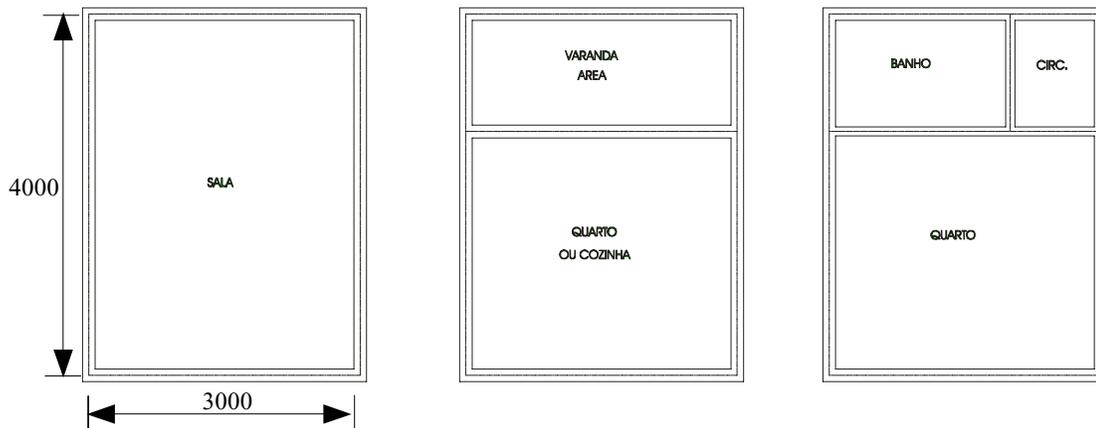
Diferentes tipologias deste projeto arquitetônico poderão ser trabalhadas, devido a maleabilidade do mesmo, e adaptadas de acordo com as características locais e dos usuários.

O projeto arquitetônico desenvolvido tem como principal característica a industrialização de seus componentes. Esta industrialização baseia-se na utilização de estruturas metálicas em perfis conformados a frio, fechamentos externos em placas cimentícias ou de fibrocimento, divisórias internas em painéis de gesso acartonado e lajes em painéis de concreto celular autoclavado. Estes materiais são encontrados no mercado nacional.

A estrutura metálica foi projetada para compor todos os detalhes arquitetônicos, tornando-se viável do ponto de vista estrutural bem como adaptável aos materiais industrializados utilizados no projeto. Porém, o projeto se adapta a outros tipos de materiais como: painéis de concreto celular autoclavado, painéis de solo-cimento, de

concreto protendido, concreto reforçado com fibra de vidro, poliestireno expandido, alvenaria convencional e também materiais alternativos e regionais.

Segundo o autor do projeto arquitetônico estudado neste trabalho, os módulos foram criados a partir de um estudo da área necessária e das dimensões dos materiais utilizados. Estes módulos mantêm o padrão de eixo a eixo de 3x4x3m conforme a planta baixa dos módulos arquitetônicos representados na figura 2.1.



a) Módulo Arquitetônico 01 b) Módulo Arquitetônico 02 c) Módulo Arquitetônico 03

Figura 2.1 – Planta baixa dos módulos estruturais existentes no projeto arquitetônico.

Na tabela 2.1 tem-se a área de cada cômodo que compõe os módulos arquitetônicos. Observa-se que a modulação, considerando-se as divisórias internas, tem a área total de 10,70 m².

Tabela 2.1 – Módulos arquitetônicos com a respectiva descrição de cômodo e área.

Módulo arquitetônico	Cômodo	Área (m ²)
Módulo 01	Quarto	7,18 m ²
	Banheiro	2,23 m ²
	Circulação	1,02 m ²
Módulo 02	Cozinha ou quarto	7,05 m ²
	Área de serviço ou varanda	3,12 m ²
Módulo 03	Sala ou quarto	10,70 m ²

A opção estrutural, baseada em perfis formados a frio, foi adotada devido ao reduzido tamanho dos vãos do projeto, bem como ao baixo custo em comparação com o uso dos perfis soldados e eletrossoldados atualmente existentes no mercado e denominados perfis Usilight (UMSA - Catálogo Técnico, 2000). Adotou-se, neste trabalho, o aço USI-SAC 300, cujas principais características serão descritas no item 2.3.

A estrutura dos módulos estruturais do modelo 01 é constituída por colunas e vigas em perfis formados a frio tipo “caixa” e no modelo 02, por perfis tipo I (02 “U” enrijecidos) para as colunas e tipo I (01 perfil “U” enrijecido soldado a dois perfis “U” simples preenchidos com concreto armado) para as vigas da estrutura metálica. A escolha destes tipos de perfis baseou-se na facilidade de fabricação, montagem e custo reduzido.

2.2 – TIPOLOGIA ADOTADA DO PROJETO ARQUITETÔNICO

A figura 2.2 detalha a opção arquitetônica que foi analisada neste trabalho. Trata-se de um conjunto composto por 04 edifícios de 04 pavimentos, sendo 02 unidades habitacionais por pavimento. Portanto, neste tipo de tipologia são considerados 32 unidades habitacionais com área de 41,47 m² cada.

A circulação vertical se dá por meio de escadas em estrutura metálica, padronizada para atender a tipologia adotada e a circulação horizontal, também metálica e padronizada nas mesmas dimensões dos módulos, através de passarelas protegidas por guarda-corpo em toda sua extensão. A estrutura vertical também é utilizada como suporte de caixa d'água. Nos telhados são utilizadas telhas metálicas onduladas com inclinação de 12%.

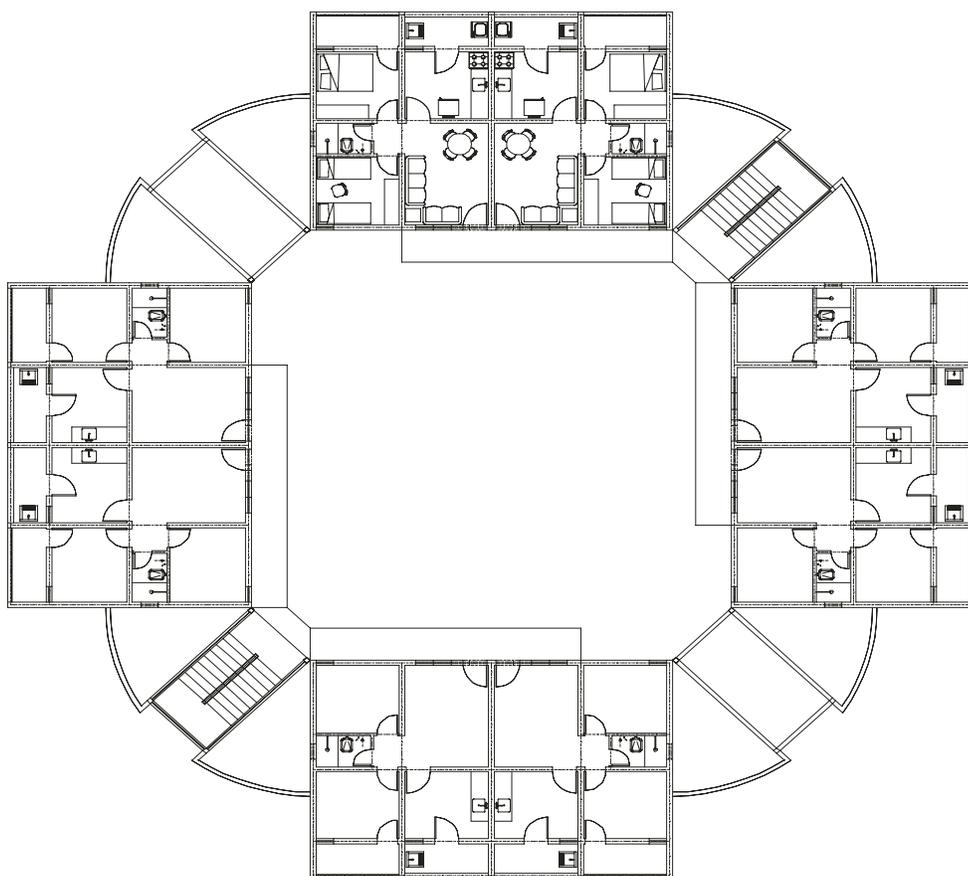


Figura 2.2 – Tipologia adotada para a implantação dos edifícios.

Como os edifícios são iguais, será analisado, apenas um edifício de dimensões 8mx12m com unidades habitacionais de dois quartos, totalizando uma área útil de 41,47 m². A figura 2.3 ilustra o edifício analisado composto de 02 unidades habitacionais, bem como a distribuição interna dos cômodos e lay-out dos mesmos.

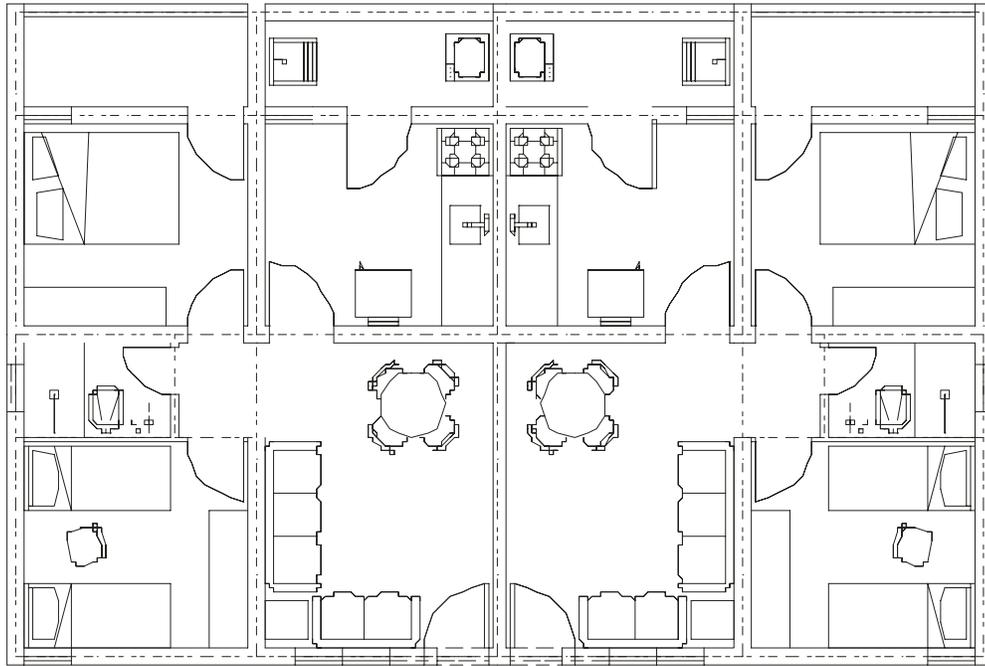


Figura 2.3 – Identificação dos módulos estruturais compoendo 02 unidades habitacionais.

2.3 - AÇO UTILIZADO

O aço utilizado para a estrutura dos módulos é o USI-SAC 300 (denominado anteriormente USI-SAC 41 Multi-Grade), com resistência ao escoamento de 300 MPa e resistência à tração de 402 MPa.

O material utilizado para fabricação dos perfis formados a frio é obtido de bobinas a quente e a frio. A composição química deste aço é descrita na tabela 2.2. Considera-se: e – espessura da chapa de aço; C – carbono; Mn – manganês; Si – silício; P – fósforo; S – enxofre; Cu – cobre e Cr – cromo. Os valores apresentados na tabela 2.2 são considerados máximos (Usiminas, 1998).

Tabela 2.2 - Composição química especificada (% em massa)

Aço	e (mm)	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr
USI-SAC-300	2,0≤e≤12,70	0,18	1,30	≤0,35	0,030	0,030	0,25~0,50	0,40~0,65

Na tabela 2.3 tem-se as principais propriedades mecânicas do aço USI-SAC300. Considera-se: e – espessura do aço; LE – resistência ao escoamento; LR – resistência à tração; BM – Base de Medida (Usiminas, 1998).

Tabela 2.3 - Propriedades mecânicas especificadas

Aço	Tração (Transversal)					Dobramento (Longitudinal)	
	e (mm)	LE N/mm ²	LR N/mm ²	Alongamento			Diâmetro
				e (mm)	BM (mm)	(%)	
USI-SAC-300	2,0≤e≤12,70	≥300	≥ 402	2,0≤e≤5,0	50	19	1,5e
				5,0<e≤12,70	200		

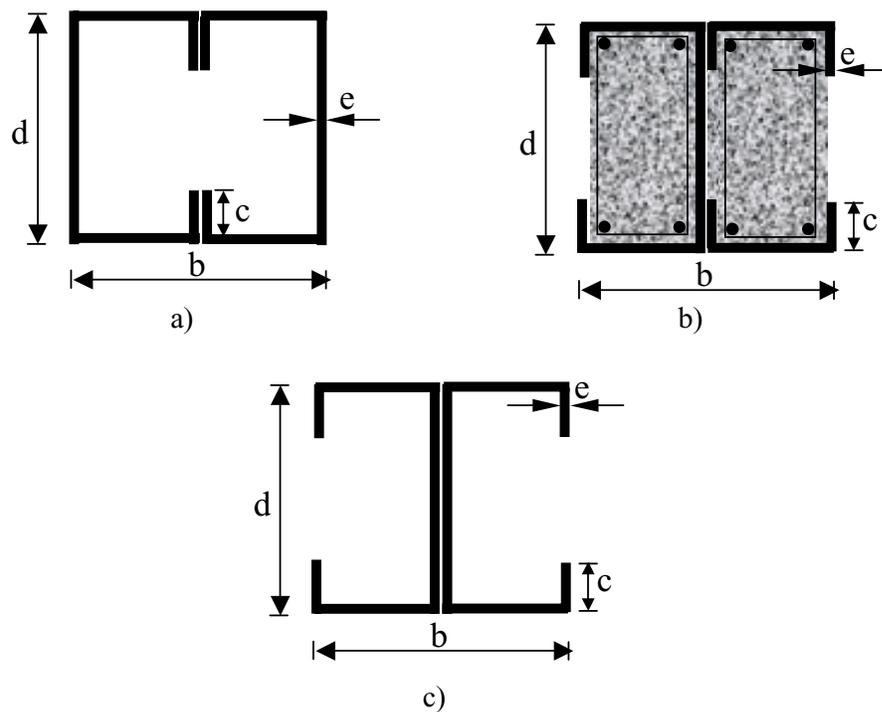
2.4 – PERFIS ADOTADOS

Adotou-se perfis formados a frio, ilustrados na figura 2.4, que são obtidos por processos de dobramento das chapas de aço, tanto por dobradeiras quanto por perfiladeiras. As dobradeiras geralmente trabalham com comprimentos de 3000 a 6000 mm e com uma capacidade de dobrar chapas de até 12,5 mm de espessura. As perfiladeiras podem produzir perfis de qualquer comprimento, estando limitadas a perfis de chapas mais finas, geralmente até a espessura de 3,75mm (Dias, 1997).

Foram analisados dois modelos estruturais que são detalhados no Capítulo 3. O primeiro modelo refere-se aos módulos estruturais de dimensões 3m x 4m. Neste modelo adotou-se os perfis do tipo “caixa” para as colunas e vigas da estrutura metálica e tipo “U” simples para as barras de contraventamento. O perfil tipo “caixa” é um perfil formado

por dois perfis “U” enrijecido, soldados intermitentemente entre si ao longo de seus enrijecedores de modo a formar uma caixa (Queiroz, 1986).

O segundo modelo refere-se aos módulos estruturais de 6m x 8m para os quais adotou-se perfis tipo I (02 “U” enrijecidos soldados ao longo das almas) para as colunas e tipo I preenchido com concreto armado para as vigas da estrutura metálica. Neste último, os perfis que compõem as vigas são constituídos por um perfil “U” enrijecido soldado a dois perfis “U” simples de modo a formar um perfil tipo I, também preenchidos com concreto armado, de modo a proporcionar maior rigidez aos mesmos. A figura 2.4 ilustra a seção transversal dos tipos de perfis utilizados.



d - a altura da seção transversal do perfil;
e - a espessura da chapa;
b - a largura da seção transversal do perfil;
c - a largura do enrijecedor.

Figura 2.4 – Seção transversal dos perfis utilizados. a) vigas e colunas no modelo estrutural 01; b) vigas no modelo estrutural 02; c) colunas no modelo estrutural 02.

A escolha da utilização dos perfis das vigas do modelo estrutural 02, deve-se ao fato da existência de pesquisas anteriores (Machado, 1998) realizadas no Laboratório de Estruturas Prof. Altamiro Tibiriçá Dias, do Departamento de Engenharia Civil, da Escola de Minas, da Universidade Federal de Ouro Preto. Nesta pesquisa foram realizados ensaios de flexão com vigas simplesmente apoiadas, submetidas a duas cargas concentradas. A série de experimentos, em escala real, foi executada com ênfase nos problemas de avaliação de resistência e estimativa de deflexão. Foram ensaiados perfis mistos, com vão de 5,30 metros, constituídos por perfis de chapa dobrada preenchidas com concreto armado. Os resultados conduziram a um elemento estrutural de rigidez elevada quando comparado com um perfil sem preenchimento de concreto. Assim estes perfis podem ser utilizados para grandes vãos e ainda utilizando chapas de pequenas espessuras.

2.5 – DIVISÓRIAS INTERNAS

No projeto arquitetônico, foram especificados como divisórias internas, os painéis de gesso acartonados. Basicamente, o sistema é constituído de perfis metálicos galvanizados revestidos com chapas de gesso acartonado, as quais formam a parede pré-fabricada. Este sistema construtivo a seco também é chamado de sistema “Dry-wall”. (Lafarge Gypsum, 1999).

Este tipo de vedação a seco proporciona uma série de vantagens, tais como alívio de cargas na estrutura, e conseqüentemente nas fundações, devido ao seu peso (22 kg/m²); facilidade na passagem das instalações elétricas e hidráulicas; ausência de umidade durante a construção; isolamento térmico e acústico; facilidade de manutenção; melhor acabamento; baixa geração de entulho e rapidez de execução, estimando-se que seja cerca de 2,5 vezes mais rápido que o sistema convencional de alvenaria (IPT, 2001).

Atualmente existem três grandes fabricantes deste produto: Lafarge, Placo e Knauf. Estas empresas já possuem fábricas instaladas no Brasil com previsões de produção de cerca de 40 milhões de m²/ano a partir de 2002.

2.5.1 – Componentes do sistema “dry wall”

As informações a seguir são baseadas na literatura técnica da empresa Lafarge Gypsum e em dados de referência técnica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1997). A figura 2.5 ilustra o sistema construtivo tipo “dry wall”.

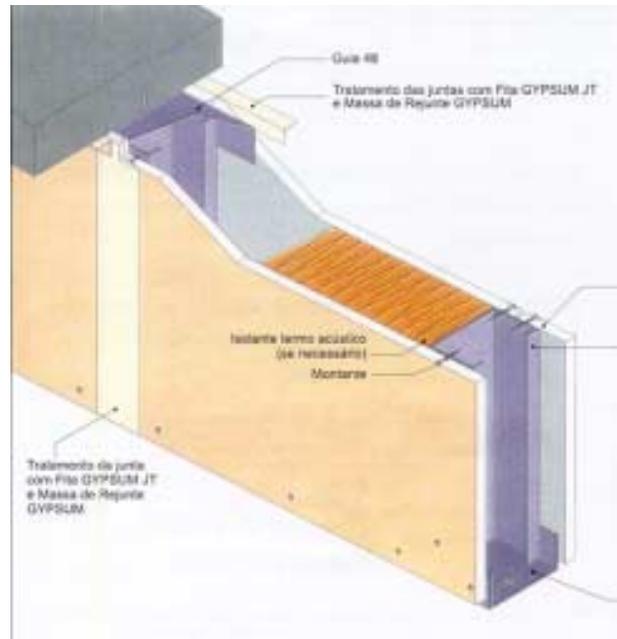


Figura 2.5 – Esquema básico do sistema construtivo em “dry wall”.

São descritos a seguir os principais componentes do sistema “dry wall” constituído pelas chapas de gesso acartonado, perfis metálicos galvanizados, acessórios e juntas de movimentação.

2.5.1.1 - Chapas de gesso acartonado

Os painéis são compostos por chapas em gesso revestidas com folhas de papelão em ambos os lados. A função do papelão é proporcionar ao gesso resistência aos esforços de tração e flexão. Quanto ao gesso, este possibilita resistência à compressão. As chapas possuem largura de 1,20 m, comprimentos de 2,60 a 3,00 m e espessuras de 12,5 mm,

15 mm e 18 mm, e podem ser de três tipos: chapas tipo standard para uso geral, chapas resistentes à umidade aplicadas nas áreas molháveis e chapas resistentes ao fogo (Lafarge Gypsum, 1999).

A tabela 2.4 ilustra as principais características técnicas exigidas para as chapas de gesso acartonado segundo norma francesa (AFNOR, 2001).

Tabela 2.4 – Características Gerais Exigidas para as Chapas de Gesso Acartonado (IPT, 1997).

Características gerais exigidas para as chapas	Limites
Tolerância na espessura	± 0,40 mm
Tolerância na largura	- 5 mm
Tolerância no comprimento	- 5 mm
Densidade Superficial de Massa	8,50 a 12,00 kg/m ²
Resistência à flexão transversal	0,21 kN
Resistência à flexão longitudinal	0,60 kN

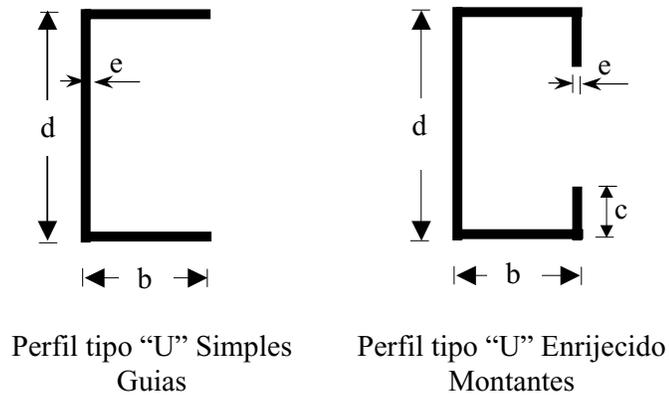
2.5.1.2 - Perfis metálicos de aço galvanizado

As chapas em gesso acartonado são fixadas em guias e montantes metálicos com tratamento superficial em alumínio ou zinco. Estas guias e montantes metálicos são constituídos por perfis dobrados com espessuras médias de 0,56 mm a 0,60 mm. As guias são perfis com seção “U” simples (largura nominal de 48 a 70 mm). Os montantes são perfis com seção “U” enrijecido (largura nominal de 47 a 69 mm). A altura nominal das abas é de 35 mm (Mitidieri Filho, 1997).

Em muitas edificações pode-se utilizar este sistema de modo que a estrutura de fixação das placas (guias e montantes) trabalhem como elementos estruturais. Não será escopo

deste trabalho a utilização da estrutura de fixação dos painéis como elementos estruturais.

A figura 2.6 ilustra os principais tipos de perfis utilizados nas paredes em chapas de gesso acartonado e sua função estrutural.



d – altura do perfil;
b – largura do perfil;
e – espessura da chapa;
c – largura do enrijecedor.

Figura 2.6 – Tipos de perfis galvanizados utilizados nas paredes e função estrutural dos mesmos.

2.5.1.3 - Acessórios

São empregados como acessórios os parafusos autoatarrachantes para a fixação das chapas de gesso, lã de vidro para preenchimento entre as chapas, massa especial para rejuntamento, resinas, fita de papel microperfurada nas juntas das chapas, fita de papel reforçado e cantoneiras metálicas para acabamento e proteção dos cantos (Lafarge Gypsum, 1999).

2.5.1.4 - Juntas de movimentação

Neste sistema existem as juntas de movimentação e as juntas flexíveis ou telescópicas.

As juntas de movimentação são necessárias nas uniões entre painéis e devem ser adotadas em paredes de grandes dimensões, de modo que não haja fissuração. É recomendada uma junta a cada 50 m² para paredes simples, ou seja, paredes com uma camada de gesso em cada face e a cada 70 m² para paredes duplas ou paredes com duas camadas de gesso em cada face (Krüger, 2000).

As juntas flexíveis ou telescópicas são utilizadas quando as estruturas são flexíveis ou deformáveis. As paredes compostas por placas de gesso acartonado permitem uma movimentação ou acomodação de cerca de 15 mm, devido às deformações da estrutura suporte. Isto acontece devido à existência de pequenas folgas entre seus componentes, montantes e guias, e entre as chapas de gesso e estrutura (Mitidieri Filho, 1997).

2.5.2 – Identificação das paredes

A identificação dos painéis consiste na designação padrão do sistema por meio da espessura da parede, largura e espaçamento entre montantes. A figura 2.7 detalha a forma de identificação das paredes.

Ressalta-se que esta identificação dos painéis refere-se à nomenclatura adotada pela Lafarge Gypsum, mas que existem diversos fabricantes do mesmo tipo de produto que possuem outras identificações.

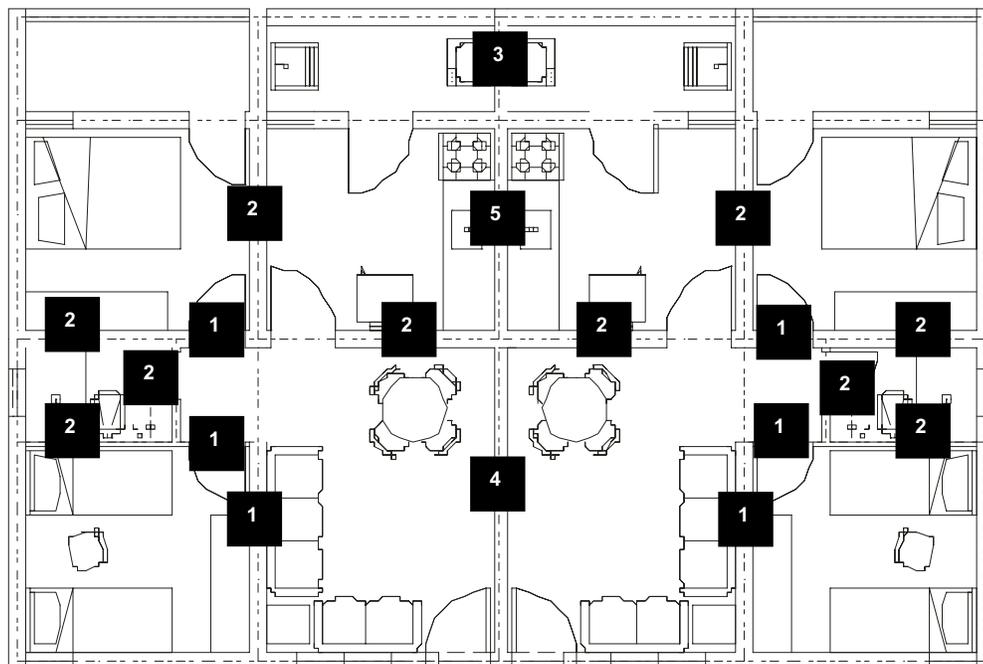
D 100 / 75 / 60 LV 50 / 2 Painéis Lafarge Gypsum ST	
D - Parede de divisão interna	
100 - Espessura final da parede (mm)	
75 - Largura da estrutura	
60 - Distância entre montantes (cm)	
LV – Tipo isolante: lã de vidro	
50 – Espessura (mm)	
2 – Número de painéis	
Lafarge Gypsum ST: Tipo de painel	

Figura 2.7 – Exemplo de identificação das paredes do sistema construtivo “dry wall”.

2.5.3 – Paredes internas utilizadas no projeto

O projeto arquitetônico analisado neste trabalho possui três tipos de módulos estruturais que foram descritos na figura 2.1. A figura 2.8 identifica, através de números, os tipos de paredes internas utilizadas no projeto arquitetônico e que serão descritas a seguir.

São utilizadas cinco tipos de paredes internas que são detalhadas nas tabelas 2.5 a 2.9. O detalhamento de cada parede refere-se a identificação da mesma bem como o local onde será aplicada. Cada parede é descrita de uma maneira geral e apresenta-se ainda uma lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico de 08 unidades habitacionais do edifício. Considerou-se um pé-direito de 2,90m e uma distância de 60cm entre os eixos dos montantes para a fixação das chapas de gesso acartonado.



- 1** Divisórias entre quarto e sala e sobre as portas (empena).
- 2** Divisórias entre banho/quartos, cozinha/quartos, e entre cozinha/sala.
- 3** Divisória entre as áreas de serviço.
- 4** Divisória entre as salas.
- 5** Divisória entre as cozinhas.

Figura 2.8 – Identificação dos tipos de paredes internas utilizadas no projeto arquitetônico.

2.5.3.1 - Parede tipo 1 – face simples

Parede tipo D 100/75/60 2ST de 100mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de gesso tipo ST (standard) de 12,50mm em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 75mm. Este espaço de 75mm permite a passagem de dutos para instalações elétricas além da colocação dos isolantes térmicos e acústicos (lã de vidro ou lã de rocha).

A tabela 2.5 detalha as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.5 – Descrição da parede tipo 1 do projeto arquitetônico

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	406,46	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
▪ Painel ST BR 12,5	m ²	214,02
▪ Guia 75	m	83,18
▪ Montante M75	m	312,76
▪ Parafuso TF 212x25	un	2540,40
▪ Parafuso RT 421x9,5	un	203,23
▪ Cola Gypsum	kg	10,16
▪ Massa de Rejunte	kg	71,13
▪ Fita JT	m	304,85
▪ Cartucho/ Pino Hilti	un	175,20

2.5.3.2 - Parede tipo 2 – face simples

Parede tipo D 100/75/60 1ST + 1RU de 100mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de gesso de 12,50mm, sendo um ST (standard) e outro RU (resistentes à umidade), em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 75mm.

A tabela 2.6 detalha as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.6 – Descrição da parede tipo 2 do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	982,75	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
▪ Painel ST BR 12,5	m ²	258,39
▪ Painel RU BR 12,5	m ²	258,39
▪ Guia 75	m	187,51
▪ Montante M75	m	701,78
▪ Parafuso TF 212x25	un	6142,20
▪ Parafuso RT 421x9,5	un	491,37
▪ Cola Gypsum	kg	24,57
▪ Massa de Rejunte	kg	171,98
▪ Fita JT	m	737,07
▪ Cartucho/ Pino Hilti	un	423,60

2.5.3.3 - Parede tipo 3 – face simples

Parede tipo D 100/75/60 2RU de 100mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de gesso de 12,50mm, tipo RU (resistentes à umidade), em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 75mm. Esta parede é aplicada entre as áreas de serviço e possui isolamento acústico adequado na divisão entre duas unidades habitacionais.

A tabela 2.7 detalha as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.7 – Descrição da parede tipo 3 do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	51,50	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
▪ Paineis RU BR 12,5	m ²	27,84
▪ Guia 75	m	9,32
▪ Montante M75	m	34,80
▪ Parafuso TF 212x25	un	321,90
▪ Parafuso RT 421x9,5	un	25,75
▪ Cola Gypsum	kg	1,28
▪ Massa de Rejunte	kg	9,01
▪ Fita JT	m	38,63
▪ Cartucho/ Pino Hilti	un	22,20

2.5.3.4 - Parede tipo 4 – face dupla

Parede tipo D 125/75/60 4ST de 125mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de gesso de 12,50mm em cada face, tipo ST (standard) totalizando 04 painéis de gesso, em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 75mm. Ressalta-se que é recomendável a utilização de paredes duplas na divisa entre unidades habitacionais.

A tabela 2.8 detalha as informações técnicas da parede bem como a lista de material para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.8 – Descrição da parede tipo 4 do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	176,78	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
▪ Painel ST BR 12,5	m ²	186,18
▪ Guia 75	m	32
▪ Montante M75	m	119,62
▪ Parafuso TF 212x25	un	265,17
▪ Parafuso TF 212x45	un	1104,90
▪ Parafuso RT 421x9,5	un	88,39
▪ Cola Gypsum	kg	4,42
▪ Massa de Rejunte	kg	30,94
▪ Fita JT	m	132,59
▪ Cartucho/ Pino Hilti	un	76,20

2.5.3.5 - Parede tipo 5 – face dupla

Parede tipo D 125/75/60 2ST + 2RU de 125mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de gesso de 12,50mm em cada face, sendo em uma face tipo ST (standard) e na outra face tipo RU (resistente à umidade), em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 75mm.

A tabela 2.9 detalha as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.9 – Descrição da parede tipo 5 do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	125,28	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
▪ Painel ST BR 12,5	m ²	66,12
▪ Painel RU BR 12,5	m ²	66,12
▪ Guia 75	m	22,68
▪ Montante M75	m	84,82
▪ Parafuso TF 212x25	un	187,92
▪ Parafuso TF 212x45	un	783
▪ Parafuso RT 421x9,5	un	62,64
▪ Cola Gypsum	kg	3,13
▪ Massa de Rejunte	kg	21,92
▪ Fita JT	m	93,96
▪ Cartucho/ Pino Hilti	un	54

2.6 – FECHAMENTOS EXTERNOS

Adotou-se para as vedações externas as placas cimentícias, cuja instalação é semelhante à dos painéis de gesso acartonado. Este produto é denominado Superboard e é fabricado pela empresa Pizarreno Sociedad Industrial, pertencente ao Grupo Etex (Pizarreno Sociedad Industrial, 2000).

Este sistema de vedações é constituído de placas de fibrocimento fixadas externamente numa estrutura de perfis galvanizados. A escolha por este tipo de fechamento externo se dá pelas diversas vantagens que o mesmo apresenta, tais como: leveza, facilidade de montagem, resistência do material, acabamento final, limpeza do canteiro de obras, etc. (Knauf, 1999).

2.6.1 – A placa cimentícia

A placa cimentícia é uma placa resultante da mistura homogênea de cimento Portland, quartzo e fibras de celulose sem amianto, submetida ao processo de autoclave. As fibras de celulose conferem à placa o comportamento elástico desejável e a resistência à flexão. O processo de autoclave possibilita a obtenção de um produto de alta resistência e precisão dimensional, reduzindo ao mínimo o coeficiente de dilatação e absorção de umidade. Estas placas ou chapas são incombustíveis e resistentes à água. As chapas possuem dimensões padronizadas, de acordo com uma modulação de 60x60cm, no comprimento (2,40m), na largura (1,20m) e na espessura (6, 8, 10 e 15mm). Mantém-se suas características químicas entre as temperaturas de 0° a 105°C (Pizarreno Sociedad Industrial, 2000).

A figura 2.9 ilustra a resistência à umidade das placas cimentícias.



Figura 2.9 – Figura ilustrativa da resistência a unidade da placa cimentícia (Knauf, 1999).

A tabela 2.10 detalha as características técnicas das placas cimentícias (Pizarreno Sociedad Industrial, 2000).

Tabela 2.10 – Características técnicas da placa cimentícia Superboard.

Características Técnicas	
Densidade	1,33 g/cm ³
Coefficiente de dilatação térmica	5,8 x 10 ⁻⁶ m/m°C
Resistência à flexão	160 kgf/cm ²
Módulo de Elasticidade – transversal	103.000 kgf/cm ²
Módulo de Elasticidade – longitudinal	120.000 kgf/cm ²
Índice de redução sonora	40 dB aproximadamente
Coefficiente de condutividade térmica	0,29 W/m°k

A figura 2.10 ilustra a fixação da placa cimentícia nos perfis metálicos galvanizados.

Ressalta-se que o acabamento final pode ser aplicado sobre a placa e no padrão definido de acordo com o projeto arquitetônico.



Figura 2.10 – Instalação da placa cimentícia nos montantes galvanizados (Knauf, 1999).

2.6.2 - Perfis metálicos de aço galvanizado

As placas cimentícias são fixadas em guias e montantes metálicos com tratamento superficial em alumínio ou zinco. Estas guias e montantes metálicos são constituídos por perfis dobrados com espessuras médias 0,90 mm e altura de 90mm. As guias são perfis com seção “U” simples, os montantes em perfil tipo “U” enrijecido e nas regiões de maiores esforços são utilizados perfis tipo “caixa” (Mitidieri Filho, 1997). A figura 2.11 ilustra os principais tipos de perfis utilizados como estrutura das paredes em placas cimentícias.

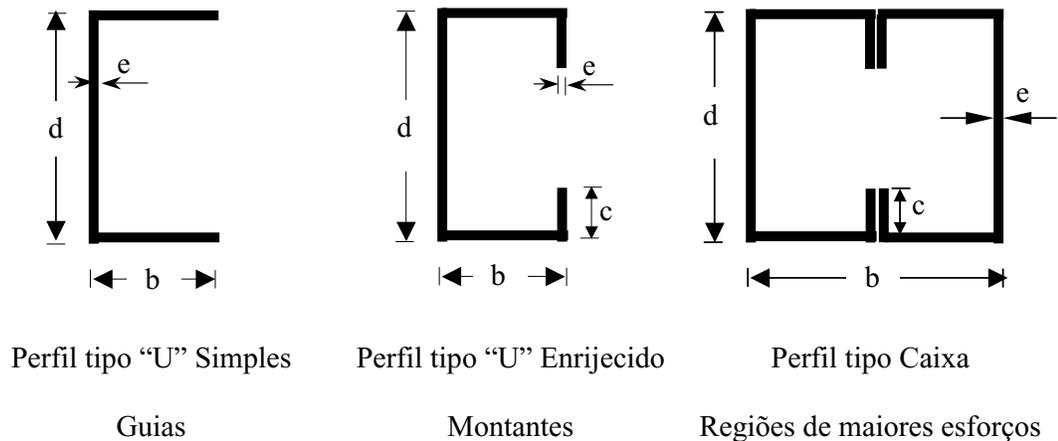
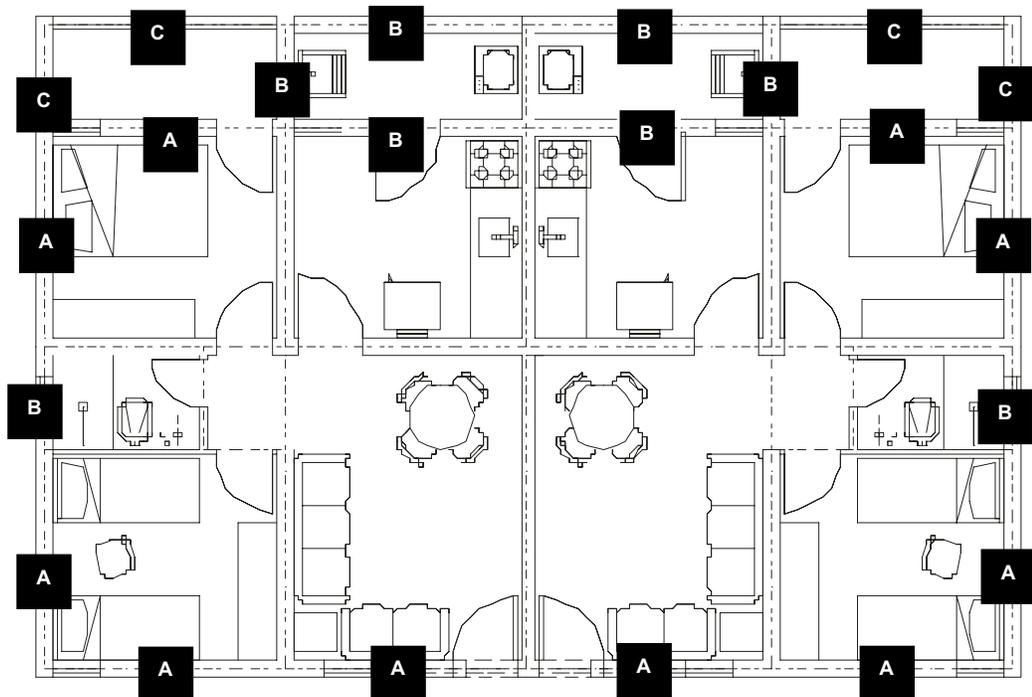


Figura 2.11 – Perfis galvanizados utilizados para guias, montantes e reforços.

2.6.3 – Paredes externas utilizadas no projeto

A figura 2.12 identifica, por meio de letras maiúsculas, os tipos de paredes externas utilizadas no projeto arquitetônico. Considerou-se um pé-direito de 3m e uma distância de 40cm entre os eixos dos montantes para a fixação das chapas de gesso acartonado.

São utilizadas três tipos de paredes externas conforme tabelas 2.11 a 2.13. O detalhamento de cada parede refere-se à identificação da mesma bem como o local onde será aplicada. Cada parede é descrita de uma maneira geral, apresentando-se ainda os quantitativos de material total que compõem a mesma.



- A** Paredes externas dos quartos e nas divisórias entre quartos e varandas.
- B** Paredes entre varandas e áreas de serviço, entre áreas de serviço e cozinhas e entre áreas de serviço e banheiro.
- C** Paredes externas da varanda.

Figura 2.12 – Identificação das paredes externas do projeto arquitetônico

2.6.3.1 - Parede externa tipo A

Parede tipo D 112,5 / 90 / 40 1SB + 1ST de 112,5mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 01 painel de placa cimentícia SB (Superboard) de 10,00 mm em uma das faces e outro tipo ST (standard) de 12,5mm, em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 90mm.

A tabela 2.11 ilustra as informações técnicas da parede bem como a lista de material para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.11 – Descrição da parede externa tipo A do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	1.213,92	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
Guia 90 com 3,00 metros	m	309
Montante 90 chapa 08 com 6,00 metros	m	1144,50
Placa externa 10mm rebaixada (2,40m)	m ²	318,96
Painel BR 12,5mm – 1,20 x 2,40	m ²	357,12
Parafuso GN 25 – 6x25	un	3985
Parafuso AAE MR 4,2 x 32 AC EE	un	3985
Massa Pregylis 35	kg	121,75
Massa Acrílica	l	62,50
Pregyfira JT	m	450
Fita Externa	m	399,15
Cartucho Tiro Indireto	un	600
Pino CC20 XZF 27 – Hilti	un	600
Selador Primer Gard.	l	9,0
Parafuso Pregy RT 421x9,5	un	960

2.6.3.2 - Parede externa tipo B

Parede tipo D 112,5 / 90 / 40 1SB + 1RU de 125mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 01 painel de placa cimentícia SB (Superboard) de 10,00 mm em uma das faces e outro tipo RU (Resistente à Umidade) de 12,5mm, em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 90mm.

A tabela 2.12 ilustra as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.12 – Descrição da parede externa tipo B do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	1.213,92	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
Guia 90 com 3,00 metros	m	172,5
Montante 90 chapa 08 com 6,00 metros	m	483
Placa externa 10mm rebaixada (2,40m)	m ²	141,84
Painel RU 12,5mm – 1,20 x 2,60	m ²	166,14
Parafuso GN 25 – 6x25	un	1690
Parafuso AAE MR 4,2 x 32 AC EE	un	1690
Massa Pregylis 35	kg	59,25
Massa Acrílica	l	27,8
Pregyfira JT	m	225
Fita Externa	m	177,75
Cartucho Tiro Indireto	un	387
Pino CC20 XZF 27 – Hilti	un	387
Selador Primer Gard.	l	3,96
Parafuso Pregy RT 421x9,5	un	490

2.6.3.3 - Parede externa tipo C

Parede tipo D 110 / 90 / 40 1SB + 1SB de 110mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de placa cimentícia tipo SB de 10,00 mm sendo um painel em cada face, em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 90mm.

A tabela 2.13 mostra as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.13 – Descrição detalhada da parede externa tipo C do projeto

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	124,80	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
Guia 90 com 3,00 metros	m	22,5
Montante 90 chapa 08 com 6,00 metros	m	102
Placa externa 10mm rebaixada (2,40m)	m ²	65,52
Parafuso AAE MR 4,2 x 32 AC EE	un	800
Massa Acrílica	l	6,48
Fita Externa	m	90
Cartucho Tiro Indireto	un	62
Pino CC20 XZF 27 – Hilti	un	62
Selador Primer Gard.	l	2,34

2.7 – LAJES

2.7.1 – Generalidades

Foram adotadas lajes em painéis de concreto celular armado autoclavado. De acordo com o Comitê Euro-Internacional Du Béton classifica-se como CCA (concreto celular autoclavado) todos aqueles materiais constituídos por uma mistura de água, cimento, cal, areia ou outros materiais silicosos, com ar incorporado via aditivos (Sical, 2000). Trata-se de um concreto leve obtido através de um processo industrial, com a utilização de cimento, cal ou ambos e materiais ricos em sílica. Esta mistura se expande por meio da utilização de produtos formadores de gases e água, submetidos durante a cura à pressão e temperatura através de vapor saturado (Krüger, 2000).

A utilização do cimento e/ou cal proporciona o endurecimento do concreto, interferindo no processo de fabricação, principalmente no tempo de pré-cura e sistema de corte. É utilizado o pó de alumínio, em sua mistura, para que este produto químico possa liberar gás hidrogênio, formando-se assim, poros na estrutura do concreto celular (Sical, 2000).

A escolha deste tipo de laje baseou-se no conceito de industrialização do projeto. Os parâmetros principais analisados nesta escolha foram a modulação (3m) dos painéis, a facilidade de instalação, a leveza dos mesmos, dispensa de escoramentos e a qualidade do material.

A utilização deste painel como laje apresenta diversas vantagens, tais como:

- Redução das cargas nas fundações e na estrutura pois possui densidade inferior a 1/3 da densidade do concreto armado;
- Industrialização dos serviços de montagem;
- Facilidade na passagem de tubulações;
- Economia de revestimentos.

Aborda-se nos itens a seguir as considerações gerais sobre a fabricação e as principais características dos painéis de concreto celular autoclavado.

2.7.2 – Fabricação dos painéis

A fabricação dos painéis de concreto celular autoclavado consiste resumidamente das etapas de moagem da areia, pesagem dos materiais constituintes, mistura dos materiais constituintes, moldagem, corte, cura e armazenamento.

A moagem de areia se dá preliminarmente por meio de um britador e posteriormente através de um moinho giratório, na qual a areia é misturada com água. Esta fase é importante pois a uniformidade na moagem das partículas determina produtos com características homogêneas (Krüger, 2000).

A mistura dos materiais constituintes como cimento, água, alumínio e a lama (cal e areia) do tanque de homogeneização é feita em um misturador que está interligado diretamente com os silos de estocagem e o tanque de homogeneização através de tubulações.

Após a mistura há o preenchimento dos moldes metálicos até meia altura, pois há posteriormente uma expansão volumétrica devido à reação química do pó de alumínio com o hidróxido de cálcio da cal, preenchendo por completo a altura dos moldes.

Após a moldagem e a pré-cura da argamassa, as faces laterais dos moldes são retiradas. Corta-se as bordas laterais e o topo do bloco para posterior remoção do material. No caso dos painéis, ocorre o corte longitudinal do material através de arames de aço paralelos e tensionados, cujo movimento se assemelha ao de uma serra de carpinteiro.

Após o corte, procede-se a cura do material através de autoclaves que forneçam alta pressão e temperatura. Ao sair das autoclaves os painéis são submetidos ao controle de qualidade de produção após atingir a temperatura ambiente e em seguida armazenados para posterior entrega ao cliente.

2.7.3 – Painel de concreto celular autoclavado

Os painéis possuem uma resistência de 4,5 MPa e uma densidade de 750 kg/m³. A armação no interior do painel é constituída de aço CA60B com diâmetro de 6,30 mm. Esta armação é eletrossoldada e dimensionada de acordo com a sobrecarga e segundo os critérios da DIN4223. Os painéis não necessitam de escoramentos e fôrmas durante a aplicação (Sical, 2000). A figura 2.13 ilustra a armadura utilizada no painel de concreto celular autoclavado.



Figura 2.13 – Vista da armação dos painéis de concreto celular autoclavado
(Sical, 2000)

Estes painéis são fornecidos no comprimento de até 300cm, largura de 40 ou 50cm e espessuras de 10, 12,5, 15, 17,5 e 20cm definidas em função do carregamento. A tabela 2.14 detalha melhor as dimensões dos painéis com maiores características técnicas.

Tabela 2.14 - Dimensões e características dos painéis de concreto celular autoclavado
(Sical, 2000)

Comprimento (cm)	Espessura (cm)	Peso Próprio (kg/m ²)	Peso de cada peça (kg)		Sobrecarga Admissível (kg/m ²)
			b = 40 cm	b = 50 cm	
300	10	75	90	115	140
	12,5	95	115	140	290
	15	115	135	170	490

A figura 2.14 ilustra em perspectiva o painel de concreto celular autoclavado com comprimento máximo de 300cm.

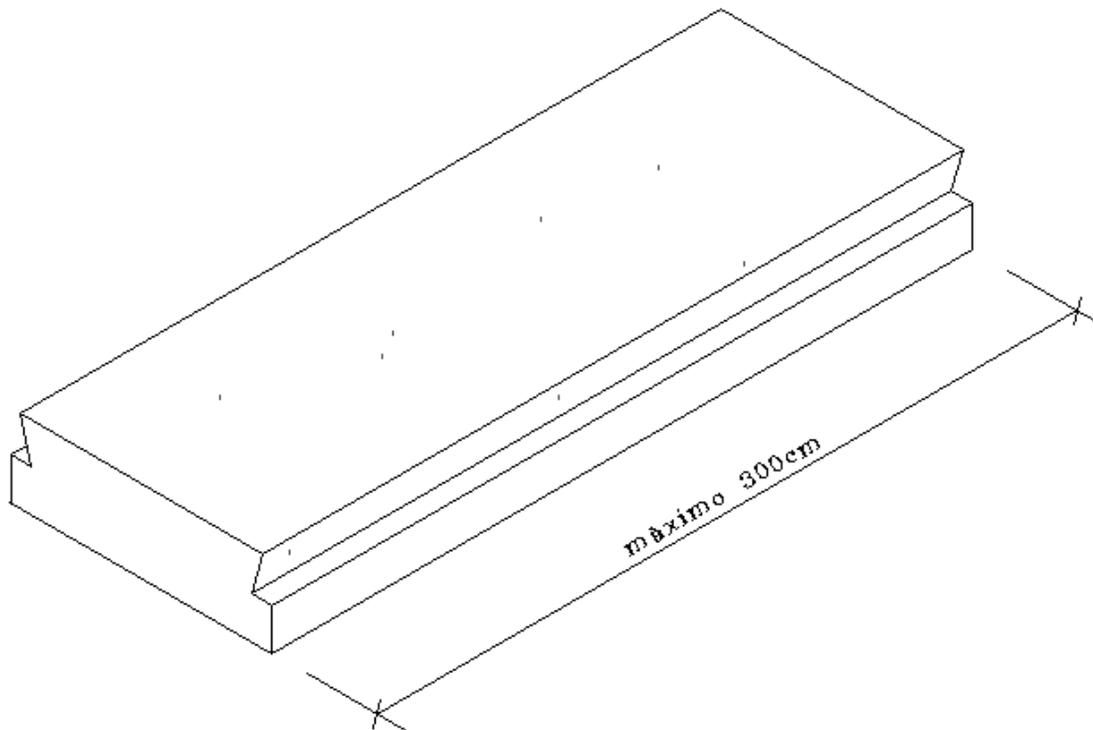
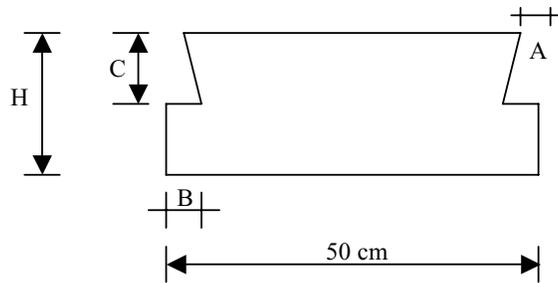


Figura 2.14 – Detalhe do painel laje utilizado

A figura 2.15 ilustra a seção transversal do painel de concreto celular autoclavado, cujas dimensões são apresentadas na tabela 2.15.



H – espessura do painel;
 A – largura superior do encaixe;
 B – largura inferior do encaixe;
 C – altura do encaixe

Figura 2.15 – Detalhe da seção transversal do painel laje utilizado

Tabela 2.15 – Dimensões da seção transversal do painel de concreto celular autoclavado
 (Sical, 2000)

H (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)
75	15	26,40	40
100		29,30	50
125		32,10	60
150		35,00	70
175		37,80	80

Neste trabalho foi adotado o painel com espessura de 12,5 cm para as lajes de piso e de 10cm para as lajes de forro.

A tabela 2.16 apresenta um resumo das dimensões e características técnicas dos tipos de painéis que foram utilizados neste trabalho.

Tabela 2.16 - Identificação das dimensões dos painéis de concreto celular autoclavado utilizados como lajes no projeto arquitetônico.

Uso Do Painel	b (cm)	L (cm)	H (cm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	PP (kg/m²)	SC (kg/m²)
Piso	50	300	12,50	15	32,10	60	94	300
Forro	50	300	10,00	15	29,30	50	75	150

Onde: b – largura do painel; L – comprimento do painel; H – espessura ou altura do painel; A – largura superior do encaixe; B – largura inferior do encaixe; C – altura do encaixe; PP – peso próprio do painel; SC – sobrecarga admissível

2. PROJETO ARQUITETÔNICO

2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS DO PROJETO

A habitação popular no Brasil é comumente relacionada a um produto sem qualidade e sem preocupação com o usuário. Estas edificações sempre foram abordadas considerando uma alta produtividade e economia.

O projeto arquitetônico, desenvolvido pela equipe de arquitetos coordenados pelo arquiteto Paulo Gustavo von Krüger, se resume na maleabilidade e atualmente encontra-se em processo de patente. O projeto visa atender o conforto do usuário, a produtividade do processo construtivo, a qualidade e rapidez de execução com custos reduzidos,

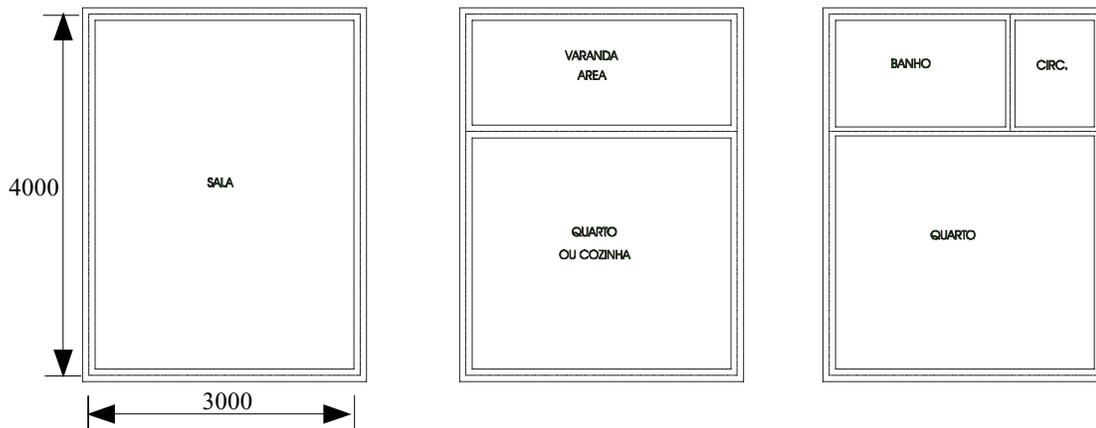
Diferentes tipologias deste projeto arquitetônico poderão ser trabalhadas, devido a maleabilidade do mesmo, e adaptadas de acordo com as características locais e dos usuários.

O projeto arquitetônico desenvolvido tem como principal característica a industrialização de seus componentes. Esta industrialização baseia-se na utilização de estruturas metálicas em perfis conformados a frio, fechamentos externos em placas cimentícias ou de fibrocimento, divisórias internas em painéis de gesso acartonado e lajes em painéis de concreto celular autoclavado. Estes materiais são encontrados no mercado nacional.

A estrutura metálica foi projetada para compor todos os detalhes arquitetônicos, tornando-se viável do ponto de vista estrutural bem como adaptável aos materiais industrializados utilizados no projeto. Porém, o projeto se adapta a outros tipos de materiais como: painéis de concreto celular autoclavado, painéis de solo-cimento, de

concreto protendido, concreto reforçado com fibra de vidro, poliestireno expandido, alvenaria convencional e também materiais alternativos e regionais.

Segundo o autor do projeto arquitetônico estudado neste trabalho, os módulos foram criados a partir de um estudo da área necessária e das dimensões dos materiais utilizados. Estes módulos mantêm o padrão de eixo a eixo de 3x4x3m conforme a planta baixa dos módulos arquitetônicos representados na figura 2.1.



a) Módulo Arquitetônico 01 b) Módulo Arquitetônico 02 c) Módulo Arquitetônico 03

Figura 2.1 – Planta baixa dos módulos estruturais existentes no projeto arquitetônico.

Na tabela 2.1 tem-se a área de cada cômodo que compõe os módulos arquitetônicos. Observa-se que a modulação, considerando-se as divisórias internas, tem a área total de 10,70 m².

Tabela 2.1 – Módulos arquitetônicos com a respectiva descrição de cômodo e área.

Módulo arquitetônico	Cômodo	Área (m ²)
Módulo 01	Quarto	7,18 m ²
	Banheiro	2,23 m ²
	Circulação	1,02 m ²
Módulo 02	Cozinha ou quarto	7,05 m ²
	Área de serviço ou varanda	3,12 m ²
Módulo 03	Sala ou quarto	10,70 m ²

A opção estrutural, baseada em perfis formados a frio, foi adotada devido ao reduzido tamanho dos vãos do projeto, bem como ao baixo custo em comparação com o uso dos perfis soldados e eletrossoldados atualmente existentes no mercado e denominados perfis Usilight (UMSA - Catálogo Técnico, 2000). Adotou-se, neste trabalho, o aço USI-SAC 300, cujas principais características serão descritas no item 2.3.

A estrutura dos módulos estruturais do modelo 01 é constituída por colunas e vigas em perfis formados a frio tipo “caixa” e no modelo 02, por perfis tipo I (02 “U” enrijecidos) para as colunas e tipo I (01 perfil “U” enrijecido soldado a dois perfis “U” simples preenchidos com concreto armado) para as vigas da estrutura metálica. A escolha destes tipos de perfis baseou-se na facilidade de fabricação, montagem e custo reduzido.

2.2 – TIPOLOGIA ADOTADA DO PROJETO ARQUITETÔNICO

A figura 2.2 detalha a opção arquitetônica que foi analisada neste trabalho. Trata-se de um conjunto composto por 04 edifícios de 04 pavimentos, sendo 02 unidades habitacionais por pavimento. Portanto, neste tipo de tipologia são considerados 32 unidades habitacionais com área de 41,47 m² cada.

A circulação vertical se dá por meio de escadas em estrutura metálica, padronizada para atender a tipologia adotada e a circulação horizontal, também metálica e padronizada nas mesmas dimensões dos módulos, através de passarelas protegidas por guarda-corpo em toda sua extensão. A estrutura vertical também é utilizada como suporte de caixa d'água. Nos telhados são utilizadas telhas metálicas onduladas com inclinação de 12%.

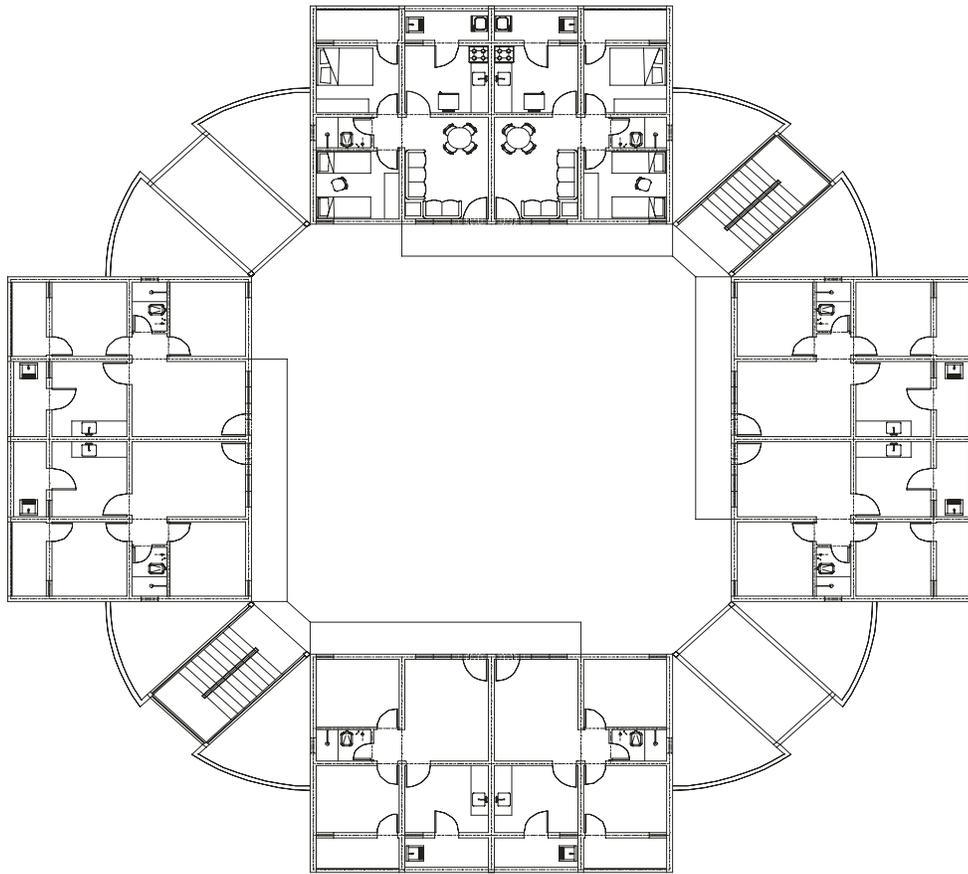


Figura 2.2 – Tipologia adotada para a implantação dos edifícios.

Como os edifícios são iguais, será analisado, apenas um edifício de dimensões 8mx12m com unidades habitacionais de dois quartos, totalizando uma área útil de 41,47 m². A figura 2.3 ilustra o edifício analisado composto de 02 unidades habitacionais, bem como a distribuição interna dos cômodos e lay-out dos mesmos.

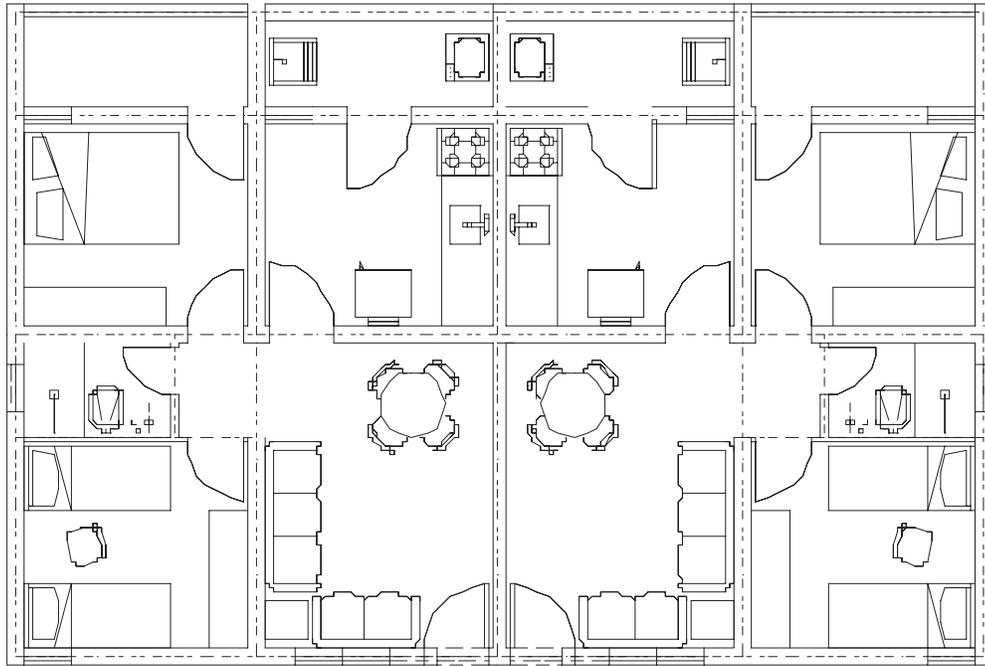


Figura 2.3 – Identificação dos módulos estruturais compoendo 02 unidades habitacionais.

2.3 - AÇO UTILIZADO

O aço utilizado para a estrutura dos módulos é o USI-SAC 300 (denominado anteriormente USI-SAC 41 Multi-Grade), com resistência ao escoamento de 300 MPa e resistência à tração de 402 MPa.

O material utilizado para fabricação dos perfis formados a frio é obtido de bobinas a quente e a frio. A composição química deste aço é descrita na tabela 2.2. Considera-se: e – espessura da chapa de aço; C – carbono; Mn – manganês; Si – silício; P – fósforo; S – enxofre; Cu – cobre e Cr – cromo. Os valores apresentados na tabela 2.2 são considerados máximos (Usiminas, 1998).

Tabela 2.2 - Composição química especificada (% em massa)

Aço	e (mm)	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr
USI-SAC-300	2,0≤e≤12,70	0,18	1,30	≤0,35	0,030	0,030	0,25~0,50	0,40~0,65

Na tabela 2.3 tem-se as principais propriedades mecânicas do aço USI-SAC300. Considera-se: e – espessura do aço; LE – resistência ao escoamento; LR – resistência à tração; BM – Base de Medida (Usiminas, 1998).

Tabela 2.3 - Propriedades mecânicas especificadas

Aço	Tração (Transversal)					Dobramento (Longitudinal)	
	e (mm)	LE N/mm ²	LR N/mm ²	Alongamento			Diâmetro
				e (mm)	BM (mm)	(%)	
USI-SAC-300	2,0≤e≤12,70	≥300	≥ 402	2,0≤e≤5,0	50	19	1,5e
				5,0<e≤12,70	200		

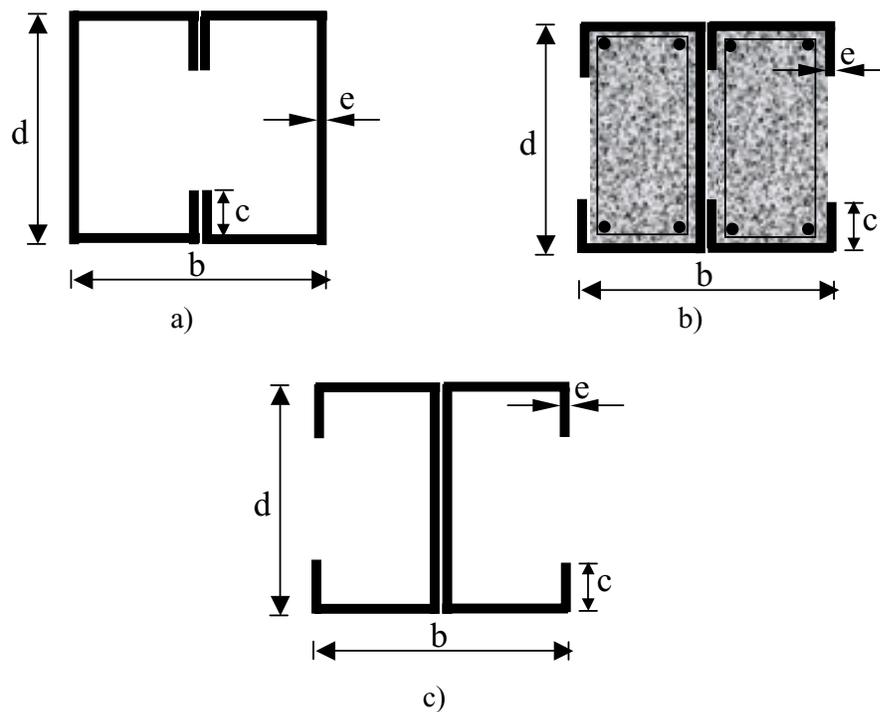
2.4 – PERFIS ADOTADOS

Adotou-se perfis formados a frio, ilustrados na figura 2.4, que são obtidos por processos de dobramento das chapas de aço, tanto por dobradeiras quanto por perfiladeiras. As dobradeiras geralmente trabalham com comprimentos de 3000 a 6000 mm e com uma capacidade de dobrar chapas de até 12,5 mm de espessura. As perfiladeiras podem produzir perfis de qualquer comprimento, estando limitadas a perfis de chapas mais finas, geralmente até a espessura de 3,75mm (Dias, 1997).

Foram analisados dois modelos estruturais que são detalhados no Capítulo 3. O primeiro modelo refere-se aos módulos estruturais de dimensões 3m x 4m. Neste modelo adotou-se os perfis do tipo “caixa” para as colunas e vigas da estrutura metálica e tipo “U” simples para as barras de contraventamento. O perfil tipo “caixa” é um perfil formado

por dois perfis “U” enrijecido, soldados intermitentemente entre si ao longo de seus enrijecedores de modo a formar uma caixa (Queiroz, 1986).

O segundo modelo refere-se aos módulos estruturais de 6m x 8m para os quais adotou-se perfis tipo I (02 “U” enrijecidos soldados ao longo das almas) para as colunas e tipo I preenchido com concreto armado para as vigas da estrutura metálica. Neste último, os perfis que compõem as vigas são constituídos por um perfil “U” enrijecido soldado a dois perfis “U” simples de modo a formar um perfil tipo I, também preenchidos com concreto armado, de modo a proporcionar maior rigidez aos mesmos. A figura 2.4 ilustra a seção transversal dos tipos de perfis utilizados.



d - a altura da seção transversal do perfil;
e - a espessura da chapa;
b - a largura da seção transversal do perfil;
c - a largura do enrijecedor.

Figura 2.4 – Seção transversal dos perfis utilizados. a) vigas e colunas no modelo estrutural 01; b) vigas no modelo estrutural 02; c) colunas no modelo estrutural 02.

A escolha da utilização dos perfis das vigas do modelo estrutural 02, deve-se ao fato da existência de pesquisas anteriores (Machado, 1998) realizadas no Laboratório de Estruturas Prof. Altamiro Tibiriçá Dias, do Departamento de Engenharia Civil, da Escola de Minas, da Universidade Federal de Ouro Preto. Nesta pesquisa foram realizados ensaios de flexão com vigas simplesmente apoiadas, submetidas a duas cargas concentradas. A série de experimentos, em escala real, foi executada com ênfase nos problemas de avaliação de resistência e estimativa de deflexão. Foram ensaiados perfis mistos, com vão de 5,30 metros, constituídos por perfis de chapa dobrada preenchidas com concreto armado. Os resultados conduziram a um elemento estrutural de rigidez elevada quando comparado com um perfil sem preenchimento de concreto. Assim estes perfis podem ser utilizados para grandes vãos e ainda utilizando chapas de pequenas espessuras.

2.5 – DIVISÓRIAS INTERNAS

No projeto arquitetônico, foram especificados como divisórias internas, os painéis de gesso acartonados. Basicamente, o sistema é constituído de perfis metálicos galvanizados revestidos com chapas de gesso acartonado, as quais formam a parede pré-fabricada. Este sistema construtivo a seco também é chamado de sistema “Dry-wall”. (Lafarge Gypsum, 1999).

Este tipo de vedação a seco proporciona uma série de vantagens, tais como alívio de cargas na estrutura, e conseqüentemente nas fundações, devido ao seu peso (22 kg/m²); facilidade na passagem das instalações elétricas e hidráulicas; ausência de umidade durante a construção; isolamento térmico e acústico; facilidade de manutenção; melhor acabamento; baixa geração de entulho e rapidez de execução, estimando-se que seja cerca de 2,5 vezes mais rápido que o sistema convencional de alvenaria (IPT, 2001).

Atualmente existem três grandes fabricantes deste produto: Lafarge, Placo e Knauf. Estas empresas já possuem fábricas instaladas no Brasil com previsões de produção de cerca de 40 milhões de m²/ano a partir de 2002.

2.5.1 – Componentes do sistema “dry wall”

As informações a seguir são baseadas na literatura técnica da empresa Lafarge Gypsum e em dados de referência técnica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1997). A figura 2.5 ilustra o sistema construtivo tipo “dry wall”.

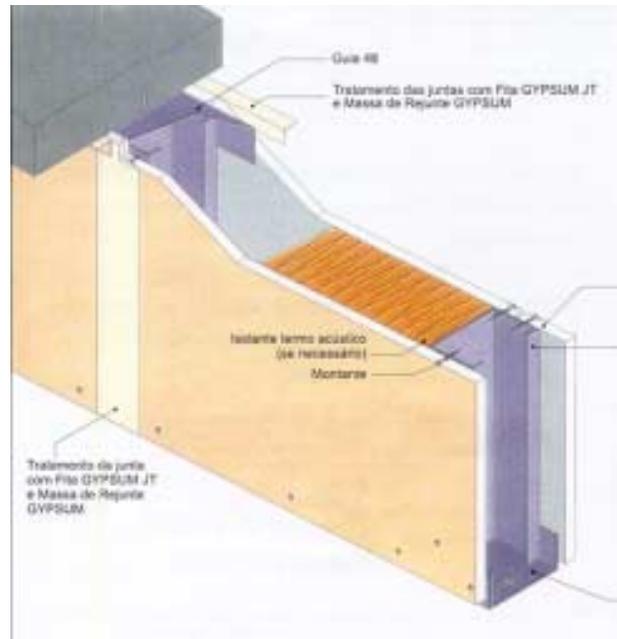


Figura 2.5 – Esquema básico do sistema construtivo em “dry wall”.

São descritos a seguir os principais componentes do sistema “dry wall” constituído pelas chapas de gesso acartonado, perfis metálicos galvanizados, acessórios e juntas de movimentação.

2.5.1.1 - Chapas de gesso acartonado

Os painéis são compostos por chapas em gesso revestidas com folhas de papelão em ambos os lados. A função do papelão é proporcionar ao gesso resistência aos esforços de tração e flexão. Quanto ao gesso, este possibilita resistência à compressão. As chapas possuem largura de 1,20 m, comprimentos de 2,60 a 3,00 m e espessuras de 12,5 mm,

15 mm e 18 mm, e podem ser de três tipos: chapas tipo standard para uso geral, chapas resistentes à umidade aplicadas nas áreas molháveis e chapas resistentes ao fogo (Lafarge Gypsum, 1999).

A tabela 2.4 ilustra as principais características técnicas exigidas para as chapas de gesso acartonado segundo norma francesa (AFNOR, 2001).

Tabela 2.4 – Características Gerais Exigidas para as Chapas de Gesso Acartonado (IPT, 1997).

Características gerais exigidas para as chapas	Limites
Tolerância na espessura	± 0,40 mm
Tolerância na largura	- 5 mm
Tolerância no comprimento	- 5 mm
Densidade Superficial de Massa	8,50 a 12,00 kg/m ²
Resistência à flexão transversal	0,21 kN
Resistência à flexão longitudinal	0,60 kN

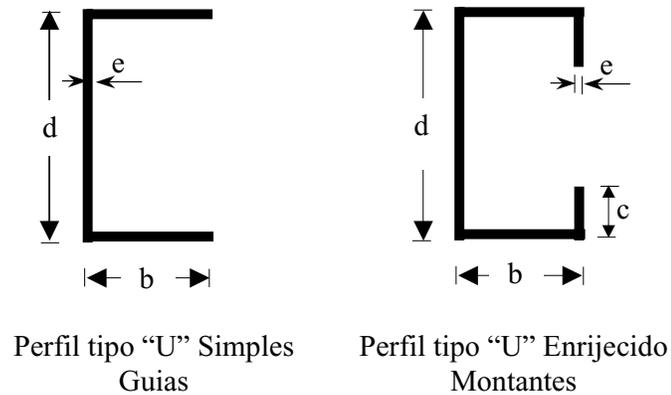
2.5.1.2 - Perfis metálicos de aço galvanizado

As chapas em gesso acartonado são fixadas em guias e montantes metálicos com tratamento superficial em alumínio ou zinco. Estas guias e montantes metálicos são constituídos por perfis dobrados com espessuras médias de 0,56 mm a 0,60 mm. As guias são perfis com seção “U” simples (largura nominal de 48 a 70 mm). Os montantes são perfis com seção “U” enrijecido (largura nominal de 47 a 69 mm). A altura nominal das abas é de 35 mm (Mitidieri Filho, 1997).

Em muitas edificações pode-se utilizar este sistema de modo que a estrutura de fixação das placas (guias e montantes) trabalhem como elementos estruturais. Não será escopo

deste trabalho a utilização da estrutura de fixação dos painéis como elementos estruturais.

A figura 2.6 ilustra os principais tipos de perfis utilizados nas paredes em chapas de gesso acartonado e sua função estrutural.



d – altura do perfil;
b – largura do perfil;
e – espessura da chapa;
c – largura do enrijecedor.

Figura 2.6 – Tipos de perfis galvanizados utilizados nas paredes e função estrutural dos mesmos.

2.5.1.3 - Acessórios

São empregados como acessórios os parafusos autoatarrachantes para a fixação das chapas de gesso, lã de vidro para preenchimento entre as chapas, massa especial para rejuntamento, resinas, fita de papel microperfurada nas juntas das chapas, fita de papel reforçado e cantoneiras metálicas para acabamento e proteção dos cantos (Lafarge Gypsum, 1999).

2.5.1.4 - Juntas de movimentação

Neste sistema existem as juntas de movimentação e as juntas flexíveis ou telescópicas.

As juntas de movimentação são necessárias nas uniões entre painéis e devem ser adotadas em paredes de grandes dimensões, de modo que não haja fissuração. É recomendada uma junta a cada 50 m² para paredes simples, ou seja, paredes com uma camada de gesso em cada face e a cada 70 m² para paredes duplas ou paredes com duas camadas de gesso em cada face (Krüger, 2000).

As juntas flexíveis ou telescópicas são utilizadas quando as estruturas são flexíveis ou deformáveis. As paredes compostas por placas de gesso acartonado permitem uma movimentação ou acomodação de cerca de 15 mm, devido às deformações da estrutura suporte. Isto acontece devido à existência de pequenas folgas entre seus componentes, montantes e guias, e entre as chapas de gesso e estrutura (Mitidieri Filho, 1997).

2.5.2 – Identificação das paredes

A identificação dos painéis consiste na designação padrão do sistema por meio da espessura da parede, largura e espaçamento entre montantes. A figura 2.7 detalha a forma de identificação das paredes.

Ressalta-se que esta identificação dos painéis refere-se à nomenclatura adotada pela Lafarge Gypsum, mas que existem diversos fabricantes do mesmo tipo de produto que possuem outras identificações.

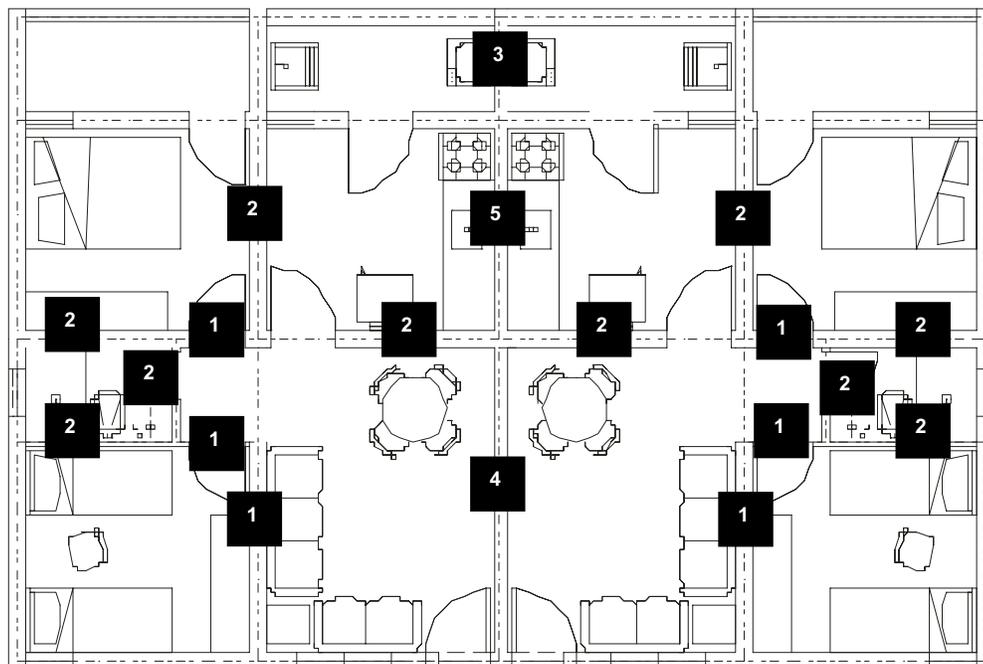
D 100 / 75 / 60 LV 50 / 2 Painéis Lafarge Gypsum ST	
D - Parede de divisão interna	
100 - Espessura final da parede (mm)	
75 - Largura da estrutura	
60 - Distância entre montantes (cm)	
LV – Tipo isolante: lã de vidro	
50 – Espessura (mm)	
2 – Número de painéis	
Lafarge Gypsum ST: Tipo de painel	

Figura 2.7 – Exemplo de identificação das paredes do sistema construtivo “dry wall”.

2.5.3 – Paredes internas utilizadas no projeto

O projeto arquitetônico analisado neste trabalho possui três tipos de módulos estruturais que foram descritos na figura 2.1. A figura 2.8 identifica, através de números, os tipos de paredes internas utilizadas no projeto arquitetônico e que serão descritas a seguir.

São utilizadas cinco tipos de paredes internas que são detalhadas nas tabelas 2.5 a 2.9. O detalhamento de cada parede refere-se a identificação da mesma bem como o local onde será aplicada. Cada parede é descrita de uma maneira geral e apresenta-se ainda uma lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico de 08 unidades habitacionais do edifício. Considerou-se um pé-direito de 2,90m e uma distância de 60cm entre os eixos dos montantes para a fixação das chapas de gesso acartonado.



- 1** Divisórias entre quarto e sala e sobre as portas (empena).
- 2** Divisórias entre banho/quartos, cozinha/quartos, e entre cozinha/sala.
- 3** Divisória entre as áreas de serviço.
- 4** Divisória entre as salas.
- 5** Divisória entre as cozinhas.

Figura 2.8 – Identificação dos tipos de paredes internas utilizadas no projeto arquitetônico.

2.5.3.1 - Parede tipo 1 – face simples

Parede tipo D 100/75/60 2ST de 100mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de gesso tipo ST (standard) de 12,50mm em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 75mm. Este espaço de 75mm permite a passagem de dutos para instalações elétricas além da colocação dos isolantes térmicos e acústicos (lã de vidro ou lã de rocha).

A tabela 2.5 detalha as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.5 – Descrição da parede tipo 1 do projeto arquitetônico

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	406,46	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
▪ Painel ST BR 12,5	m ²	214,02
▪ Guia 75	m	83,18
▪ Montante M75	m	312,76
▪ Parafuso TF 212x25	un	2540,40
▪ Parafuso RT 421x9,5	un	203,23
▪ Cola Gypsum	kg	10,16
▪ Massa de Rejunte	kg	71,13
▪ Fita JT	m	304,85
▪ Cartucho/ Pino Hilti	un	175,20

2.5.3.2 - Parede tipo 2 – face simples

Parede tipo D 100/75/60 1ST + 1RU de 100mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de gesso de 12,50mm, sendo um ST (standard) e outro RU (resistentes à umidade), em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 75mm.

A tabela 2.6 detalha as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.6 – Descrição da parede tipo 2 do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	982,75	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
▪ Painel ST BR 12,5	m ²	258,39
▪ Painel RU BR 12,5	m ²	258,39
▪ Guia 75	m	187,51
▪ Montante M75	m	701,78
▪ Parafuso TF 212x25	un	6142,20
▪ Parafuso RT 421x9,5	un	491,37
▪ Cola Gypsum	kg	24,57
▪ Massa de Rejunte	kg	171,98
▪ Fita JT	m	737,07
▪ Cartucho/ Pino Hilti	un	423,60

2.5.3.3 - Parede tipo 3 – face simples

Parede tipo D 100/75/60 2RU de 100mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de gesso de 12,50mm, tipo RU (resistentes à umidade), em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 75mm. Esta parede é aplicada entre as áreas de serviço e possui isolamento acústico adequado na divisão entre duas unidades habitacionais.

A tabela 2.7 detalha as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.7 – Descrição da parede tipo 3 do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	51,50	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
▪ Painel RU BR 12,5	m ²	27,84
▪ Guia 75	m	9,32
▪ Montante M75	m	34,80
▪ Parafuso TF 212x25	un	321,90
▪ Parafuso RT 421x9,5	un	25,75
▪ Cola Gypsum	kg	1,28
▪ Massa de Rejunte	kg	9,01
▪ Fita JT	m	38,63
▪ Cartucho/ Pino Hilti	un	22,20

2.5.3.4 - Parede tipo 4 – face dupla

Parede tipo D 125/75/60 4ST de 125mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de gesso de 12,50mm em cada face, tipo ST (standard) totalizando 04 painéis de gesso, em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 75mm. Ressalta-se que é recomendável a utilização de paredes duplas na divisa entre unidades habitacionais.

A tabela 2.8 detalha as informações técnicas da parede bem como a lista de material para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.8 – Descrição da parede tipo 4 do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	176,78	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
▪ Painel ST BR 12,5	m ²	186,18
▪ Guia 75	m	32
▪ Montante M75	m	119,62
▪ Parafuso TF 212x25	un	265,17
▪ Parafuso TF 212x45	un	1104,90
▪ Parafuso RT 421x9,5	un	88,39
▪ Cola Gypsum	kg	4,42
▪ Massa de Rejunte	kg	30,94
▪ Fita JT	m	132,59
▪ Cartucho/ Pino Hilti	un	76,20

2.5.3.5 - Parede tipo 5 – face dupla

Parede tipo D 125/75/60 2ST + 2RU de 125mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de gesso de 12,50mm em cada face, sendo em uma face tipo ST (standard) e na outra face tipo RU (resistente à umidade), em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 75mm.

A tabela 2.9 detalha as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.9 – Descrição da parede tipo 5 do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	125,28	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
▪ Painel ST BR 12,5	m ²	66,12
▪ Painel RU BR 12,5	m ²	66,12
▪ Guia 75	m	22,68
▪ Montante M75	m	84,82
▪ Parafuso TF 212x25	un	187,92
▪ Parafuso TF 212x45	un	783
▪ Parafuso RT 421x9,5	un	62,64
▪ Cola Gypsum	kg	3,13
▪ Massa de Rejunte	kg	21,92
▪ Fita JT	m	93,96
▪ Cartucho/ Pino Hilti	un	54

2.6 – FECHAMENTOS EXTERNOS

Adotou-se para as vedações externas as placas cimentícias, cuja instalação é semelhante à dos painéis de gesso acartonado. Este produto é denominado Superboard e é fabricado pela empresa Pizarreno Sociedad Industrial, pertencente ao Grupo Etex (Pizarreno Sociedad Industrial, 2000).

Este sistema de vedações é constituído de placas de fibrocimento fixadas externamente numa estrutura de perfis galvanizados. A escolha por este tipo de fechamento externo se dá pelas diversas vantagens que o mesmo apresenta, tais como: leveza, facilidade de montagem, resistência do material, acabamento final, limpeza do canteiro de obras, etc. (Knauf, 1999).

2.6.1 – A placa cimentícia

A placa cimentícia é uma placa resultante da mistura homogênea de cimento Portland, quartzo e fibras de celulose sem amianto, submetida ao processo de autoclave. As fibras de celulose conferem à placa o comportamento elástico desejável e a resistência à flexão. O processo de autoclave possibilita a obtenção de um produto de alta resistência e precisão dimensional, reduzindo ao mínimo o coeficiente de dilatação e absorção de umidade. Estas placas ou chapas são incombustíveis e resistentes à água. As chapas possuem dimensões padronizadas, de acordo com uma modulação de 60x60cm, no comprimento (2,40m), na largura (1,20m) e na espessura (6, 8, 10 e 15mm). Mantém-se suas características químicas entre as temperaturas de 0° a 105°C (Pizarreno Sociedad Industrial, 2000).

A figura 2.9 ilustra a resistência à umidade das placas cimentícias.



Figura 2.9 – Figura ilustrativa da resistência a unidade da placa cimentícia (Knauf, 1999).

A tabela 2.10 detalha as características técnicas das placas cimentícias (Pizarreno Sociedad Industrial, 2000).

Tabela 2.10 – Características técnicas da placa cimentícia Superboard.

Características Técnicas	
Densidade	1,33 g/cm ³
Coefficiente de dilatação térmica	5,8 x 10 ⁻⁶ m/m°C
Resistência à flexão	160 kgf/cm ²
Módulo de Elasticidade – transversal	103.000 kgf/cm ²
Módulo de Elasticidade – longitudinal	120.000 kgf/cm ²
Índice de redução sonora	40 dB aproximadamente
Coefficiente de condutividade térmica	0,29 W/m°k

A figura 2.10 ilustra a fixação da placa cimentícia nos perfis metálicos galvanizados.

Ressalta-se que o acabamento final pode ser aplicado sobre a placa e no padrão definido de acordo com o projeto arquitetônico.



Figura 2.10 – Instalação da placa cimentícia nos montantes galvanizados (Knauf, 1999).

2.6.2 - Perfis metálicos de aço galvanizado

As placas cimentícias são fixadas em guias e montantes metálicos com tratamento superficial em alumínio ou zinco. Estas guias e montantes metálicos são constituídos por perfis dobrados com espessuras médias 0,90 mm e altura de 90mm. As guias são perfis com seção “U” simples, os montantes em perfil tipo “U” enrijecido e nas regiões de maiores esforços são utilizados perfis tipo “caixa” (Mitidieri Filho, 1997). A figura 2.11 ilustra os principais tipos de perfis utilizados como estrutura das paredes em placas cimentícias.

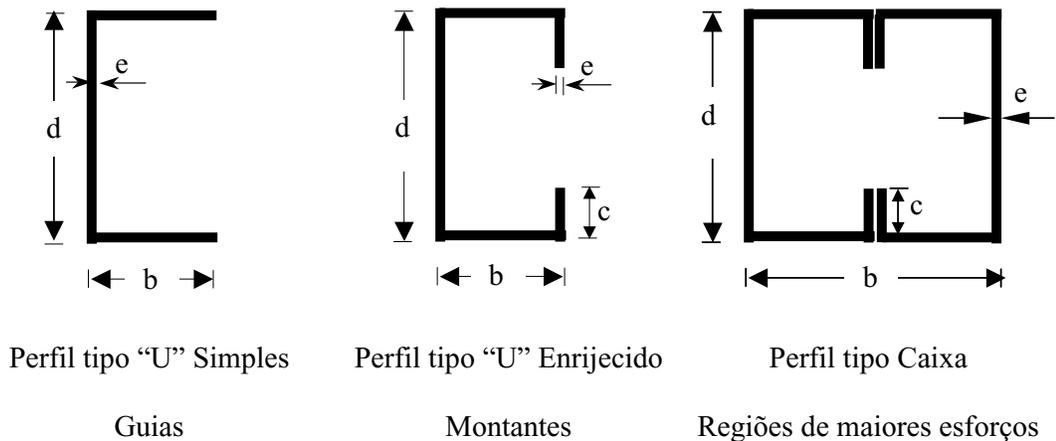
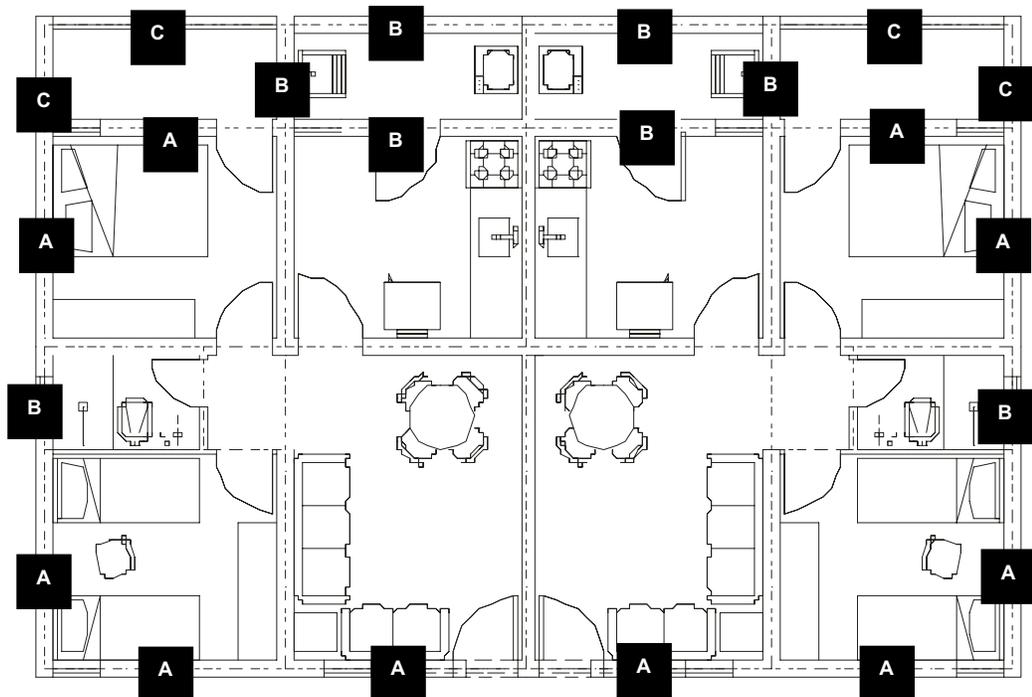


Figura 2.11 – Perfis galvanizados utilizados para guias, montantes e reforços.

2.6.3 – Paredes externas utilizadas no projeto

A figura 2.12 identifica, por meio de letras maiúsculas, os tipos de paredes externas utilizadas no projeto arquitetônico. Considerou-se um pé-direito de 3m e uma distância de 40cm entre os eixos dos montantes para a fixação das chapas de gesso acartonado.

São utilizadas três tipos de paredes externas conforme tabelas 2.11 a 2.13. O detalhamento de cada parede refere-se à identificação da mesma bem como o local onde será aplicada. Cada parede é descrita de uma maneira geral, apresentando-se ainda os quantitativos de material total que compõem a mesma.



- A** Paredes externas dos quartos e nas divisórias entre quartos e varandas.
- B** Paredes entre varandas e áreas de serviço, entre áreas de serviço e cozinhas e entre áreas de serviço e banho.
- C** Paredes externas da varanda.

Figura 2.12 – Identificação das paredes externas do projeto arquitetônico

2.6.3.1 - Parede externa tipo A

Parede tipo D 112,5 / 90 / 40 1SB + 1ST de 112,5mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 01 painel de placa cimentícia SB (Superboard) de 10,00 mm em uma das faces e outro tipo ST (standard) de 12,5mm, em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 90mm.

A tabela 2.11 ilustra as informações técnicas da parede bem como a lista de material para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.11 – Descrição da parede externa tipo A do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	1.213,92	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
Guia 90 com 3,00 metros	m	309
Montante 90 chapa 08 com 6,00 metros	m	1144,50
Placa externa 10mm rebaixada (2,40m)	m ²	318,96
Painel BR 12,5mm – 1,20 x 2,40	m ²	357,12
Parafuso GN 25 – 6x25	un	3985
Parafuso AAE MR 4,2 x 32 AC EE	un	3985
Massa Pregylis 35	kg	121,75
Massa Acrílica	l	62,50
Pregyfira JT	m	450
Fita Externa	m	399,15
Cartucho Tiro Indireto	un	600
Pino CC20 XZF 27 – Hilti	un	600
Selador Primer Gard.	l	9,0
Parafuso Pregy RT 421x9,5	un	960

2.6.3.2 - Parede externa tipo B

Parede tipo D 112,5 / 90 / 40 1SB + 1RU de 125mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 01 painel de placa cimentícia SB (Superboard) de 10,00 mm em uma das faces e outro tipo RU (Resistente à Umidade) de 12,5mm, em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 90mm.

A tabela 2.12 ilustra as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.12 – Descrição da parede externa tipo B do projeto arquitetônico.

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	1.213,92	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
Guia 90 com 3,00 metros	m	172,5
Montante 90 chapa 08 com 6,00 metros	m	483
Placa externa 10mm rebaixada (2,40m)	m ²	141,84
Painel RU 12,5mm – 1,20 x 2,60	m ²	166,14
Parafuso GN 25 – 6x25	un	1690
Parafuso AAE MR 4,2 x 32 AC EE	un	1690
Massa Pregylis 35	kg	59,25
Massa Acrílica	l	27,8
Pregyfira JT	m	225
Fita Externa	m	177,75
Cartucho Tiro Indireto	un	387
Pino CC20 XZF 27 – Hilti	un	387
Selador Primer Gard.	l	3,96
Parafuso Pregy RT 421x9,5	un	490

2.6.3.3 - Parede externa tipo C

Parede tipo D 110 / 90 / 40 1SB + 1SB de 110mm de espessura final, constituída pelo aparafusamento de 02 painéis de placa cimentícia tipo SB de 10,00 mm sendo um painel em cada face, em montantes metálicos (perfil “U” enrijecido) de 90mm.

A tabela 2.13 mostra as informações técnicas da parede bem como a lista de material com quantitativos para o projeto arquitetônico do edifício com 8 unidades habitacionais.

Tabela 2.13 – Descrição detalhada da parede externa tipo C do projeto

Informações Técnicas		
Área Calculada (m ²)	124,80	
Lista de Material		
Produto	Unidade	Quantidade
Guia 90 com 3,00 metros	m	22,5
Montante 90 chapa 08 com 6,00 metros	m	102
Placa externa 10mm rebaixada (2,40m)	m ²	65,52
Parafuso AAE MR 4,2 x 32 AC EE	un	800
Massa Acrílica	l	6,48
Fita Externa	m	90
Cartucho Tiro Indireto	un	62
Pino CC20 XZF 27 – Hilti	un	62
Selador Primer Gard.	l	2,34

2.7 – LAJES

2.7.1 – Generalidades

Foram adotadas lajes em painéis de concreto celular armado autoclavado. De acordo com o Comitê Euro-Internacional Du Béton classifica-se como CCA (concreto celular autoclavado) todos aqueles materiais constituídos por uma mistura de água, cimento, cal, areia ou outros materiais silicosos, com ar incorporado via aditivos (Sical, 2000). Trata-se de um concreto leve obtido através de um processo industrial, com a utilização de cimento, cal ou ambos e materiais ricos em sílica. Esta mistura se expande por meio da utilização de produtos formadores de gases e água, submetidos durante a cura à pressão e temperatura através de vapor saturado (Krüger, 2000).

A utilização do cimento e/ou cal proporciona o endurecimento do concreto, interferindo no processo de fabricação, principalmente no tempo de pré-cura e sistema de corte. É utilizado o pó de alumínio, em sua mistura, para que este produto químico possa liberar gás hidrogênio, formando-se assim, poros na estrutura do concreto celular (Sical, 2000).

A escolha deste tipo de laje baseou-se no conceito de industrialização do projeto. Os parâmetros principais analisados nesta escolha foram a modulação (3m) dos painéis, a facilidade de instalação, a leveza dos mesmos, dispensa de escoramentos e a qualidade do material.

A utilização deste painel como laje apresenta diversas vantagens, tais como:

- Redução das cargas nas fundações e na estrutura pois possui densidade inferior a 1/3 da densidade do concreto armado;
- Industrialização dos serviços de montagem;
- Facilidade na passagem de tubulações;
- Economia de revestimentos.

Aborda-se nos itens a seguir as considerações gerais sobre a fabricação e as principais características dos painéis de concreto celular autoclavado.

2.7.2 – Fabricação dos painéis

A fabricação dos painéis de concreto celular autoclavado consiste resumidamente das etapas de moagem da areia, pesagem dos materiais constituintes, mistura dos materiais constituintes, moldagem, corte, cura e armazenamento.

A moagem de areia se dá preliminarmente por meio de um britador e posteriormente através de um moinho giratório, na qual a areia é misturada com água. Esta fase é importante pois a uniformidade na moagem das partículas determina produtos com características homogêneas (Krüger, 2000).

A mistura dos materiais constituintes como cimento, água, alumínio e a lama (cal e areia) do tanque de homogeneização é feita em um misturador que está interligado diretamente com os silos de estocagem e o tanque de homogeneização através de tubulações.

Após a mistura há o preenchimento dos moldes metálicos até meia altura, pois há posteriormente uma expansão volumétrica devido à reação química do pó de alumínio com o hidróxido de cálcio da cal, preenchendo por completo a altura dos moldes.

Após a moldagem e a pré-cura da argamassa, as faces laterais dos moldes são retiradas. Corta-se as bordas laterais e o topo do bloco para posterior remoção do material. No caso dos painéis, ocorre o corte longitudinal do material através de arames de aço paralelos e tensionados, cujo movimento se assemelha ao de uma serra de carpinteiro.

Após o corte, procede-se a cura do material através de autoclaves que forneçam alta pressão e temperatura. Ao sair das autoclaves os painéis são submetidos ao controle de qualidade de produção após atingir a temperatura ambiente e em seguida armazenados para posterior entrega ao cliente.

2.7.3 – Painel de concreto celular autoclavado

Os painéis possuem uma resistência de 4,5 MPa e uma densidade de 750 kg/m³. A armação no interior do painel é constituída de aço CA60B com diâmetro de 6,30 mm. Esta armação é eletrossoldada e dimensionada de acordo com a sobrecarga e segundo os critérios da DIN4223. Os painéis não necessitam de escoramentos e fôrmas durante a aplicação (Sical, 2000). A figura 2.13 ilustra a armadura utilizada no painel de concreto celular autoclavado.



Figura 2.13 – Vista da armação dos painéis de concreto celular autoclavado
(Sical, 2000)

Estes painéis são fornecidos no comprimento de até 300cm, largura de 40 ou 50cm e espessuras de 10, 12,5, 15, 17,5 e 20cm definidas em função do carregamento. A tabela 2.14 detalha melhor as dimensões dos painéis com maiores características técnicas.

Tabela 2.14 - Dimensões e características dos painéis de concreto celular autoclavado
(Sical, 2000)

Comprimento (cm)	Espessura (cm)	Peso Próprio (kg/m ²)	Peso de cada peça (kg)		Sobrecarga Admissível (kg/m ²)
			b = 40 cm	b = 50 cm	
300	10	75	90	115	140
	12,5	95	115	140	290
	15	115	135	170	490

A figura 2.14 ilustra em perspectiva o painel de concreto celular autoclavado com comprimento máximo de 300cm.

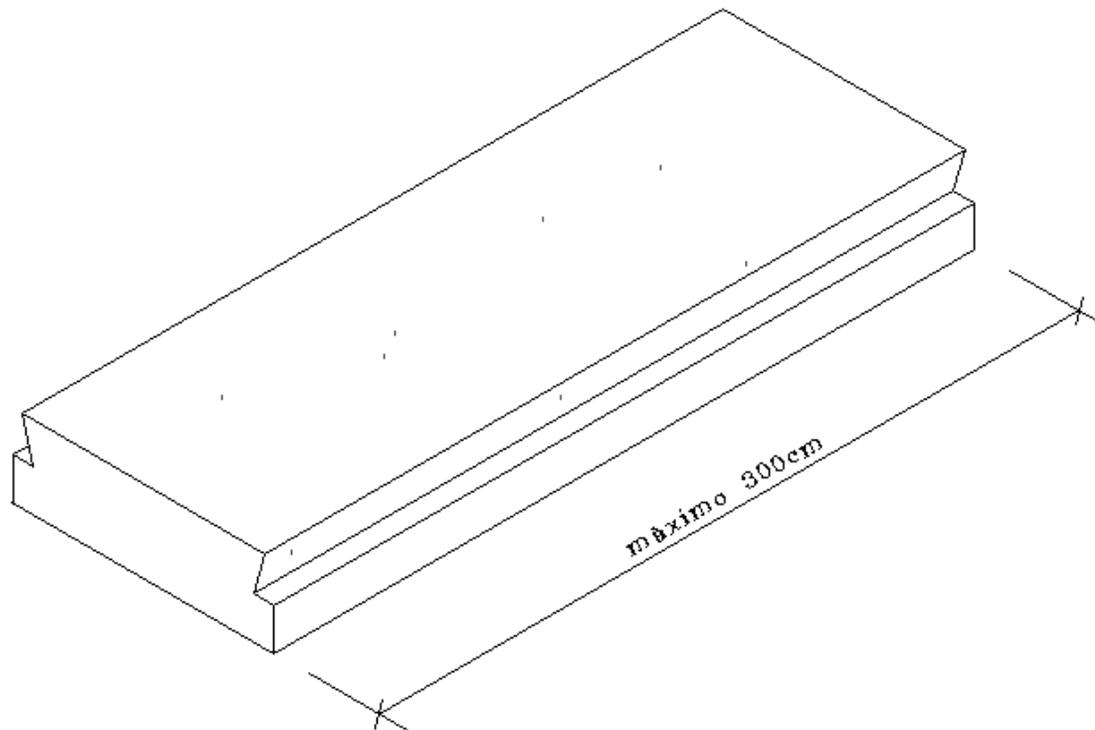
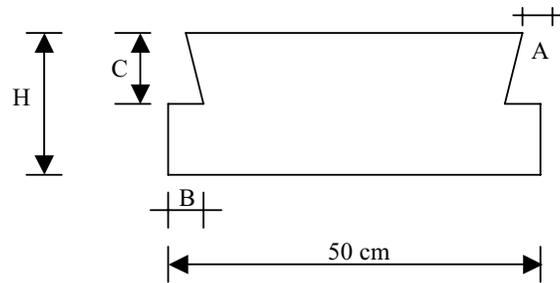


Figura 2.14 – Detalhe do painel laje utilizado

A figura 2.15 ilustra a seção transversal do painel de concreto celular autoclavado, cujas dimensões são apresentadas na tabela 2.15.



H – espessura do painel;
 A – largura superior do encaixe;
 B – largura inferior do encaixe;
 C – altura do encaixe

Figura 2.15 – Detalhe da seção transversal do painel laje utilizado

Tabela 2.15 – Dimensões da seção transversal do painel de concreto celular autoclavado
 (Sical, 2000)

H (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)
75	15	26,40	40
100		29,30	50
125		32,10	60
150		35,00	70
175		37,80	80

Neste trabalho foi adotado o painel com espessura de 12,5 cm para as lajes de piso e de 10cm para as lajes de forro.

A tabela 2.16 apresenta um resumo das dimensões e características técnicas dos tipos de painéis que foram utilizados neste trabalho.

Tabela 2.16 - Identificação das dimensões dos painéis de concreto celular autoclavado utilizados como lajes no projeto arquitetônico.

Uso Do Painel	b (cm)	L (cm)	H (cm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	PP (kg/m²)	SC (kg/m²)
Piso	50	300	12,50	15	32,10	60	94	300
Forro	50	300	10,00	15	29,30	50	75	150

Onde: b – largura do painel; L – comprimento do painel; H – espessura ou altura do painel; A – largura superior do encaixe; B – largura inferior do encaixe; C – altura do encaixe; PP – peso próprio do painel; SC – sobrecarga admissível

3. ESTUDO ESTRUTURAL

3.1 – INTRODUÇÃO

Para os sistemas estruturais foram considerados dois modelos distintos. No modelo 01 são analisadas 03 soluções estruturais com suas respectivas soluções de ligações, sendo utilizados perfis tipo caixa em todas as barras. No modelo 02 é analisada 01 solução estrutural com uma proposta de ligação, sendo utilizado o perfil misto e I. Em cada modelo são apresentados os tipos de perfis utilizados, o lançamento estrutural, a identificação das colunas e vigas bem como seus eixos globais e locais.

Para cada solução estrutural é apresentado um tipo de ligação com suas considerações, a análise da estrutura contendo os deslocamentos relativos dos nós, os esforços máximos das colunas e vigas, as características geométricas e esforços solicitantes de cálculo nas barras e um resumo final de material utilizado.

A utilização do concreto armado, no interior dos perfis das vigas da modulação de 6m x 8m, modelo 02, tem por objetivo trabalhar com maiores vãos, reduzir o número de colunas atendendo a possibilidade de diversificação pelo arquiteto/usuário do espaço livre no interior da edificação (Cepeda, 1998). Aliado a este conceito arquitetônico tem-se ainda a possibilidade de aumento na rigidez dos elementos estruturais quando utiliza-se os perfis mistos.

A concepção estrutural e as ligações utilizadas neste trabalho se adequam aos objetivos do mesmo, no entanto diversas pesquisas (Klippel, 1998) tem sido desenvolvidas de modo a otimizar o peso da estrutura, a montagem e conseqüentemente o custo final. Destaca-se neste contexto os trabalhos desenvolvidos em cooperação com a USIMINAS e encontrado nas referências (Rodrigues, 2001).

3.2 – CONCEPÇÃO DOS MODELOS ESTRUTURAIS

Para a execução dos modelos estruturais foi utilizado o software SAP2000. Foram realizadas algumas análises para se chegar ao resultado mais eficiente, em termos de peso e de custos.

O software SAP2000 é utilizado para análise estrutural tridimensional estática por elementos finitos. Os carregamentos podem ser aplicados nas barras ou nos nós. Podem ser pontuais, uniformes, trapezoidais e de temperatura. Permite a utilização de qualquer tipo de ligação (nó) e vinculação. A ligação pode ser articulada, rígida e semi-rígida. Permite a visualização por meio de perspectivas em 3D da estrutura original e deformada, os esquemas de carregamento, os diagramas de esforços normal, cortante e de momento fletor. Permite a análise de cálculo para esforços em um ponto, esforços máximos, envoltória, envoltória em um ponto, envoltória máxima, reações, deslocamentos e placas de base.

Os modelos estruturais analisados são dois, sendo o modelo 01 constituído de módulos estruturais de 3m x 4m e perfis metálicos de aço patinável de seção transversal tipo “caixa” que compõem as colunas e vigas. O modelo 02 é constituído de módulos estruturais de 6m x 8m com vigas secundárias na qual é utilizado perfis tipo I (02 “U” enrijecidos soldados ao longo das almas) para as colunas e tipo I (01 perfil “U” enrijecido soldado à dois perfis “U” simples preenchidos com concreto armado) para as vigas da estrutura metálica. A razão da utilização das vigas preenchidas de concreto armado é proporcionar maior rigidez atendendo os aspectos de deformação dos perfis.

Sobre as vigas, tanto nas soluções estruturais do modelo 01 quanto nas do modelo 02, são apoiadas as lajes em painéis de concreto celular autoclavado. As lajes receberão posteriormente uma camada de capeamento de 5cm de espessura de modo a proporcionar maior solidariedade dos painéis à estrutura. No modelo 01 foram analisadas 03 soluções estruturais com ligações diferentes para cada solução. No modelo 02 foi analisada uma solução estrutural também com diferentes propostas de ligações.

3.3 – PREMISSAS GERAIS DE CÁLCULO DOS MODELOS

São consideradas como premissas de cálculo o peso próprio de 94 kg/m^2 da laje em painéis de concreto celular autoclavado, uma sobrecarga de 150 kg/m^2 para as lajes de piso e 50 kg/m^2 para as lajes de forro (NBR 6120, 1980), revestimento de 100 kg/m^2 e paredes internas e externas de 45 kg/m^2 . A soma destes carregamentos é identificada na figura 3.1 (Carregamento Q).

O peso da parede refere-se aos painéis de gesso acartonado utilizados internamente e externamente as placas cimentícias. Os pesos utilizados na análise tem os seguintes valores (Lafarge Gypsum, 1999):

- Paredes externas: 80 kgf/m ($0,80 \text{ kN/m}$);
- Paredes internas: 66 kgf/m ($0,66 \text{ kN/m}$).

A figura 3.1 mostra o esquema estrutural do carregamento da lajes constituídas dos painéis de concreto celular autoclavado.

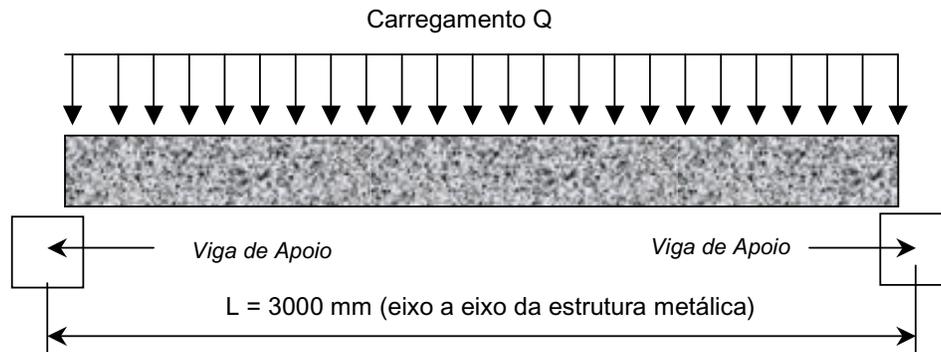


Figura 3.1 – Esquema de carregamento das lajes constituídas dos painéis de concreto celular autoclavado.

As ações do carregamento atuante devem ser combinadas devido ao fato das mesmas poderem atuar simultaneamente. Assim definiu-se cinco combinações das ações de carregamento. Em todas as soluções estruturais analisadas utilizou-se estas combinações com os respectivos coeficientes. As ações adotadas foram estabelecidas pelas normas brasileiras NBR 6120 (NBR 6120, 1980) e NBR 6123 (NBR 6123, 1988). A tabela 3.1 ilustra os valores utilizados como coeficientes de combinações dos carregamentos.

Tabela 3.1 – Coeficientes utilizados nas combinações dos carregamentos

Carregam.	Combinação	Combinação	Combinação	Combinação	Combinação
Tipo Combinação	1	2	3	4	5
Peso Próprio da Estrutura	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Peso Próprio	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Alvenaria	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Sobrecarga	1,5	0,975	1,5	1,5	0,975
Vento na direção X	0,84	1,4	-	-	-
Vento na direção Y	-	-	-	0,84	1,4

3.4 – MODELO ESTRUTURAL 01

Este modelo estrutural é constituído de 08 módulos de 3m x 4m nos quais são utilizados os perfis conformados à frio de seção transversal tipo “caixa”. Esta modulação permite a utilização dos painéis de concreto celular autoclavado como lajes. Diversas situações estruturais foram analisadas visando soluções viáveis tecnicamente e economicamente.

Aliada a cada solução estrutural há uma solução das ligações dos perfis que formam as colunas e vigas. Na solução 1, projeta-se a estrutura metálica para a utilização de ligações tipo “luvas” estruturais de aço. Com isso utiliza-se colunas de 12 metros de comprimento e todas as ligações rotuladas. Na solução 2 utiliza-se ligações tipo “nós” estruturais de aço e colunas de 3m de comprimento. Já na solução 3 utiliza-se ligações convencionais por meio de soldas executadas no próprio canteiro de obras. A figura 3.2 ilustra o lançamento estrutural segundo a modulação 3m x 4m, onde E1 a E3 são os eixos longitudinais e F1 a F5 os eixos transversais.

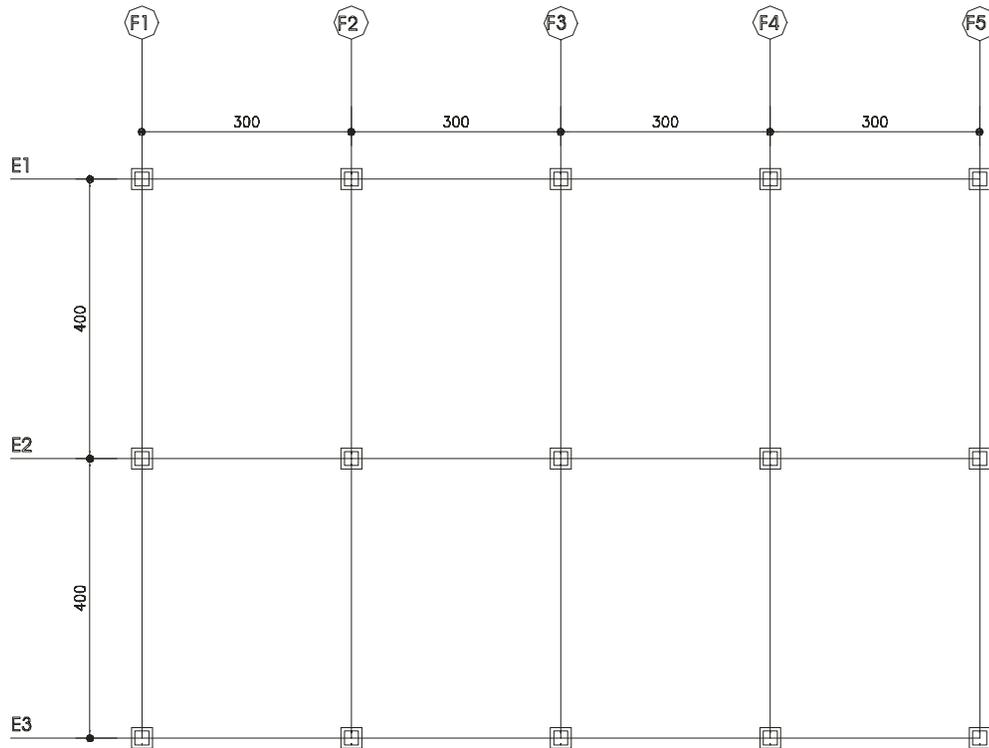


Figura 3.2 – Modelo Estrutural 01: modulação de 3m x 4m.

A figura 3.3 identifica a numeração das colunas e vigas que compõem a estrutura e os eixos de referência.

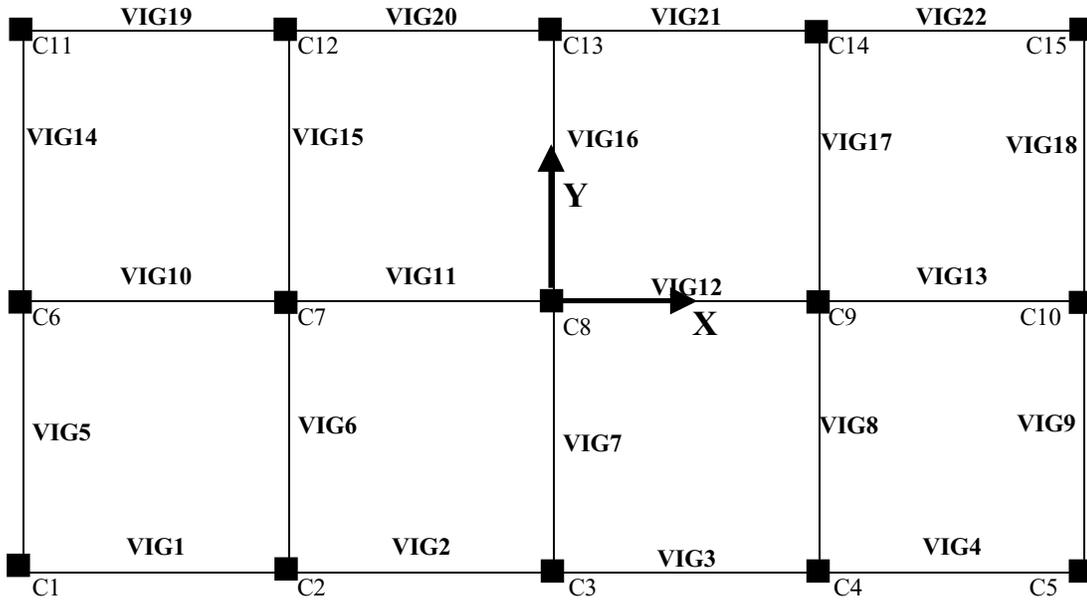


Figura 3.3 – Identificação das colunas, das vigas e os eixos de referência.

A figura 3.4 ilustra a numeração dos nós do 4º pavimento do projeto onde analisou-se o nível de deslocamentos máximos do modelo 01.

15	30	45	60	75
10	25	40	55	70
5	20	40	55	65

Figura 3.4 – Numeração dos nós do 4º pavimento do projeto.

As figuras 3.5 e 3.6 ilustram os eixos globais das análises das vigas transversais e das colunas.

Vigas

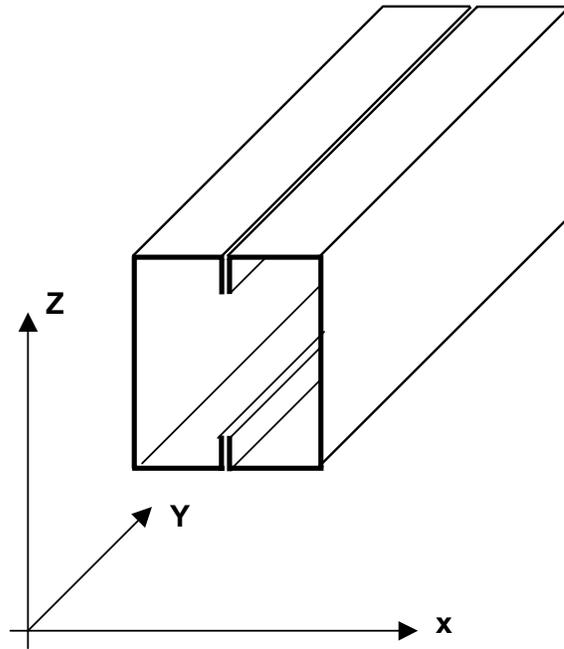


Figura 3.5 –Eixos globais das vigas

Colunas

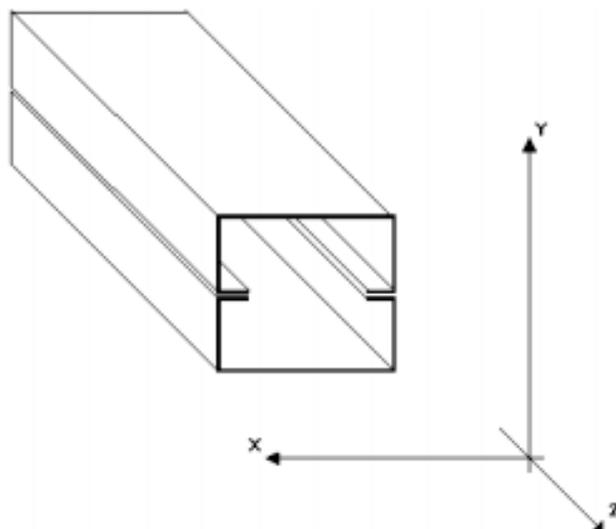


Figura 3.6 –Eixos globais das colunas

As figuras 3.7 e 3.8 ilustram os eixos locais das análises das vigas e colunas.

Vigas

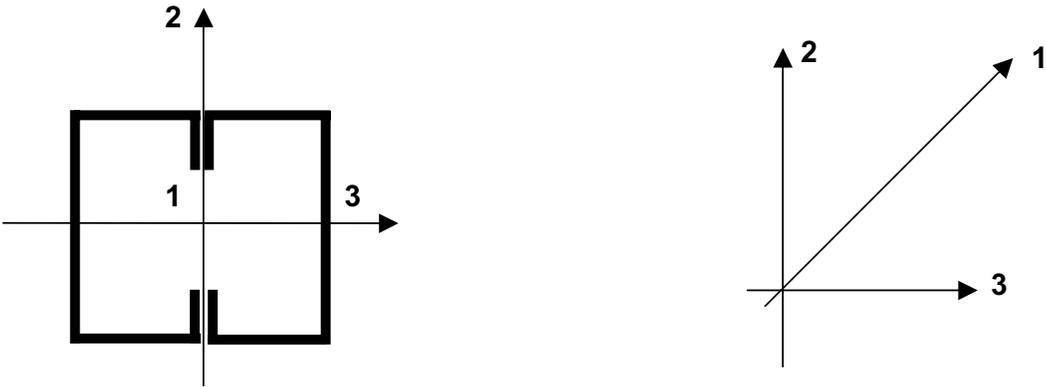


Figura 3.7 - Eixos locais das vigas

Sendo o Eixo 3, o eixo de maior inércia.

Colunas

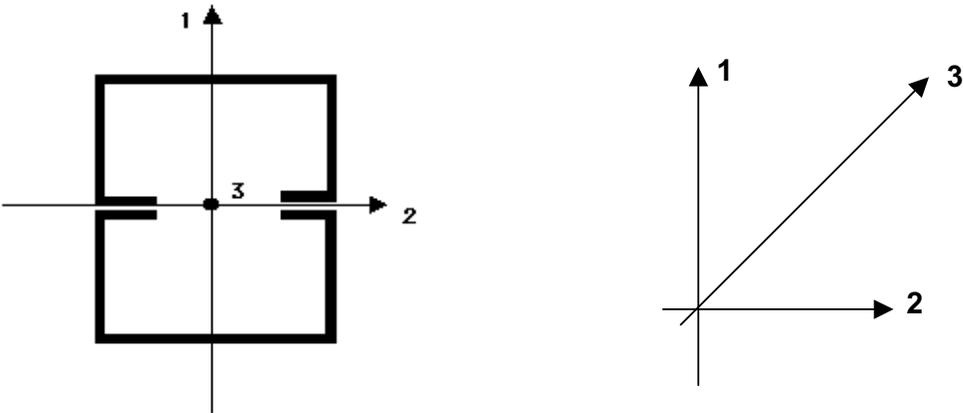


Figura 3.8 - Eixos locais das colunas

3.4.1 – Solução 01

Na solução estrutural 01 do modelo 01 utilizou-se como premissa, o conceito de “luvas” estruturais de aço. Estas “luvas” estruturais são abordadas a seguir e patenteadas pela empresa SYSTEMAC Soluções Industrializadas Ltda. Trabalhou-se com a modulação de 15 colunas de 12 metros de comprimento onde as “luvas” são soldadas às mesmas. Este trabalho de soldagem é realizado na fábrica de estrutura metálica. O processo de montagem desta estrutura é abordado no Capítulo 5 deste trabalho. Na análise foi considerado:

- Colunas e vigas em perfis tipo conformados à frio de seção transversal “caixa”;
- Ligações rotuladas nas direções X e Y;
- Contraventamentos em perfis conformados à frio por meio de diagonais aplicadas nas direções X e Y.

3.4.1.1 – Luvas estruturais de aço

Como as peças da estrutura são constituídas de perfis conformados à frio tipo “caixa”, foram adotadas as ligações por meio de “luvas” estruturais as quais servem de junção entre colunas e vigas. Este sistema de luvas foi desenvolvido pela SYSTEMAC®. A figura 3.9 ilustra a luva da ligação.



Figura 3.9 – Detalhe da luva utilizada para as ligações entre colunas e vigas.

Este tipo de ligação adapta-se perfeitamente à estrutura metálica proposta, pois a mesma utiliza perfis de seção tipo “caixa”, facilitando assim, a fabricação, a montagem e evitando-se o uso de solda no canteiro de obras.

De acordo com modelo 01, as luvas estruturais de aço são soldadas nas colunas de 12 metros de comprimento. Solda-se, na fábrica, as luvas estruturais a cada 3m (pé-direito adotado) e na posição a qual receberá uma viga metálica. As luvas de aço são furadas de modo a receber os parafusos para ligação com as vigas. São utilizados parafusos do tipo ASTM A325 na qual possuem uma resistência à tração de 84,4 kN/cm², limite de escoamento de 64,7 kN/cm² e diâmetros variando de 12,7 a 25,4 mm.

Recomenda-se utilizar o processo de soldagem MIG/MAG para ligação da luva a coluna a fim de obter uma solda de melhor qualidade. As figuras 3.10 e 3.11 detalham o esquema de ligação da luva estrutural, soldada à coluna, na qual receberá a viga metálica.

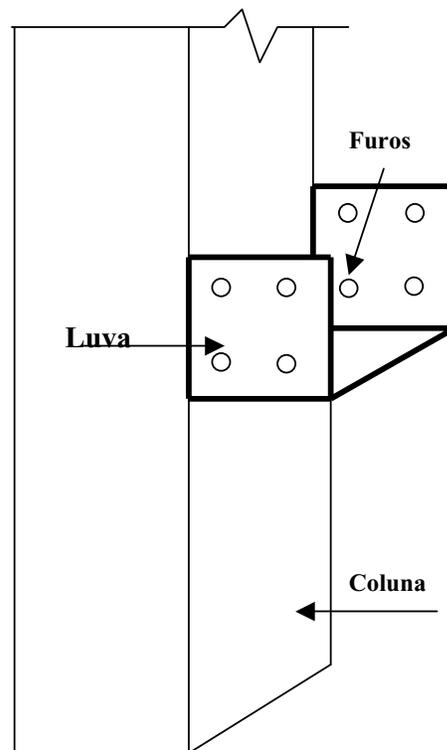


Figura 3.10 – Esquema de ligação de luvas soldadas à coluna.



Figura 3.11 – Detalhe das luvas estruturais soldadas à coluna.

O processo de solda da luva estrutural à coluna acontece na fábrica de modo a facilitar o processo de montagem.

As vigas, constituídas por perfis tipo “caixa”, são furadas e possuem uma abertura circular com diâmetro de cerca de 100mm sobre a mesa do perfil, figura 3.12 e 3.13. Esta abertura tem a função de servir de acesso à mão do operário que efetuará o aparafusamento da viga à luva.

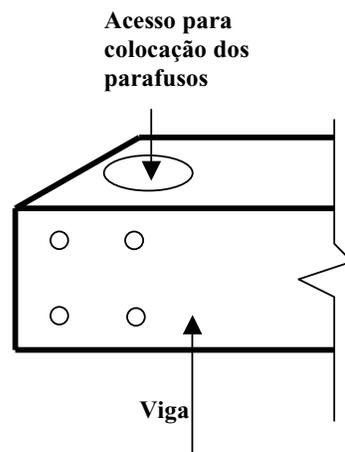


Figura 3.12 – Detalhe das vigas utilizadas na solução 01 do modelo 01.



Figura 3.13 – Detalhe das vigas utilizadas observando-se o sistema de furação utilizado.

Na figura 3.14 observa-se o posicionamento da viga em relação à luva que será soldada à coluna e ainda a abertura para acesso do operário quando do aparafusamento.



Figura 3.14 – Detalhe da ligação da viga com a luva.

As ligações parafusadas possuem vantagens como rapidez nas ligações de campo, economia de consumo de energia podendo ser utilizada em locais onde há escassez da mesma, mão de obra pouco qualificada e uma excelente resposta às tensões de fadiga. Apresenta porém, as seguintes desvantagens: necessidade de verificação de áreas líquidas e esmagamentos de peças e necessidade de previsão antecipada de modo a não faltar parafusos na obra. (Bellei, 1998).

Ressalta-se a importância da precisão das dimensões das vigas e colunas para que o aparafusamento das peças seja perfeito não havendo folga nem estrangulamento das mesmas.

Foram verificadas as soldas das luvas estruturais de aço na ligação da luva na coluna. A espessura considerada da coluna foi de 3mm. Verificou-se a força resistente de cálculo de uma solda de filete em superfície plana pelo estado limite último de ruptura do metal base. Posteriormente verificou-se o escoamento do metal base e as verificações de rasgamento e esmagamento dos parafusos utilizados na ligação.

3.4.1.2 – Análise estrutural

Este item aborda as análises estruturais da estrutura na solução 01 do modelo 01 com seus respectivos deslocamentos, esforços máximos e perfis adotados. As análises foram baseadas segundo a norma AISI/96 e a NBR 8800 (NBR 8800, 1986).

Considerou-se o deslocamento horizontal máximo admissível igual a $h/400$ (Tabela 26 - Anexo D - NBR 8800/86). Onde h (1200 cm) é a altura do edifício. Com isso tem-se um deslocamento máximo admissível de 3 cm. Após as análises da estrutura, obteve-se na direção x , o deslocamento máximo de 0,5947 cm e na direção y , o deslocamento máximo de 0,5770 cm. Estes deslocamentos horizontais máximos são menores que os admissíveis pela norma NBR8800.

Na tabela 3.2 tem-se os resultados referentes aos deslocamentos relativos dos nós. Os nós utilizados na análise dos deslocamentos são os nós de extremidade do 4º pavimento

conforme numeração da figura 3.4. Os valores em negrito mostram os deslocamentos máximos obtidos.

Tabela 3.2 – Deslocamentos relativos nos nós da solução 01 do modelo 01

Nós	Direção do carregamento	U1 (cm)	U2 (cm)
5	X	0,5694	0,0144
	Y	-0,0218	0,5770
15	X	0,5947	0,0144
	Y	3,627E-03	0,5770
65	X	0,5694	-0,0236
	Y	-0,0218	0,5388
75	X	0,5947	-0,0236
	Y	3,627E-03	0,5388
U1 – Deslocamentos horizontais do eixo 1 em centímetros; U2 - Deslocamentos horizontais do eixo 2 em centímetros.			

Com relação às vigas, considera-se o deslocamento vertical máximo admissível igual a $L/360$ de acordo com a Tabela 26 - Anexo D - NBR 8800/86 (NBR8800, 1986). Portanto, para o maior vão de 400cm utilizado no projeto, tem-se o deslocamento vertical máximo admissível de 1,11 cm. Após as análises, a viga mais solicitada possui deslocamento vertical máximo igual a 1,05 cm.

A tabela 3.3 apresenta os esforços máximos das colunas por pavimento. Basicamente as colunas foram divididas em 02 grupos. O grupo 1 é constituído pelas colunas C1 a C6 e C10 a C15. O grupo 2 é constituído pelas colunas C7, C8 e C9. O agrupamento destas colunas visa a padronização das peças afim de facilitar o processo de fabricação e de montagem da estrutura.

Tabela 3.3 – Principais esforços solicitantes das colunas da solução 01 do modelo 01

Colunas	Grupo	Esforço normal de compressão solicitante de cálculo	Momentos fletores máximos solicitantes de cálculo	
		Nd (kN)	Mdx (kN x m)	Mdy (kN x m)
1º Pavimento	1	100 a 150	2,25	2,95
	2	200 a 300	0,81	1,15
2º Pavimento	1	70 a 100	1,37	1,70
	2	180 a 220	-0,24	-0,25
3º Pavimento	1	40 a 70	1,50	2,10
	2	120 a 150	-	-
4º Pavimento	1	15 a 35	1,86	2,21
	2	60 a 75	-	-
Grupo 1 - C1 a C6 e C10 a C15 Grupo 2 - C7, C8 e C9				

A tabela 3.4 apresenta os esforços máximos para as vigas transversais e longitudinais da solução 01.

Tabela 3.4 – Esforços solicitantes das vigas da solução 01 do modelo 01

Vigas do pavimento tipo	Momentos fletores máximos solicitantes de cálculo		Esforço cortante máximo de cálculo
	Mdx (kN x m)	Mdy (kN x m)	Vmáx (kN)
Longitudinais VIG10 e VIG13	-	11,77	15,70
Transversais VIG6 e VIG8, VIG15 e VIG17	-	24,37	24,40

As tabelas 3.5 e 3.6 identificam as análises de dimensionamento das colunas e vigas respectivamente. O dimensionamento das colunas, vigas e contraventamentos foram realizados de acordo com a AISI/96.

Como mencionado anteriormente, o agrupamento das colunas tem por objetivo a padronização das peças. Portanto os grupos de colunas foram divididos em função da faixa dos esforços apresentados na tabela 3.3.

Tabela 3.5 – Perfis utilizados como colunas na análise de dimensionamento estrutural

Coluna	Grupo	Perfil	Esforço Normal Resistente de Cálculo (Rd)
1º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,75	507,11 kN
2º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,75	507,11 kN
3º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,75	507,11 kN
4º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,75	507,11 kN

Tabela 3.6 – Perfis utilizados como vigas na análise de dimensionamento estrutural da solução 01 do modelo 01

Vigas do pavimento tipo	Perfil	Momento Resistente de Cálculo (Mrd)
Longitudinais	Caixa 200x140x20x2,00	24,53 kN.m
Transversais	Caixa 200x140x20x2,25	28,16 kN.m

Foram utilizados como contraventamentos os perfis tipo “U” simples de dimensões 140x40x3,00mm.

As dimensões adotadas para os perfis são padronizadas e utilizadas comercialmente por empresas perfiladeiras e dobradeiras. Utilizou-se perfis padronizados de acordo com as tabelas da TECNOFER S/A (Tecnofer, 1990). No caso das vigas, utilizou-se dimensões dos perfis fora dos padrões das tabelas de modo a atender as necessidades de montagem desta solução estrutural.

A tabela 3.7 identifica o elemento estrutural com suas respectivas características geométricas. A tabela 3.8 detalha o quantitativo de material utilizado na solução 01 referente às colunas, vigas e contraventamentos.

Tabela 3.7 – Características das colunas, vigas e contraventamentos da solução 01 do modelo 01

Elemento	A (cm²)	P (kg/m)	J_x (cm⁴)	J_y (cm⁴)	W_x (cm³)	W_y (cm³)
Coluna 150 x 150 x 20 x 3,75	23,89	18,8	853,2	769,0	113,8	102,5
Coluna 150 x 150 x 20 x 3,00	19,37	15,2	701,0	626,9	93,5	83,6
Viga 200 x 140 x 20 x 2,25	16,52	13,0	1005,6	516	100,6	73,7
Viga 200 x 140 x 20 x 2,00	14,74	11,6	900,8	461,4	90,1	65,9
Contraventamento 140 x 40 x 3,00	6,34	5,0	169,0	8,3	24,1	2,6
A – área da seção transversal P – Peso do perfil em kilograma por metro J _x - Momentos de inércia da seção bruta em relação ao eixo principal x J _y - Momentos de inércia da seção bruta em relação ao eixo principal y W _x – Módulo de resistência em relação ao eixo x W _y - Módulo de resistência em relação ao eixo y						

Tabela 3.8 – Resumo de material referente às colunas, vigas e contraventamentos da solução 01 do modelo 01

Elemento	Dimensões	Quantidade	Comprimento Total (m)	Peso Unitário (Kg/m)	Peso Total (Kg)
Colunas	150x150x20x3,00	12	144	18,80	2.188,80
	150x150x20x3,75	03	36	15,20	676,80
Vigas	200x140x20x2,00	48	144	11,60	1.670,40
	200x140x20x2,25	40	160	13,00	2.080,00
Contraventamentos	140x40x3,00	16	68	5,00	340,00
		16	80	5,00	400,00
Ligações				559,75 kg	
Total				7.915,75 kg	
Taxa				20,61 kg/m ²	

3.4.2 - Solução 02

Na solução estrutural 02 do modelo 01 utilizou-se como premissa, o uso de “nós” estruturais de aço. Estes “nós” estruturais são ilustrados a seguir e patenteados pela empresa SYSTEMAC Soluções Industrializadas Ltda. Neste caso trabalhou-se com 15 colunas de 3 metros de comprimento por pavimento onde os “nós” são colocados durante o processo de montagem da estrutura metálica com intuito de ligar as colunas e vigas da estrutura. Na análise considerou-se:

- Colunas e vigas em perfis conformados à frio de seção transversal “caixa”;
- Ligações rotuladas nas direções X e Y;
- Contraventamentos em perfis conformados à frio por meio de diagonais aplicadas nas direções X e Y.

3.4.2.1 – Nós estruturais de aço

O tipo de ligação parafusada, utilizada como premissa na solução estrutural 02, refere-se aos nós estruturais de aço. Como as peças da estrutura são constituídas de perfis conformados à frio de seção transversal tipo “caixa”, pode-se utilizar este tipo de ligação com muita eficiência. Os nós estruturais, como as luvas, servem de ligação entre as vigas e colunas sendo desenvolvidos e patenteados pela SYSTEMAC. A figura 3.15 ilustra este tipo de ligação.

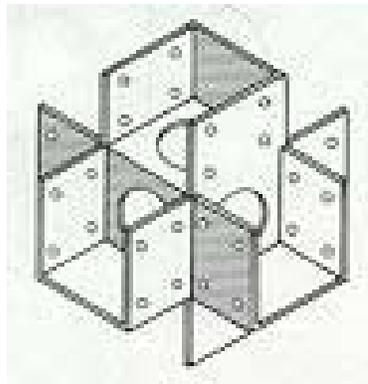
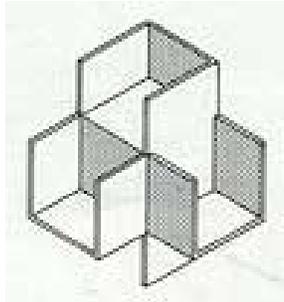


Figura 3.15 – Nó estrutural de aço (Systemac, 2000)

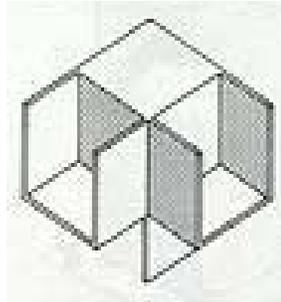
O nó estrutural é um conjunto de luvas soldadas entre si de modo a obter um elemento único de aço. A partir de uma matriz básica, os nós se multiplicam de forma ortogonal em todas as direções, atendendo aos mais diversos tipos de situações estruturais (Systemac, 2000).

O nó possui a função de ligar as vigas entre si, as colunas e as vigas nesta última. Existem aberturas circulares nos nós que proporcionam acesso quando do aparafusamento da ligação. As chapas de aço que constituem os nós possuem espessura de 3,0 mm. Este sistema de ligação difere das luvas estruturais no que se refere à continuidade das peças metálicas. No sistema de nós, utiliza-se elementos com comprimentos menores para que se possibilite utilizar os nós nas ligações entre estes elementos.

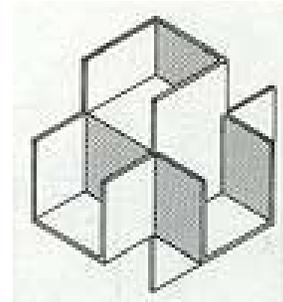
A figura 3.16a, b, c, d, e e f ilustra as várias combinações de ligações entre colunas e vigas que compõem os nós.



Ligação entre colunas e entre uma viga transversal e uma longitudinal.



Ligação entre uma viga transversal e uma viga longitudinal. Utilizado quando não há continuidade da coluna.

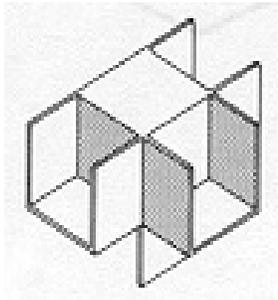


Ligação entre colunas e entre vigas na mesma direção e uma viga em outra direção.

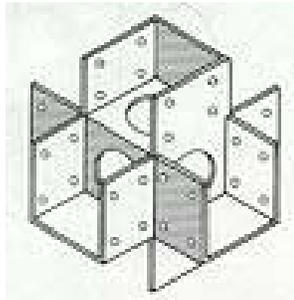
a)

b)

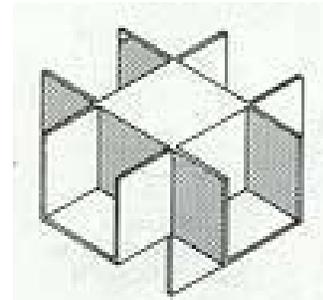
c)



Ligação entre vigas nas duas direções e uma coluna que não há continuidade.



Ligação entre colunas e vigas nas duas direções.



Ligação entre vigas nas duas direções e entre a coluna que não há continuidade.

d)

e)

f)

Figura 3.16 – Tipos de ligações constituídas por nós estruturais de aço. (Systemac,2000)

A figura 3.17 ilustra um tipo de ligação entre coluna e viga.



Figura 3.17 – Ligação entre uma viga e uma coluna constituída de nó de aço, ressaltando-se o acabamento em plástico da abertura circular.

3.4.2.2 – Análise estrutural

Este item aborda as análises estruturais da estrutura com seus respectivos deslocamentos, esforços máximos e perfis adotados. As análises foram baseadas segundo a norma AISI/96 e a NBR 8800 (NBR 8800, 1986).

Considerou-se o deslocamento horizontal máximo admissível igual a $h/400$ (Tabela 26 - Anexo D - NBR 8800/86). Onde h (1200 cm) é a altura do edifício. Com isso tem-se um deslocamento máximo admissível de 3 cm.

Após as análises da estrutura, obteve-se na direção x, o deslocamento máximo de 0,6186 cm e na direção y, o deslocamento máximo de 0,5771 cm. Portanto, menores que os admissíveis pela norma NBR8800.

A tabela 3.9 ilustra os resultados referentes aos deslocamentos relativos dos nós. Os nós utilizados na análise dos deslocamentos são os nós de extremidade do 4º pavimento, conforme a figura 3.4. Os valores em negrito representam os deslocamentos máximos obtidos.

Tabela 3.9 – Deslocamentos relativos nos nós da solução 02 do modelo 01

Nós	Direção do carregamento	U1 (cm)	U2 (cm)
5	X	0,5935	0,0139
	Y	-0,0221	0,5771
15	X	0,6186	0,0139
	Y	3,467E-03	0,5771
65	X	0,5935	-0,0238
	Y	-0,0221	0,5387
75	X	0,6186	-0,0238
	Y	3,467E-03	0,5387
U1 – Deslocamentos horizontais do eixo 1 em centímetros;			
U2 – Deslocamentos horizontais do eixo 2 em centímetros.			

Com relação às vigas, considera-se o deslocamento vertical máximo admissível igual a $L/360$ de acordo com a Tabela 26 - Anexo D - NBR 8800/86 (NBR8800, 1986). Portanto, para o maior vão de 400cm utilizado no projeto, tem-se o deslocamento vertical máximo admissível de 1,11 cm. Após as análises, a viga mais solicitada possui deslocamento vertical máximo igual a 1,05 cm.

A tabela 3.10 apresenta os esforços solicitantes máximos das colunas por pavimento. Basicamente as colunas foram divididas em 02 grupos. O grupo 1 é constituído das colunas C1 a C6 e C10 a C15. O grupo 2 é constituído pelas colunas C7, C8 e C9. O

agrupamento destas colunas visa a padronização das mesmas a fim de facilitar o processo de fabricação e de montagem da estrutura. A tabela 3.11 apresenta os esforços máximos para as vigas transversais e longitudinais do projeto.

Tabela 3.10 - Principais esforços solicitantes das colunas da solução 02 do modelo 01

Colunas	Grupo	Esforço normal de compressão solicitante de cálculo	Momentos fletores máximos solicitantes de cálculo	
		Nd (kN)	Mdx (kN x m)	Mdy (kN x m)
1º Pavimento	1	100 a 150	2,25	-2,74
	2	250 a 300	0,81	-
2º Pavimento	1	70 a 100	1,38	-2,74
	2	180 a 220	-0,24	-
3º Pavimento	1	40 a 70	1,52	-2,74
	2	120 a 150	-	-
4º Pavimento	1	15 a 35	1,89	-2,74
	2	60 a 75	-	-
Grupo 1 – C1 a C6 e C10 a C15				
Grupo 2 – C7, C8 e C9				

Tabela 3.11 - Esforços solicitantes das vigas da solução 02 do modelo 01

Vigas do pavimento tipo	Momento Máximo		Cortante Máximo
	Mdx (kN x m)	Mdy (kN x m)	Vmáx (kN)
Longitudinais VIG10 e VIG13	-	11,77	15,70
Transversais VIG6 e VIG8, VIG15 e VIG17	-	24,37	24,40

As tabelas 3.12 e 3.13 identificam as análises de dimensionamento das colunas e vigas respectivamente. O dimensionamento das colunas, vigas e contraventamentos foram

realizados de acordo com a AISI/96. Como mencionado anteriormente, o agrupamento das colunas tem por objetivo a padronização das peças. Portanto os grupos de colunas foram divididos em função da faixa dos esforços apresentados na tabela 3.10.

Tabela 3.12 - Perfis utilizados na análise de dimensionamento estrutural da solução 02 do modelo 01

Coluna	Grupo	Perfil	Esforço Normal Resistente de Cálculo (Rd)
1º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,75	507,11 kN
2º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,75	507,11 kN
3º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,75	507,11 kN
4º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,75	507,11 kN

Tabela 3.13 – Perfis utilizados como vigas na análise de dimensionamento estrutural da solução 02 do modelo 01

Vigas do pavimento tipo	Perfil	Momento Resistente de Cálculo (Mrd)
Longitudinais	Caixa 200x140x20x2,00	24,53 kN.m
Transversais	Caixa 200x140x20x2,25	28,16 kN.m

As dimensões dos perfis foram escolhidas em função da padronização dos elementos estruturais de modo a facilitar o processo de fabricação e montagem. São perfis cujas as dimensões são padronizadas e utilizadas comercialmente por empresas perfiladeiras e dobradeiras. Utilizou-se perfis padronizados de acordo com as tabelas da TECNOFER S/A (Tecnofer, 1990) . No caso das vigas, utilizou-se dimensões dos perfis fora dos padrões das tabelas de modo a atender as necessidades de montagem desta solução estrutural. A tabela 3.14 identifica o elemento estrutural com suas respectivas

características geométricas. A tabela 3.15 detalha o quantitativo de material referente às colunas, vigas e contraventamentos.

Tabela 3.14 – Características das colunas, vigas e contraventamentos da solução 02 do modelo 01

Elemento	A (cm²)	P (kg/m)	J_x (cm⁴)	J_y (cm⁴)	W_x (cm³)	W_y (cm³)
Coluna 150 x 150 x 20 x 3,75	23,89	18,8	853,2	769,0	113,8	102,5
Coluna 150 x 150 x 20 x 3,00	19,37	15,2	701,0	626,9	93,5	83,6
Viga 200 x 140 x 20 x 2,25	16,52	13,0	1005,6	516	100,6	73,7
Viga 200 x 140 x 20 x 2,00	14,74	11,6	900,8	461,4	90,1	65,9
Contraventamento 140 x 40 x 3,00	6,34	5,0	169,0	8,3	24,1	2,6

Tabela 3.15 - Resumo de material referente às colunas, vigas e contraventamentos da solução 02 do modelo 01

Elemento	Dimensões	Quantidade	Comprimento Total (m)	Peso Unitário (Kg/m)	Peso Total (Kg)
Colunas	150x150x20x3,00	12	144	18,80	2.188,80
	150x150x20x3,75	03	36	15,20	676,80
Vigas	200x140x20x2,00	48	144	11,60	1.670,40
	200x140x20x2,25	40	160	13,00	2.080,00
Contraventamentos	140x40x3,00	16	68	5,00	340,00
		16	80	5,00	400,00
Ligações				1.173,46 kg	
Total				8.529,46 kg	
Taxa				22,21 kg/m ²	

3.4.3 – Solução 03

Nesta solução estrutural utilizou-se como premissa, o uso de soldas nas ligações entre colunas e vigas. O sistema de soldagem utilizado foi o MIG/MAG afim de obter soldas com qualidades superiores. Na análise considerou-se:

- Colunas e vigas em perfis conformados à frio de seção transversal tipo “caixa”;
- Ligações engastadas na direção X da edificação;
- Ligações rotuladas na direção Y da edificação;
- Contraventamentos em perfis conformados à frio por meio de diagonais aplicadas na direção Y da edificação.

3.4.3.1 - Ligações soldadas

Utiliza-se o sistema de soldagem tipo MIG/MAG. Neste processo o calor necessário para a soldagem é obtido através de um arco elétrico estabelecido entre um arame eletrodo e um metal base.

3.4.3.2 – Análise estrutural

Considerou-se o deslocamento horizontal máximo admissível igual a $h/400$ (Tabela 26 - Anexo D - NBR 8800/86). Onde h (1200 cm) é a altura do edifício. Com isso tem-se um deslocamento máximo admissível de 3cm.

Após as análises da estrutura, obteve-se na direção X, o deslocamento máximo de 2,66 cm e na direção Y, o deslocamento máximo de 0,57cm. Portanto, menores que os admissíveis pela norma NBR8800.

A tabela 3.16 mostra os resultados referentes aos deslocamentos relativos dos nós. Os nós utilizados na análise dos deslocamentos são os nós de extremidade do 4º

pavimento. A numeração destes nós é fornecida pelo programa utilizado. Os valores em negrito mostram os deslocamentos máximos analisados.

Tabela 3.16 – Deslocamentos relativos nos nós

Nós	Direção do carregamento	U1 (cm)	U2 (cm)
5	X	2,4476	0,1245
	Y	-0,0913	0,5775
15	X	2,6654	0,1245
	Y	-0,0418	0,5775
65	X	2,4476	-0,2023
	Y	-0,0913	0,5033
75	X	2,6654	-0,2023
	Y	-0,0418	0,5033
U1 – Deslocamentos horizontais do eixo 1 em centímetros; U2 – Deslocamentos horizontais do eixo 2 em centímetros.			

Com relação às vigas, consideramos o deslocamento vertical máximo admissível ($L/360$) de acordo com a Tabela 26 - Anexo D - NBR 8800/86. Portanto, para o maior vão de 400cm utilizado no projeto, obtivemos o deslocamento vertical máximo admissível de 1,11 cm. Após as análises, a viga mais solicitada possui deslocamento vertical máximo igual a 0,70 cm.

A tabela 3.17 mostra a identificação das colunas por pavimento com seus respectivos esforços máximos. Basicamente as colunas foram divididas em 02 grupos. O grupo 1 é constituído das colunas C1 a C6 e C10 a C15. O grupo 2 é constituído pelas colunas C7, C8 e C9. O motivo do agrupamento destas colunas é visar a padronização das peças afim de facilitarmos o processo de fabricação e de montagem da estrutura. A tabela 3.18 ilustra os esforços máximos para as vigas transversais e longitudinais do projeto.

Tabela 3.17 - Principais esforços solicitantes das colunas da solução 03 do modelo 01

Colunas	Grupo	Esforço normal de compressão solicitante de cálculo	Momentos fletores máximos solicitantes de cálculo	
		Nd (kN)	Mdx (kN x m)	Mdy (kN x m)
1º Pavimento	1	100 a 150	18,17	-11,53
	2	200 a 300	16,20	-10,19
2º Pavimento	1	70 a 100	13,50	7,59
	2	200 a 250	-11,80	7,37
3º Pavimento	1	50 a 75	-7,95	5,49
	2	150 a 200	-6,83	5,48
4º Pavimento	1	15 a 35	-3,50	2,85
	2	60 a 100	-1,90	1,40
Grupo 1 - C1 a C6 e C10 a C15 Grupo 2 - C7, C8 e C9				

Tabela 3.18 - Esforços solicitantes das vigas da solução 03 do modelo 01

Vigas do pavimento tipo	Momento Máximo		Cortante Máximo
	Mdx (kN x m)	Mdy (kN x m)	Vmáx (kN)
Transversais e longitudinais	10,80	-26,80	29,40

A tabela 3.19 e 3.20 identificam as análises de pré-dimensionamento das colunas e vigas respectivamente. O dimensionamento das colunas, vigas e contraventamentos foram realizados de acordo com a AISI/96. Como mencionado anteriormente, o agrupamento das colunas tem por objetivo a padronização das peças. Portanto os grupos de colunas foram divididos em função da faixa dos esforços apresentados na tabela 3.17.

Tabela 3.19 - Perfis utilizados como colunas na análise de dimensionamento estrutural da solução 03 do modelo 01

Coluna	Grupo	Perfil	Esforço Normal Resistente de Cálculo (Rd)
1º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,75	507,11 kN
2º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 3,00	389,46 kN
3º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 2,00	218,74 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 2,00	218,74 kN
4º pavimento	1	Caixa 150 x 150 x 20 x 2,00	218,74 kN
	2	Caixa 150 x 150 x 20 x 2,00	218,74 kN

Tabela 3.20 – Perfis utilizados como vigas na análise de dimensionamento estrutural da solução 03 do modelo 01

Elemento	Pavimento	Identificação	Perfil	Momento Resistente de Cálculo (Mrd)
Vigas	1º, 2º, 3º e 4º	Transversais e Longitudinais	Caixa 200x150x20x2,00	24,53 kN.m

A tabela 3.21 mostra algumas propriedades geométricas dos perfis utilizados nas colunas, vigas e contraventamentos. A tabela 3.22 detalha o quantitativo de material referente às colunas, vigas e contraventamentos.

Tabela 3.21 - Características das colunas, vigas e contraventamentos da solução 03 do modelo 01

Elemento	A (cm²)	P (kg/m)	J_x (cm⁴)	J_y (cm⁴)	W_x (cm³)	W_y (cm³)
Coluna 150 x 150 x 20 x 3,75	23,89	18,8	853,2	769,0	113,8	102,5
Coluna 150 x 150 x 20 x 3,00	19,37	15,2	701,0	626,9	93,5	83,6
Coluna 150 x 150 x 20 x 2,00	13,14	10,3	484,0	428,4	64,5	57,1
Viga 200 x 150 x 20 x 2,00	15,14	11,9	940,0	538,0	94,0	71,7
Contraventamento 140 x 40 x 3,00	6,34	5,0	169,0	8,3	24,1	2,6

Tabela 3.22 - Resumo de material referente às colunas, vigas e contraventamentos da solução 03 do modelo 01

Elemento	Dimensões	Quantidade	Comprimento Total (m)	Peso Unitário (Kg/m)	Peso Total (Kg)
Colunas	150x150x20x2,00	30	90	10,30	927,00
	150x150x20x3,00	27	81	15,20	1.231,20
	150x150x20x3,75	03	09	18,80	169,20
Vigas	200x150x20x2,00	88	304	11,90	3.617,60
Contraventamentos	140x40x3,00	16	68	5,00	340,00
		16	80	5,00	400,00
Ligações				334,25 kg	
Total				7.019,25 kg	
Taxa				18,28 kg/m ²	

3.5 – MODELO ESTRUTURAL 02

Este modelo estrutural é constituído de 02 módulos estruturais de 6m x 8m com vigas secundárias onde utiliza-se perfis formados à frio “U” enrijecido tipo I para as colunas e tipo I formado por um perfil “U” enrijecido com dois “U” simples preenchidos de concreto armado para as vigas. A utilização do concreto armado proporciona maior rigidez às vigas metálicas, maiores vãos e consequentemente maior estabilidade da estrutura. A figura 3.18 ilustra o lançamento estrutural do modelo 02, onde E1 a E2 são os eixos longitudinais e F1 a F3 os eixos transversais.

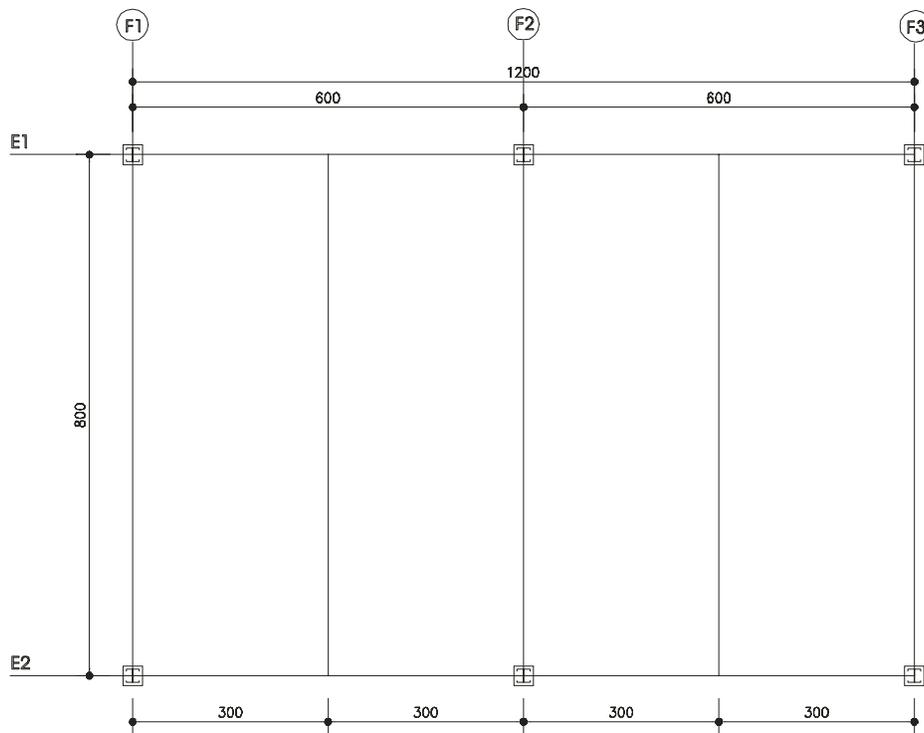


Figura 3.18 – Modelo Estrutural 02: modulação 6m x 8m.

A figura 3.19 identifica a numeração das colunas e vigas que compõem a estrutura.

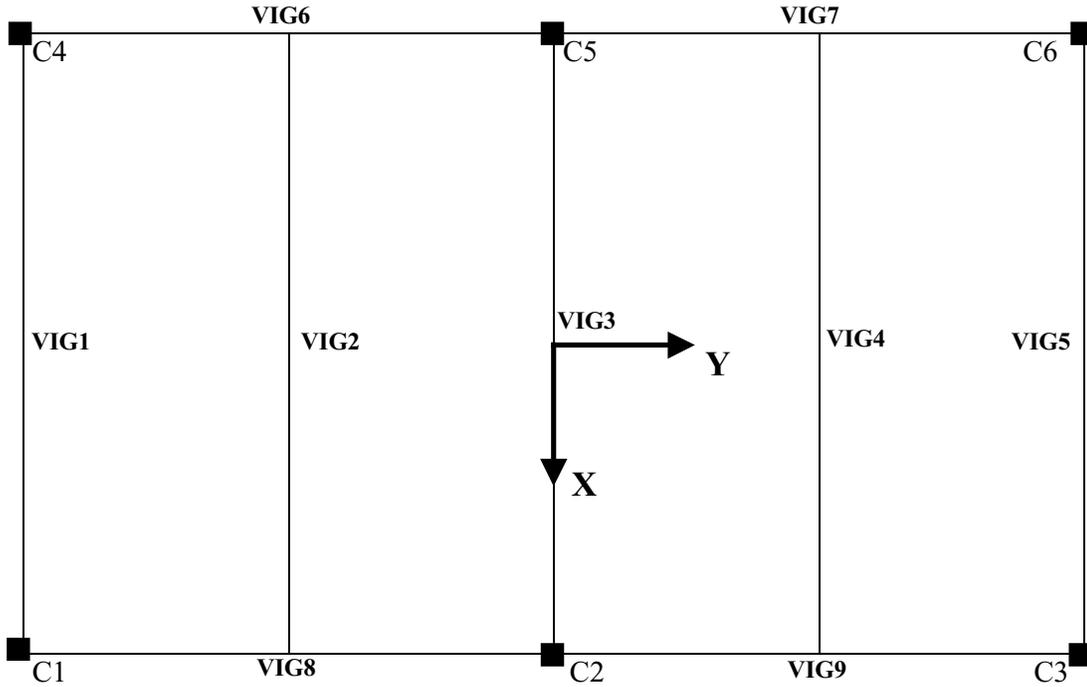


Figura 3.19 – Identificação das colunas, das vigas e os eixos de referência.

Para avaliar o nível de deslocamentos máximos do modelo 02 apresenta-se a seguir na figura 3.20 a numeração dos nós do 4º pavimento da edificação analisada. Para facilitar a análise entre os modelos utilizados, a numeração dos nós foi considerada a mesma da figura 3.4.

15	30	45	60	75
5	20	40	55	65

Figura 3.20 – Numeração dos nós do 4º pavimento da edificação analisada

As figuras 3.21 e 3.22 mostram os eixos globais das análises das vigas transversais e das colunas.

Vigas

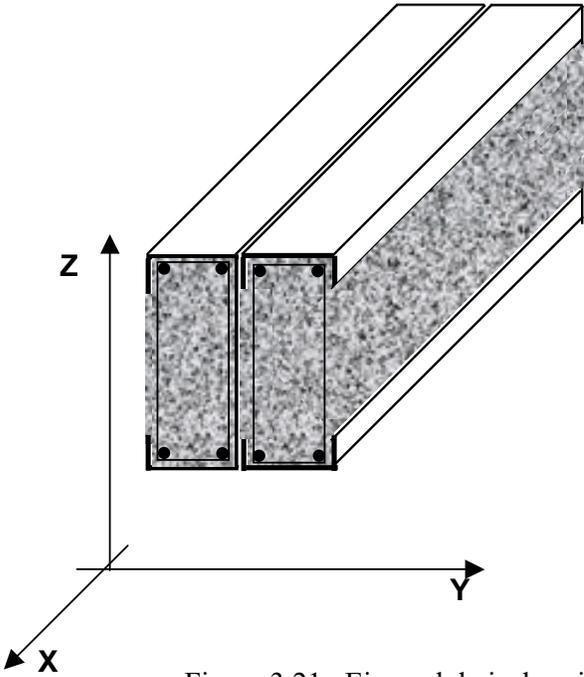


Figura 3.21 –Eixos globais das vigas

Colunas

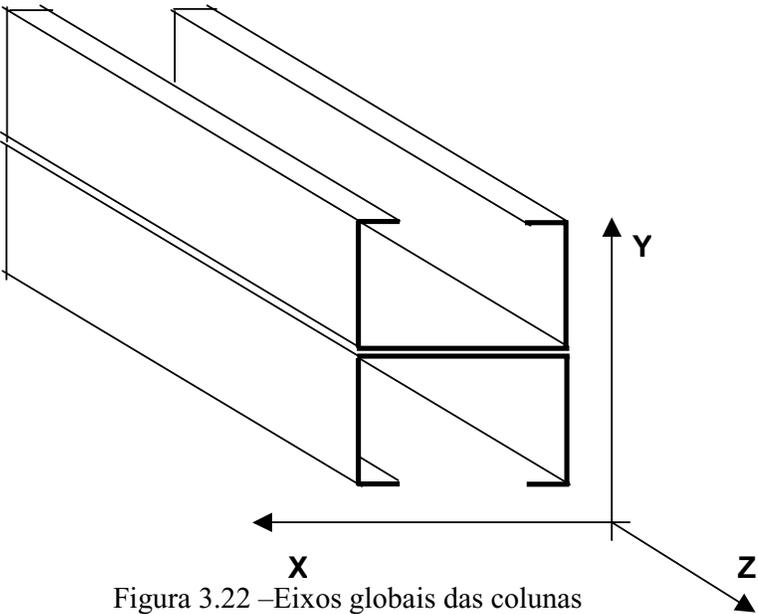


Figura 3.22 –Eixos globais das colunas

As figuras 3.23 e 3.24 mostram os eixos locais utilizados nas análises das vigas e colunas.

Vigas

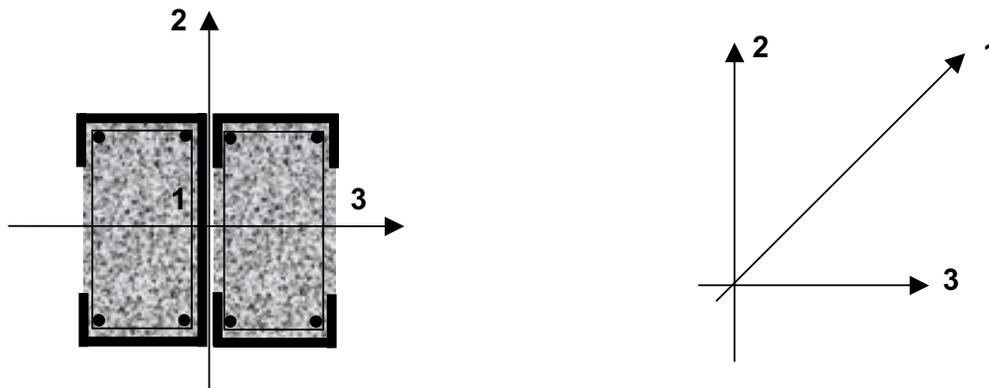


Figura 3.23 - Eixos locais das vigas

Sendo o Eixo 3, o eixo de maior inércia.

Colunas

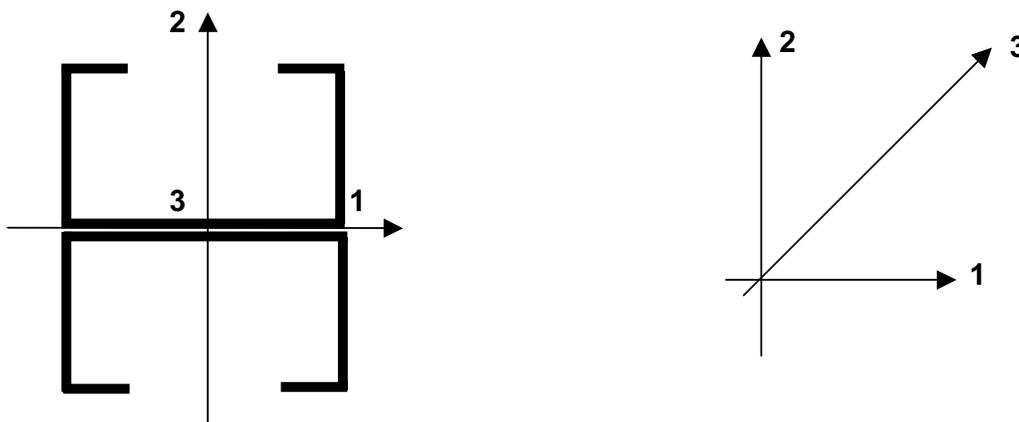


Figura 3.24 - Eixos locais das colunas

3.5.1 - Solução adotada

Nesta solução estrutural adotou-se como premissa, vigas em perfis de chapa dobrada preenchidos com concreto armado. Na análise considerou-se:

- Colunas em perfis conformados à frio de seção transversal tipo “I”;
- Vigas em perfis conformados à frio de seção transversal tipo “I” preenchidos de concreto armado;
- Ligações engastadas na direção X e Y da edificação;
- Ligações rotuladas nas vigas secundárias da edificação.

A utilização de perfis de chapa dobrada preenchidos com concreto armado apresenta vantagens como a maior facilidade de fabricação do perfil em relação a um perfil laminado ou soldado, padronização da espessura da chapa e a redução dos custos de fabricação dos perfis (Machado, 1998).

Na avaliação teórica da resistência dos elementos estruturais formados por perfis de aço, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- Existência da completa interação entre o aço e o concreto (Vird, 1971);
- As seções transversais permanecem planas após a flexão. Esta hipótese implica no fato de que o empenamento da seção transversal, qualquer que seja a causa, será ignorado;
- Distribuição plástica de tensões ao longo da seção transversal para os diversos materiais empregados;
- As propriedades mecânicas do aço são as mesmas em todos os pontos da seção transversal dos perfis de chapa dobrada .

Além destas hipóteses, os efeitos do encruamento do aço, para as seções constituídas por perfis de chapa dobrada, e a resistência à tração do concreto, não serão considerados (Vird, 1971).

Para a estimativa de flecha de vigas formadas por perfis de aço mistos foram considerados os efeitos devidos à carga permanente, sobrecarga, deformação lenta e retração do concreto. Foram usados valores nominais das ações e o valor máximo recomendado para a deflexão, devido às cargas impostas, foi de $1/360$ do vão (NBR 8800).

Para o cálculo da resistência de projeto da viga, utilizou-se a seção transversal apresentada na figura 3.25, formada pelo perfil de aço preenchido com concreto armado. Foram adotados os valores de 20 MPa para a resistência média do concreto e 300 MPa para o aço dos perfis.

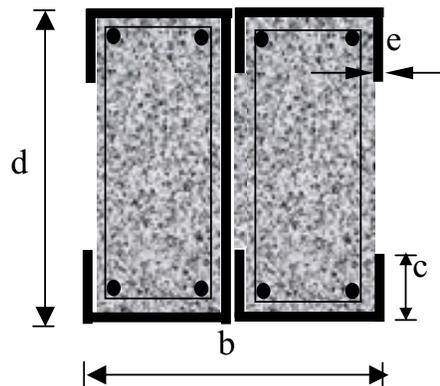


Figura 3.25 – Seção transversal da viga em perfil I preenchida de concreto armado.

3.5.1.1 - Ligações

Utiliza-se ligações parafusadas entre as colunas e vigas da estrutura metálica nesta solução estrutural. Para isto, solda-se nas extremidades chapas de topo ou cantoneiras para executar este tipo de ligação. A figura 3. 26 ilustra o tipo de ligação utilizada.

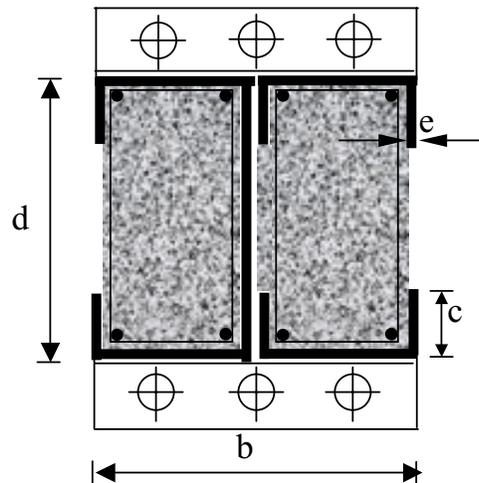


Figura 3.26 – Tipo de ligação utilizada entre as colunas e vigas da solução adotada do modelo estrutural 02

Neste tipo de ligação são utilizados 06 parafusos com diâmetro de 25 mm (1”) aparafusados a uma chapa de topo com espessura de 19 mm. Esta última soldada nas vigas pelo sistema de soldagem tipo MIG/MAG. É necessário a utilização de enrijecedores com finalidade de proporcionar resistência à alma e mesas das colunas.

As vigas secundárias são ligadas às vigas longitudinais através de duas chapas soldadas à estas últimas nas mesas superior e inferior dos perfis. Utiliza-se uma espessura de chapa de 19 mm nesta ligação. Ressalta-se ainda que a ligação é aparafusada nas faces superior e inferior destas chapas com as mesas das vigas secundárias através de parafusos com 19,05 mm de diâmetro. A figura 3.27 ilustra o tipo de ligação utilizada para as vigas secundárias.

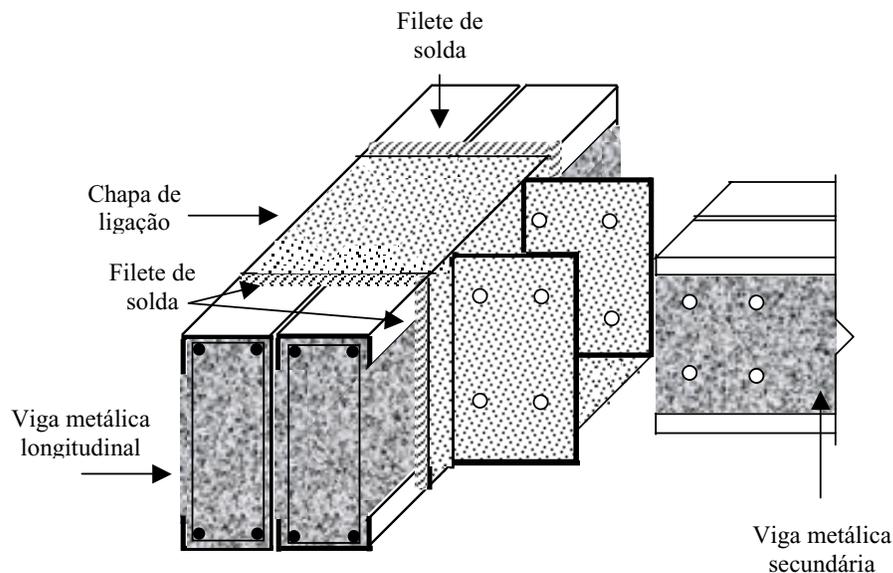


Figura 3.27 – Detalhe do tipo de ligação utilizada entre as vigas secundárias e longitudinais da solução adotada do modelo 02.

Executa-se esta ligação através de 04 barras rosqueadas de aço CA50 que fazem o travamento da viga secundária à viga longitudinal.

3.4.1.2 - Análise estrutural

Considerou-se o deslocamento horizontal máximo admissível menor que $h/400$ (Tabela 26 - Anexo D - NBR 8800/86). Onde h (1200 cm) é a altura do edifício. Com isso tem-se um deslocamento máximo admissível de 3cm.

Ressalta-se que as vigas secundárias foram analisadas como vigas bi-apoiadas e as demais vigas como bi-engastadas.

Após as análises da estrutura, obteve-se na direção x , o deslocamento máximo de 0,1016 cm e na direção y , o deslocamento máximo de 0,1333cm. Estes deslocamentos horizontais máximos são menores que os admissíveis pela norma NBR8800.

A tabela 3.23 mostra os resultados referentes aos deslocamentos relativos dos nós. Os nós utilizados na análise dos deslocamentos são os nós de extremidade do 4º pavimento. A numeração destes nós é fornecida pelo programa utilizado. Os valores em negrito mostram os deslocamentos máximos obtidos.

Tabela 3.23 – Deslocamentos relativos nos nós

Nós	Direção do carregamento	U1 (cm)	U2 (cm)
15	X	0,1016	0,000
	Y	0,000	0,1333
5	X	0,1016	0,000
	Y	0,000	0,1333
75	X	0,1016	0,000
	Y	0,000	0,1333
65	X	0,1016	0,000
	Y	0,000	0,1333
U1 – Deslocamentos horizontais do eixo 1 em centímetros; U2 – Deslocamentos horizontais do eixo 2 em centímetros.			

Com relação às vigas, consideramos o deslocamento vertical máximo admissível ($L/360$) de acordo com a Tabela 26 - Anexo D - NBR 8800/86. Portanto, para o maior vão de 800cm utilizado no projeto, obtivemos o deslocamento vertical máximo admissível de 2,22 cm. Após as análises, a viga mais solicitada possui deslocamento vertical máximo igual a 0,1067cm.

A tabela 3.24 identifica as colunas por pavimento com seus esforços máximos e a tabela 3.25 ilustra os esforços máximos para as vigas transversais e longitudinais do projeto.

Tabela 3.24 - Esforços solicitantes das colunas da solução adotada do modelo 02

Pavimento	Colunas	Esforço normal de compressão solicitante de cálculo	Momentos fletores máximos solicitantes de cálculo	
		Nd (kN)	Mdx (kN x m)	Mdy (kN x m)
1°	C1	631,82	14,87	-53,29
	C2	1.433,37	21,92	-61,49
	C3	637,77	28,72	53,32
	C4	618,08	1,483	-20,89
	C5	1.398,69	22,11	26,71
	C6	628,44	28,55	-20,91
3°	C1	309,81	22,68	51,03
	C2	712,31	-9,86	72,35
	C3	312,79	29,65	-51,04
	C4	307,06	22,78	-43,26
	C5	699,11	10,18	-64,53
	C6	309,08	29,17	-43,25

Tabela 3.25 - Esforços solicitantes das vigas da solução adotada do modelo 02

Vigas do pavimento tipo	Momento Máximo	Cortante Máximo
	Mdx (kN x m)	Vmáx (kN)
VIG1 e VIG5	-123,36	89,21
VIG2 e VIG4	254,38	127,19
VIG3	-299,00	127,20
VIG6, VIG7, VIG8 e VIG9	254,38	127,20

As tabelas 3.26 e 3.27 identificam as análises de pré-dimensionamento das colunas e vigas respectivamente. O dimensionamento das colunas, vigas e contraventamentos foram realizados de acordo com a AISI/96.

Tabela 3.26 - Perfis utilizados como colunas na análise de dimensionamento estrutural da solução adotada do modelo 02

Coluna	Perfil	Esforço Normal Resistente de Cálculo (Rd)
C1, C3, C4 e C6	400 x 300 x 35 x 5,00 mm	1.192 kN
C2 e C5	400 x 300 x 35 x 6,00 mm	1.567 kN

Tabela 3.27 – Perfis utilizados como vigas na análise de dimensionamento estrutural da solução 01 do modelo 02

Pavimento	Identificação	Perfil	Momento Resistente de Cálculo (Mrd)
1°, 2°, 3°, 4°	VIG1 e VIG5	I 300x170x25x2,65 mm	127,36 kN.m
	VIG2, VIG3, VIG4, VIG6, VIG7, VIG8, VIG9	I 400x170x25x5,00 mm	269,88 kN.m

As vigas com seção transversal tipo “I” de dimensões 300x170x25x2,65mm são constituídas de 01 perfil “U” enrijecido de 300x85x25x2,65 e 02 perfis “U” simples de 85x25x2,65mm. As vigas de dimensões 400x170x25x5,00mm são constituídas de 01 perfil “U” enrijecido de 400x85x25x5,00 e 02 perfis “U” simples de 85x25x5,00mm.

A tabela 3.28 mostra algumas propriedades geométricas dos perfis utilizados nas colunas, vigas e contraventamentos. A tabela 3.29 detalha o quantitativo de material referente às colunas, vigas e contraventamentos.

Tabela 3.28 - Características das colunas e vigas da solução adotada do modelo 02.

Elemento	A (cm ²)	P (kg/m)	Jx (cm ⁴)	Jy (cm ⁴)	Wx (cm ³)	Wy (cm ³)
Viga 300 x 170 x 25 x 2,65	20,14	15,90	3.508,90	374,40	233,90	44,00
Viga 400 x 170 x 25 x 5,00	41,65	32,60	12.605,3	653,20	630,3	76,8
Coluna 400 x 300 x 35 x 5,00	74,14	58,20	18.254,3	3.461,2	912,7	230,7
Coluna 400 x 300 x 35 x 6,00	89,85	69,11	22.089,2	4.618,4	1.103,8	296,05

Tabela 3.29 - Resumo de material referente às colunas e vigas da solução adotada do modelo 02.

Elemento	Dimensões	Quantidade	Comprimento Total (m)	Peso Unitário (Kg/m)	Peso Total (Kg)
Colunas	400 x 300 x 35 x 5,00	04	48	58,20	2.793,60
	400 x 300 x 35 x 6,00	02	24	69,11	1.658,64
Vigas	300 x 170 x 25 x 2,65	08	64	15,90	1.017,60
		Peso do concreto armado			
	400 x 170 x 25 x 5,00	48	192	32,60	6.259,20
		Peso do concreto armado			
	Peso aço				11.729,04 kg
	Peso concreto armado				35.596,02 kg
	Volume concreto armado				14,24 m ³
Ligações				586,45 kg	
Peso Total do aço				12.315,49 kg	
Taxa				32,07 kg/m ²	

4. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

4.1 – INTRODUÇÃO

O conforto térmico proporcionado aos ocupantes das unidades habitacionais do projeto é verificado por meio da avaliação do desempenho térmico, de modo a avaliar as condições do ambiente interno. Esta avaliação do desempenho térmico abrange tanto as edificações não condicionadas quanto as condicionadas mecanicamente. Neste trabalho, avaliou-se as edificações não condicionadas artificialmente, pois trata-se de um conjunto de unidades habitacionais de padrão popular. A avaliação consiste na elaboração do estudo da temperatura interna do ambiente, checando as condições de conforto térmico, considerando a resposta global da edificação (Michalka, 2000).

Basicamente há duas formas de se determinar a temperatura interna. Uma se dá por meio da medição “in loco” dos parâmetros climáticos e das condições internas de temperatura e umidade e a outra através de simulação computacional (Pinto, 2000).

4.2 – CARACTERÍSTICAS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

São descritas a seguir as principais características para avaliação do desempenho térmico. A figura 4.1 ilustra o esquema de fluxo das análises dos principais elementos para a simulação térmica de uma edificação.

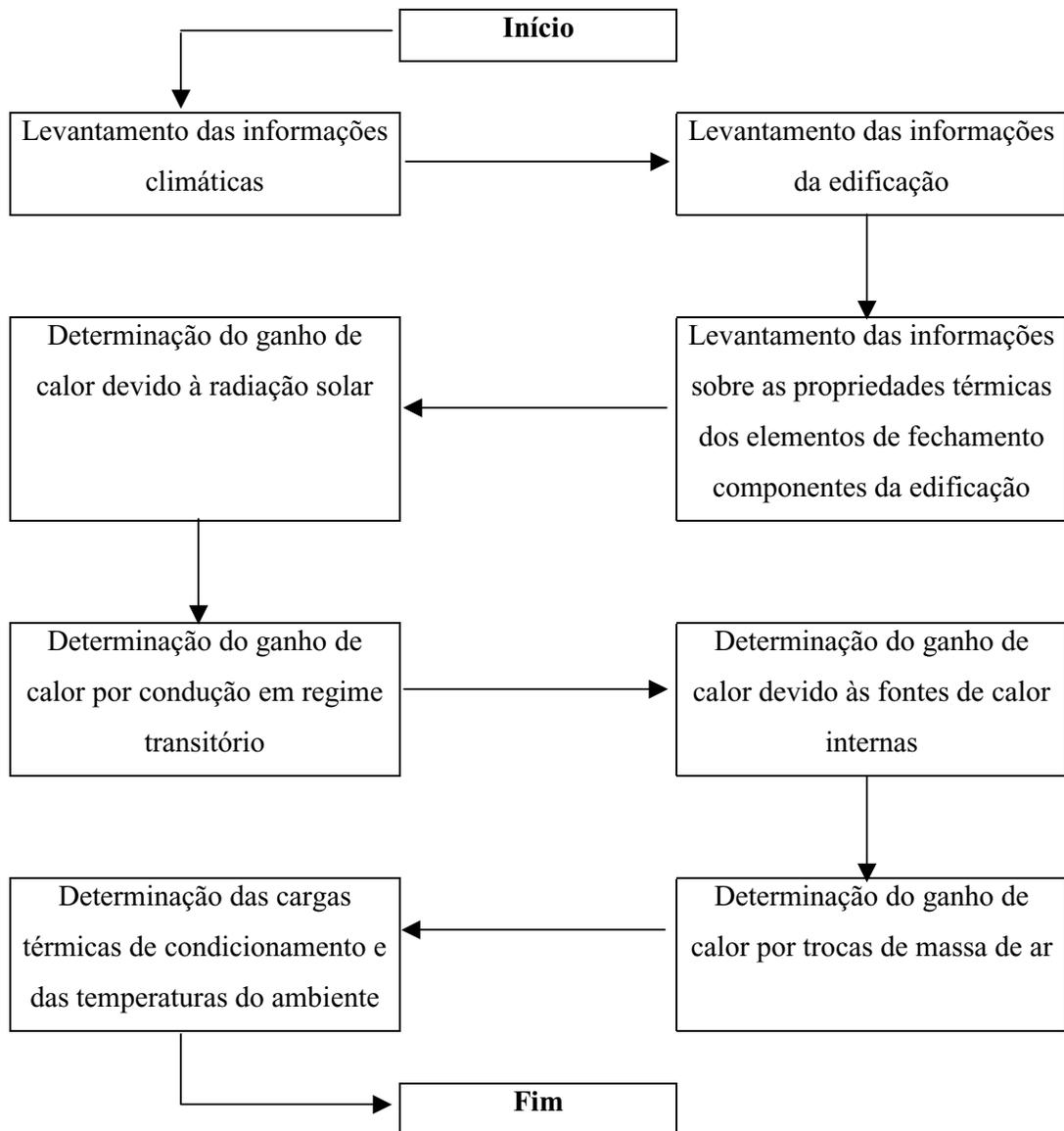


Figura 4.1 – Fluxo das análises dos principais elementos para a simulação térmica de uma edificação.

4.2.1 - Levantamento das informações climáticas

As informações climáticas são caracterizadas pela temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, radiação solar, direção e velocidade do vento. Estas informações são determinantes para a avaliação do desempenho térmico das edificações.

4.2.2 - Levantamento das informações da edificação

As informações da edificação estão relacionadas aos recintos típicos, à orientação solar, à posição geográfica e às dimensões da edificação.

4.2.3 - Levantamento das informações sobre as propriedades térmicas dos elementos de fechamento componentes da edificação

As principais propriedades térmicas dos materiais que são utilizados na edificação são a condutividade térmica, o calor específico, a emissividade, a massa específica, a absorvância à radiação solar, a refletância em ondas longas e a transmitância à radiação solar. A resistência térmica à passagem de calor das paredes externas, divisórias internas, piso, forro e esquadrias é determinada por meio da condutividade térmica, calor específico e massa específica dos materiais componentes.

4.2.4 - Determinação do ganho de calor devido à radiação solar

Este parâmetro é determinado levando-se em consideração a posição da edificação em relação ao sol, a distribuição da radiação incidente e a data de cálculo. A radiação solar é a principal fonte de luz natural (Pinto, 2000). Parte da luz que penetra em um edifício é absorvida e convertida em calor.

4.2.5 - Determinação do ganho de calor por condução em regime transitório

A determinação do ganho de calor por condução é determinada através dos métodos numéricos: o Método das Diferenças Finitas e o Método dos Elementos Finitos. Estes métodos utilizam técnicas para a solução de equações diferenciais parciais que regem o problema de transferência de calor por condução em qualquer dimensão e em regime transitório (Negrão, 1996).

4.2.6 - Determinação do ganho de calor devido às fontes de calor internas

As lâmpadas, os ocupantes da edificação e os equipamentos de operação interna são as principais fontes de geração interna de calor.

4.2.7 - Determinação do ganho de calor por trocas de massa de ar

A vedação total do ambiente impede a entrada e/ou saída de fluxos de ar. Quando isso não ocorre a penetração do ar externo afeta a temperatura e a umidade do ar interno proporcionando processos de transferência de calor e massa.

4.2.8 - Determinação das cargas térmicas de condicionamento e das temperaturas do ambiente

Quando a edificação é condicionada artificialmente, faz-se a verificação sobre a demanda de cargas térmicas para a condicionante de ar do ambiente.

A carga térmica do ambiente é a quantidade de calor a ser trocada pelo ar insuflado no ambiente pelo equipamento de condicionamento de ar, para manter a temperatura do ambiente nas condições desejadas. Esta carga pode ser subdivida em: calor que entra no ambiente através dos elementos de fechamento da envoltória e o calor gerado no interior

do ambiente. A carga térmica é determinada através do conhecimento da temperatura de bulbo seco, da umidade e da intensidade da radiação solar, da localização geográfica, da orientação e do perfil de ocupação do recinto estudado.

Na determinação das cargas do ambiente pode-se utilizar métodos simplificados, que apresentam como características:

- a) cálculos em regime permanente;
- b) não separação das componentes radiante e convectiva dos ganhos de calor; e
- c) determinação apenas do valor máximo diário da carga térmica, considerando apenas as condições mais rigorosas de exposição, e que o instante de ocorrência do valor máximo diário de radiação coincide com o do valor máximo da temperatura de bulbo seco externa.

Pode-se utilizar a seguinte expressão simplificada para o cálculo da carga térmica (CT) (Hernandez, 1993):

$$CT = U.A.(T_{Ar-Sol} - T_{int}),$$

onde U é o coeficiente global de troca de calor entre o ambiente interno e o meio externo ($W/m^2.K$); A é a área do elemento de fechamento (m^2); T_{int} é a temperatura de bulbo seco de projeto do ar interior (K); e T_{Ar-Sol} é a temperatura Ar-Sol fictícia (K). A T_{Ar-Sol} é determinada através da expressão (Hernandez, 1993):

$$T_{Ar-Sol} = T_{ext} + \frac{\alpha \cdot I}{h_c}$$

onde T_{ext} é a temperatura de bulbo seco de projeto do ar exterior (K); α é a absorptância à radiação solar da face externa do elemento de vedação; I é a radiação solar incidente no elemento (W/m^2); e h_c é o coeficiente de troca de calor combinado de convecção e radiação, na face externa do elemento de vedação ($W/m^2.K$).

A carga térmica total do ambiente é determinada pela simples adição de todos os demais valores máximos de ganhos de calor (pessoas, equipamentos, lâmpadas, radiação pelas janelas, componente sensível da infiltração) com a somatória dos ganhos de calor por condução através de todos os elementos opacos (todas as paredes, portas e teto).

$$CT_{\text{ambiente}} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \cdot (T_{\text{Ar-Sol}} - T_{\text{int}})_i + CT_{\text{vidros}} + CT_{\text{infiltração}} + CT_{\text{interna}}$$

4.3 – AVALIAÇÃO TÉRMICA DO PROJETO ARQUITETÔNICO

Os resultados da avaliação do desempenho térmico dos módulos construídos são apresentados a seguir. Esta avaliação é obtida através de simulação numérica em dois módulos, considerando-se os módulos não condicionados e com uma ventilação natural para a verificação das condições de conforto. Na figura 4.2 apresenta-se a planta esquemática dos dois módulos.

Cada módulo arquitetônico (figura 2.1) possui comprimento igual a 4.000 mm, largura igual a 3.000 mm, pé-direito igual a 3.000 mm, e é composto de 7 ambientes (dois quartos, uma cozinha, uma sala, um banheiro, uma varanda e uma área de serviço).

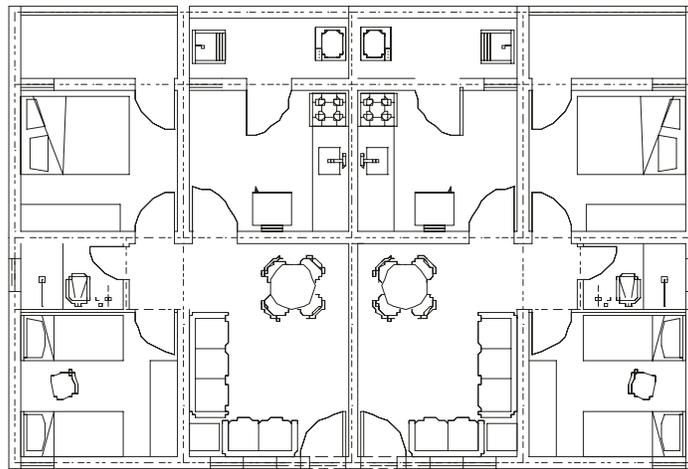


Figura 4.2 – Planta esquemática dos dois módulos analisados.

Os elementos de fechamento utilizados são:

- a) Elemento de fechamento interno: parede em painel de gesso acartonado constituída de duas placas de gesso acartonado, com espessura de 12,5 mm cada, colocadas em paralelo e com uma camada de ar de 75 mm de espessura entre elas (espessura total de 100 mm).
- b) Elemento de fechamento externo: parede em placa cimentícia constituída de fibrocimento com espessura total de 125 mm.
- c) Forro e piso: painéis de concreto celular autoclavado

As características técnicas destes elementos de fechamento foram descritas, detalhadamente, no Capítulo 2.

Os módulos estão submetidos a condições climáticas (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, velocidade e direção do vento) da cidade de Belo Horizonte – MG, em dias típicos de verão. Considerou-se uma família com 4 pessoas. Para cada ambiente de cada módulo foi admitido um nível de iluminação de 300 lux, com lâmpadas incandescentes com potência instalada de 30 W/m² ativadas das 18:00 às 21:00 horas na sala e na cozinha e das 21:00 às 22:00 horas no quarto.

Na tabela 4.1 são apresentadas as características do módulo e o perfil dos equipamentos e de ocupação adotados e na tabela 4.2 as propriedades dos materiais do entorno e dos elementos de fechamento interno.

Tabela 4.1 – Características do módulo e perfil de ocupação/equipamentos.

Ambiente		Equipamentos/ Calor total Dissipado [W]		Perfil de ocupação/ horário	
Área de serviço	1 janela	1 máquina de lavar;	1000	1 pessoa	09:00 às 11:00
	1 porta	1 ferro elétrico		1 pessoa	14:00 às 18:00
Cozinha	2 portas	1 forno elétrico;	1400	1 pessoa	06:00 às 12:00
	1 janela	1 geladeira; 1 fogão;		4 pessoas	12:00 às 13:00
		1 rádio		1 pessoa	13:00 às 21:00
Banheiro	1 porta	1 chuveiro elétrico	2500	1 pessoa	6:00 às 8:00
	1 janela			1 pessoa	19:00 às 21:00
Sala	2 portas	1 aparelho de som; 1 TV;	350	1 pessoa	06:00 às 12:00
	3 janelas			4 pessoas	13:00 às 14:00
				4 pessoas	19:00 às 21:00
Quarto 1	1 porta	1 rádio; 1 TV	250	2 pessoas	21:00 às 06:00
	1 janela				
Quarto 2	2 portas	1 rádio; 1 TV	250	2 pessoas	21:00 às 06:00
	1 janela				

Tabela 4.2 - Propriedades térmicas dos elementos de fechamento

(Temperatura = 300 K).

Materiais	Densidade [kg/m ³]	Calor Específico [J/(kg . °C)]	Condutividade Térmica [W/(m . °C)]	Emissão	Absorção
Concreto celular autoclavado	750	1000	0,19	0,90	0,65
Placas cimentícias (150 mm)	1200	1050	0,25	0,90	0,60
Gesso acartonado (100 mm)	800	700	0,17	0,90	0,50
Vidro liso incolor	2500	850	0,81	0,59	0,05

4.4 – AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para a avaliação do desempenho térmico dos módulos, foram determinadas as temperaturas internas de cada módulo utilizando o programa ESP-r (Energy Simulation Program - research) desenvolvido na Universidade de Strathclyde (Essam et al., 1993).

Este programa permite avaliar a temperatura interna do ambiente, a carga térmica máxima de resfriamento ou aquecimento, onde e quando ela ocorre, o efeito do isolamento térmico (espessura ou material da envoltória) na carga térmica, o instante ótimo (em relação ao conforto térmico e consumo de energia) para que a instalação de climatização entre em operação. Permite também a avaliação de como o consumo de energia é afetado pelos diferentes esquemas de iluminação, o efeito do sombreamento ou de cortinas na carga térmica e a influência das diferentes associações de equipamentos de climatização no consumo de energia (Negrão, 1996).

As simulações foram realizadas para um dia típico de verão na cidade de Belo Horizonte considerando uma frequência de ocorrência de 10% (Akutsu, 1998) com temperatura de bulbo seco máxima de 34⁰C e velocidade média de vento de 3,4 m/s (sentido norte), segundo dados da INFRAERO (1994 - 1998) e insolação diária total de 4640 Wh/m² (IPT, 1992). As janelas foram consideradas abertas numa área igual à metade da área iluminante. As portas externas foram mantidas fechadas, as portas internas completamente abertas e nenhuma obstrução externa à incidência do vento na edificação é considerada. Considerou-se uma taxa de renovação de ar de 60 ren/h (renovações por hora), como a condição mais representativa para a edificação em estudo (Pinto, 2000).

Os resultados obtidos, considerando-se os módulos com ventilação natural, são apresentados nas figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6. Apresenta-se o comportamento da temperatura interna dos seguintes cômodos do módulo: cozinha, banheiro, quarto e sala. O perfil da temperatura interna de cada ambiente mostra a resposta da edificação para as trocas térmicas com o ambiente exterior, levando em conta o perfil de ocupação da edificação e as fontes internas de calor existentes.

Como a habitação analisada é de pequeno porte e ocupada por uma família com quatro pessoas, tem-se como fontes internas de calor somente as pessoas (usuários) e equipamentos domésticos, estes apresentados na tabela 4.1.

Observa-se na figura 4.3 que a temperatura interna do banheiro apresenta dois picos acentuados, no horário de banho, como resultado do calor liberado durante o banho. Em relação aos valores máximos da temperatura do ambiente externo e do ambiente interno há um atraso de aproximadamente 1 hora. Este atraso se deve a inércia térmica da edificação, associada ao processo de transferência de calor por condução nos elementos de fechamento externos da estrutura. Os valores máximos de temperatura interna apresentados estão em torno de $35,3^{\circ}\text{C}$ às 7:30 horas e de $39,5^{\circ}\text{C}$ às 20:30 horas, picos dentro dos horários de banho.

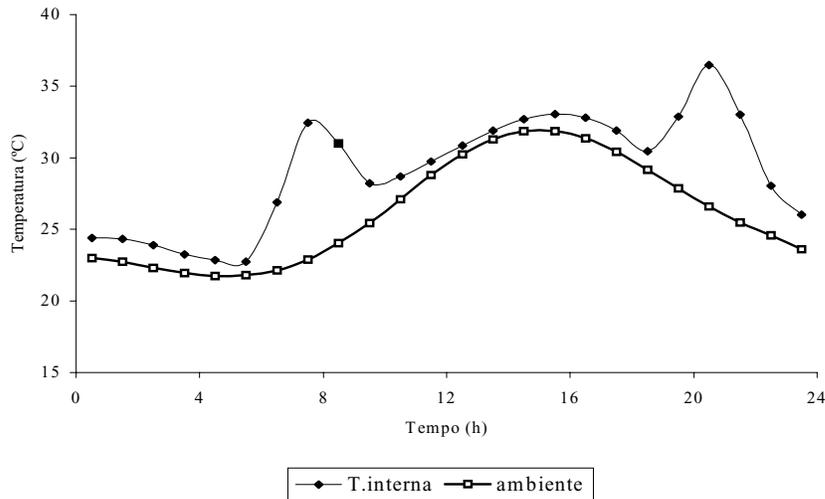


Figura 4.3 - Temperatura do ar no interior do banheiro para um dia típico de verão.

Para a cozinha, figura 4.4, há uma elevação uniforme da temperatura, uma vez que neste cômodo não há uma concentração de carga térmica interna. O valor máximo diário da temperatura do ar interior está em torno de 3°C maior que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

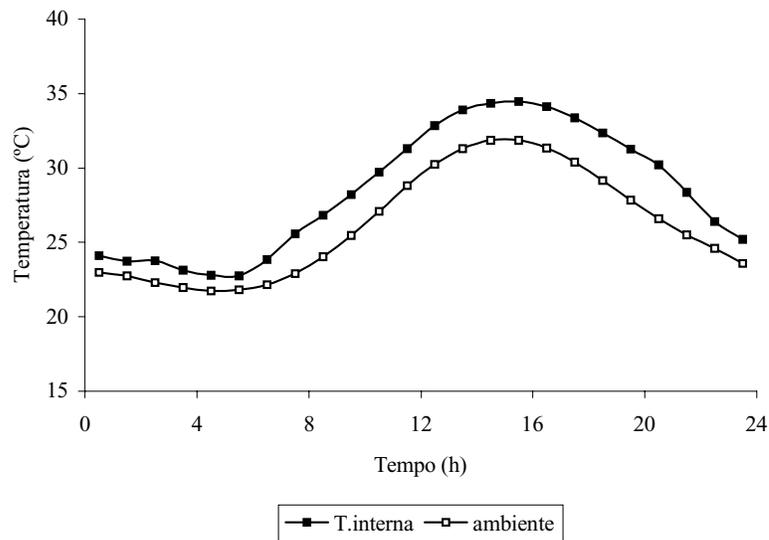


Figura 4.4 - Temperatura do ar no interior da cozinha para um dia típico de verão.

O comportamento da temperatura interna dos outros cômodos (sala e quarto), figuras 4.5 e 4.6, se assemelha com aquele da curva da temperatura externa, por não haver nenhuma carga térmica interna considerável durante o intervalo de tempo analisado. A diferença máxima entre temperatura externa e interna, na faixa dos valores maiores de temperatura externa, não ultrapassa a 2^oC.

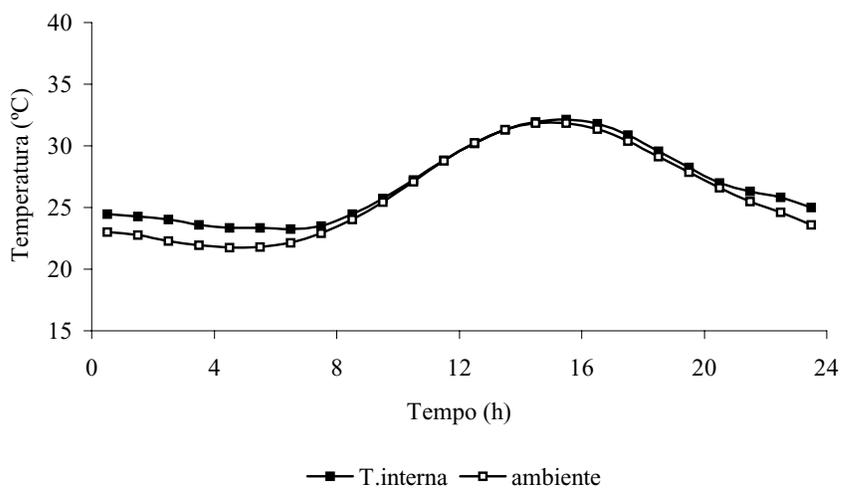


Figura 4.5 - Temperatura do ar no interior do quarto para um dia típico de verão.

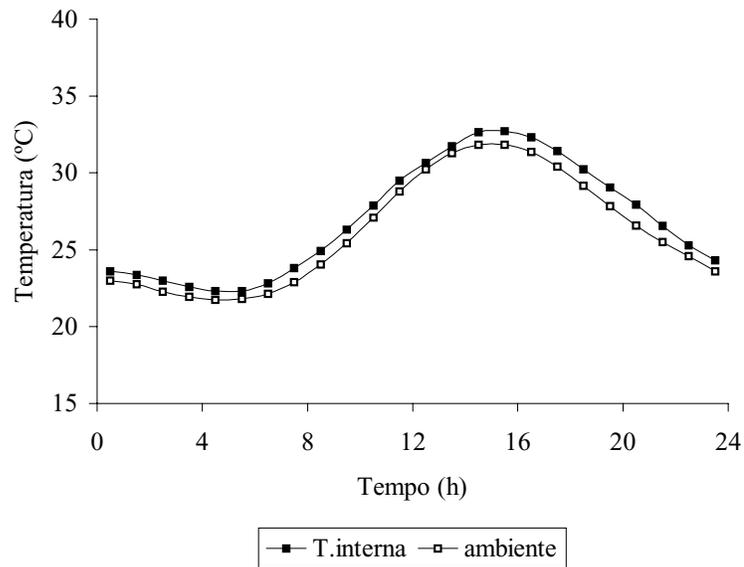


Figura 4.6 - Temperatura do ar no interior da sala para um dia típico de verão.

Para ambientes não condicionados, quando são exercidas atividades leves (escritório e residências), as Normas ISO 7730 (1994) e ASHRAE (1993) determinam que se pode admitir uma temperatura limite de até 29°C no verão. No inverno, as exigências de conforto no período diurno são atendidas quando o nível de temperatura do ar seja superior a 17 °C. Esta situação considera que as pessoas tenham uma atividade sedentária (58,2 W/m²), vestimenta com resistência térmica de 0,5 CLO (0,08 m².K/W), umidade relativa do ar em torno de 60% e velocidade do ar no interior do recinto de 0,8 m/s. A preferência térmica em relação a um dado ambiente depende, no entanto, das condições físicas e psicológicas de cada usuário, da atividade desempenhada e de outros fatores culturais. Desta forma, a faixa de temperatura de conforto, para verão e/ou inverno, pode ser mais ampla que aquela especificada pelas normas internacionais (Pinto, 2000).

Akutsu (1998) apresenta os critérios de avaliação do desempenho térmico para edificações não condicionadas em função do seu comportamento nos dias típicos de verão e de inverno, respectivamente, segundo níveis “A”, “B”, “C” ou “D”, adotando-se como parâmetro de avaliação a temperatura do ar interior (tabela 4.3). É considerado

nível “A” o ambiente cujas considerações internas sejam tais que as exigências de conforto térmico apresentadas na norma ISO 7730 são atendidas durante todo o dia.

Tabela 4.3 – Critérios de avaliação do desempenho térmico dos níveis “A”, “B”, “C” e “D” em função da temperatura do ar interior (Akutsu, 1998).

Nível	Verão	Inverno
A	Temperatura do ar interior menor ou igual à temperatura limite de conforto.	Temperatura do ar interior maior ou igual ao limite superior da temperatura de conforto.
B	Valor máximo diário da temperatura do ar interior menor que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior.	Temperatura mínima diária do ar interior maior ou igual ao limite inferior da temperatura de conforto.
C	Valor máximo diário da temperatura do ar interior maior que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior.	Temperatura mínima diária menor que o limite inferior da temperatura de conforto.
D	Quando a temperatura do ar interior ultrapassa o valor mínimo de temperatura que produz o “stress” térmico.	Neste caso não é aplicado às condições tropicais.

A temperatura externa considerada apresenta valor de temperatura mínima de 21,95 °C às 4:30 h e valor máximo de 31,85 °C às 15:30 h. Pelo exposto acima, o valor máximo da temperatura externa está acima da condição de conforto. Considerando que um valor de referência para conforto, maior que aquele estabelecido pela norma (29°C), pode ser admitido que as pessoas irão sentir desconforto térmico apenas em parte do período vespertino, uma vez que a temperatura ambiente já é elevada.

Para todos os cômodos a temperatura do ar interior está sempre acima da temperatura do ar exterior, embora não apresenta diferenças muito acentuadas. Desse modo pode-se afirmar que os elementos de fechamento respondem de forma satisfatória às trocas de calor com o meio externo. No entanto, para uma região de clima quente, com temperaturas acima das condições de conforto, há a necessidade de adaptação do projeto e/ou climatização mecânica. A ventilação do ambiente, por exemplo, apresenta grandes efeitos na redução da temperatura do ar interior. Assim, a determinação da posição e das dimensões das aberturas é de grande relevância na obtenção de um ambiente termicamente confortável, além da escolha dos elementos de fechamento interno e externo.

5. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Neste capítulo abordam-se os aspectos construtivos referentes ao processo de montagem da estrutura metálica de cada solução estrutural dos modelos apresentados no Capítulo 3, bem como os procedimentos de montagem das lajes, das divisórias internas e fechamentos externos.

O sucesso destes processos construtivos consiste na integração entre as áreas de projeto, fabricação e montagem, pois discutem-se todas soluções e caracterização das peças fabricadas (Raad Jr, 1999). Assim, um processo industrializado requer a padronização de seus elementos, como forma de se obter altos índices de produtividade e redução de custos operacionais.

Do ponto de vista técnico, o processo de montagem, assim como a construção em geral, caracteriza-se por apresentar problemas específicos de cada empreendimento. Portanto, cada solução estrutural analisada apresenta aspectos particulares quanto à sua montagem. Desse modo, fatores como o tipo de estrutura, a disponibilidade de canteiro, a acessibilidade e a topografia local, entre outros, fazem com que cada montagem acabe tornando-se um caso particular a ser considerado (Núcleo de Tecnologia da Construção Metálica, 1989).

Na premissa de utilização de vigas e colunas em perfis formados a frio tipo “caixa” (modelo estrutural 01) e tipo I (modelo estrutural 02), torna o processo de montagem eficiente e rápido. Foram analisadas 3 soluções estruturais no modelo 01 e 01 solução do modelo 02, com suas respectivas ligações. Cada solução apresenta um tipo de processo de montagem diferenciado.

No projeto analisado, para cada solução de cada modelo, as colunas têm a mesma seção transversal, podendo ser fabricadas com a mesma regulagem de máquina. Da mesma forma, as vigas são fabricadas a partir do mesmo perfil, variando somente o comprimento.

Por serem fabricadas em aço USI-SAC 300, a estrutura pode ser empregada sem qualquer tipo de revestimento, entretanto, por questões estéticas e arquitetônicas, optou-se por um revestimento em pintura. A estrutura deverá ser fornecida com tinta de fundo aplicada na fábrica, à base de óxido de ferro com 40 micrômetros de espessura de película seca.

5.1 – TRANSPORTE DAS ESTRUTURAS METÁLICAS

O transporte das estruturas metálicas, bem como de todos os equipamentos, ferramentas e materiais necessários à montagem, é feito através de caminhões e carretas convencionais, sendo que a carga de uma carreta comporta as estruturas de um prédio completo, inclusive escadas.

As estruturas metálicas devem ser posicionadas sobre o veículo que as transportará, de forma a não sofrerem avarias durante o percurso. Sendo assim, calços de madeira são empregados como espaçadores entre as peças e como suporte para uma distribuição uniforme de peso sobre a superfície do veículo. As mesmas devem ser devidamente amarradas e travadas, utilizando-se para tal, proteções nas quinas a fim de se evitar o rompimento dos cabos de amarração e possíveis danos às estruturas (Raad Jr, 1999).

Para transporte das estruturas que compõem o projeto analisado, utiliza-se a modalidade de transporte rodoviário, que oferece regularidade, rapidez, poucas avarias, menor manuseio de carga e entrega na porta da obra. A tabela 5.1 detalha as dimensões padrões no transporte rodoviário.

Tabela 5.1 – Dimensões padrões no transporte rodoviário

Características	Dimensões
Largura máxima	2,60 m
Altura máxima	4,40 m (a partir do solo)
Comprimento da carga	12,00 m + 10%
Comprimento total	13,20 m (veículo simples) 18,15 m (veículo articulado) 19,80 m (veículo com reboque)

São considerados veículos rodoviários com capacidade de carga de até 20 toneladas para transporte da estrutura metálica do projeto analisado.

5.2 - EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS

Serão utilizados caminhões dotados de guindaste hidráulico e que são conhecidos por “munck” nas operações de montagem das colunas. A figura 5.1 ilustra este tipo de caminhão utilizado nas atividades de montagem.



Figura 5.1 – Munck, caminhão dotado de guindaste hidráulico.

A polia ou roldana é utilizada para içamentos das vigas metálicas e dos painéis de concreto celular autoclavado que compõem as lajes. Esta polia ou roldana é constituída por um disco móvel em torno de seu próprio eixo, de material resistente e com um rebaixo que permite a passagem de um cabo flexível ou de uma corda. No caso de seu eixo ser fixo, haverá condição apenas de se mudar a direção da força aplicada, mas se for apoiado sobre o cabo ou a corda, caracterizando uma polia móvel, passará a ter simultaneamente liberdade de rotação em torno do seu eixo e de translação vertical em conjunto com a carga sustentada, elevando inclusive sua capacidade de carga devido ao efeito multiplicador da força aplicada.

Das ferramentas mais utilizadas nas montagens de estruturas metálicas destacam-se as chaves de boca com torquímetro para controle de aperto dos parafusos, chaves de bocas elétricas ou pneumáticas e os níveis de prumo, utilizadas para o ajuste e a fixação provisória de componentes, antes da colocação dos parafusos definitivos.

5.3 - PLANEJAMENTO DA MONTAGEM DA ESTRUTURA

São realizados estudos para definição do plano inicial de montagem, levando-se em consideração os equipamentos que devem ser utilizados, o acesso à obra, as condições topográficas do local e o prazo (Bellei, 1994). No caso de habitações populares, onde são construídas várias unidades, o número de edificações a serem construídas é importante na definição dos equipamentos a serem utilizados. Levanta-se também, no plano inicial de montagem, a disponibilidade de água, luz, esgoto, telefone, hospedagem, alimentação, dentre outras.

Após a definição do plano inicial de montagem e estabelecidas as técnicas de montagem, as equipes de trabalho, os equipamentos, esquema de transporte é elaborado um planejamento físico e administrativo do canteiro de obras.

Resumidamente, a seqüência básica de operações numa montagem inicia-se com a preparação das bases das colunas. Posteriormente, faz-se o deslocamento e o

posicionamento dos componentes, a estabilização do conjunto, ajustes necessários e a execução das ligações definitivas.

5.3.1 - Preparação das bases das colunas

A preparação das bases é de extrema importância pois trata-se da primeira referência de montagem. Para o projeto analisado, a preparação das bases das colunas é similar em todas as soluções estruturais. As bases das colunas são o elo de ligação entre a infra e a super-estrutura do edifício.

Após realizada a concretagem dos blocos da fundação, inicia-se o processo da locação dos chumbadores e fixação dos mesmos. Com os chumbadores fixados, procede-se com a preparação das bases das colunas que são niveladas com uma argamassa denominada “grout”, sobre a qual pode-se colocar uma chapa fina de aço.

Após o endurecimento do “grout” é posicionada a coluna já com sua placa de base, corrigindo, se necessário, eventuais desnivelamentos com outras chapas finas de aço, sendo então colocadas as porcas dos chumbadores. A figura 5.2 ilustra a base da coluna sobre bloco de fundação.



Figura 5.2 – Base de coluna metálica sobre bloco de fundação

Outro procedimento que pode ser adotado é a concretagem normal dos blocos de fundação sendo que, após a cura do concreto, executa-se a furação para a placa de base. A figura 5.3 ilustra a furação dos blocos de fundação.



Figura 5.3 – Detalhe da furação dos blocos de fundação

Após a furação dos blocos de fundação, utiliza-se um borrifador de borracha para garantir a limpeza dos furos. Pode-se utilizar então chumbadores químicos ou de expansão que garantirão a ligação entre a fundação e a coluna metálica.

5.3.2 – Plano de montagem da estrutura

Neste item abordam-se os planos de montagem das estruturas metálicas de acordo com cada Solução analisada no Capítulo 3.

5.3.2.1 – Modelo estrutural 01 (Módulos 3m x 4m) - Solução 1

Como analisado no Capítulo 3, utilizou-se as ligações constituídas de “luvas” estruturais de aço. Estes elementos são soldados na fábrica às colunas para posteriormente receberem as vigas. As colunas e vigas são constituídas por perfis formados à frio tipo “caixa”.

Após a preparação das bases é realizado o posicionamento das colunas. Como as colunas possuem 12 metros de comprimento, o equipamento utilizado durante a montagem (munck) iça as peças metálicas por inteiro e as posiciona de acordo com o gabarito do projeto de montagem.

A montagem das colunas deve ser executada no sentido da extremidade para o centro e da fachada dos fundos para a fachada frontal. Adota-se esta sequência devido à facilidade de movimentação do equipamento dentro da área de projeção das colunas.

A figura 5.4 ilustra a sequência de montagem das colunas onde os números entre parênteses e as setas significam a ordem sequencial de montagem e E1, E2 e E3 os eixos longitudinais do projeto. O sentido de montagem foi definido baseado no acesso frontal (fachada de 12 metros) constituído pelas colunas C1 a C5 do projeto.

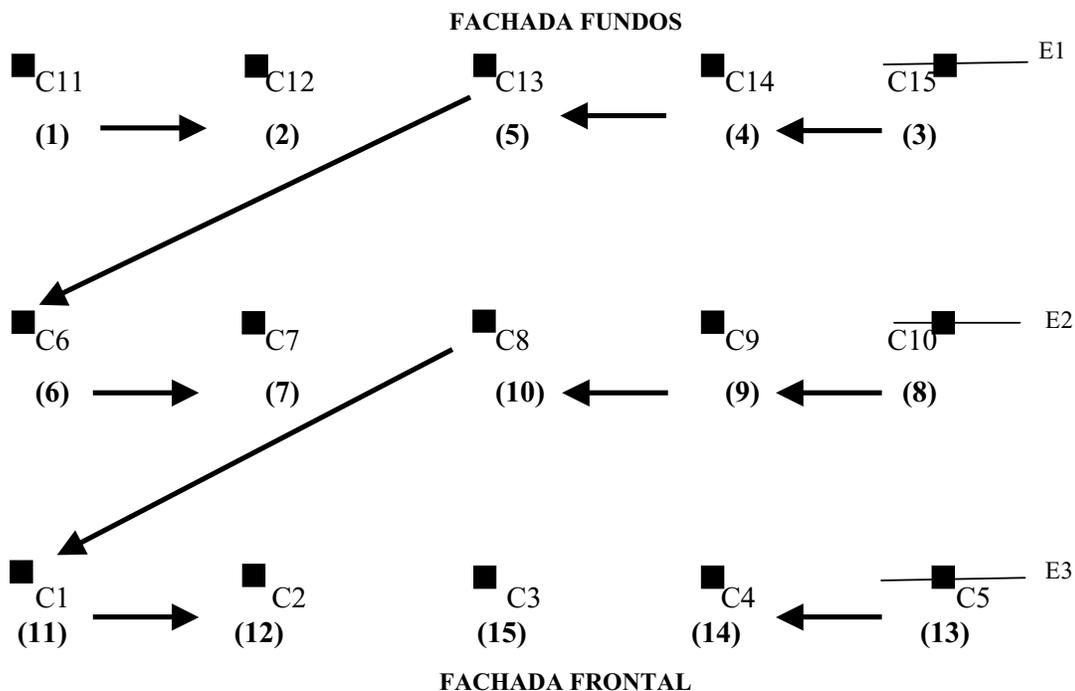


Figura 5.4 – Identificação do sentido e da numeração das colunas de acordo com a seqüência de montagem da estrutura da solução estrutural 1 do modelo 01.

A tolerância para prumo da coluna é igual a $h/500$, sendo h = altura da coluna (Bellei, 1994). Portanto tem-se um deslocamento admissível máximo horizontal nas colunas de 12 metros de 2,4 cm. Verifica-se então o correto posicionamento dos centros de colunas. As colunas são identificadas através de tipagem nas placas de bases. A figura 5.5 ilustra o esquema do posicionamento das colunas C6 a C10 do eixo 2 (E2).

Ressalta-se que a rápida velocidade de montagem, desta solução estrutural, não justifica a utilização de nenhum tipo de procedimento adicional para a estabilização das colunas durante a montagem.

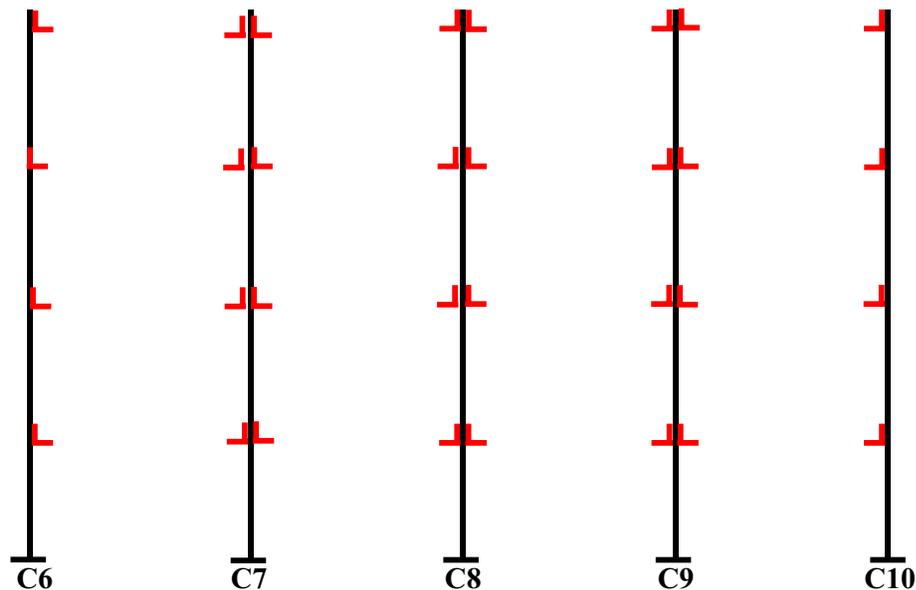


Figura 5.5 – Esquema da montagem das colunas do eixo 2 (E2)

Com as colunas posicionadas, alinhadas e niveladas inicia-se o processo de posicionamento das vigas. As luvas estruturais, soldadas às colunas, ajudam na referência de montagem bem como de suporte inicial das vigas. A abertura circular com cerca de 10 cm de diâmetro, existente na mesa superior das vigas, permite ao operário executar os trabalhos de aparafusamento das vigas nas colunas.

A montagem das vigas deve ser executada de cima para baixo, ou seja, inicia-se a colocação das vigas do 4º pavimento primeiramente. Para cada nível de vigas, é montada uma plataforma de trabalho que garante a segurança e rapidez na execução. Para içamento das vigas, utiliza-se as roldanas fixadas nas vigas do 4º pavimento. As peças de contraventamento são colocadas simultaneamente de modo a garantir estabilidade na montagem da estrutura.

São colocados, em cada ligação da luva estrutural com a viga metálica, 08 parafusos de 12,7mm (1/2”), sendo 04 em cada face da luva. A instalação final dos parafusos é feita por meio de chaves de boca com torquímetro ou de chaves pneumáticas ou elétricas com controle automático de aperto. Ressalta-se que alguns parafusos podem folgar com

o aperto de outros, devendo-se sempre verificar se todos os parafusos da ligação, das partes mais rígidas para as bordas, atingiram a condição de pré-tensão. Ressalta-se que não são considerados os efeitos de atrito nos parafusos.

A figura 5.6 ilustra o esquema de ligação utilizando luvas estruturais.

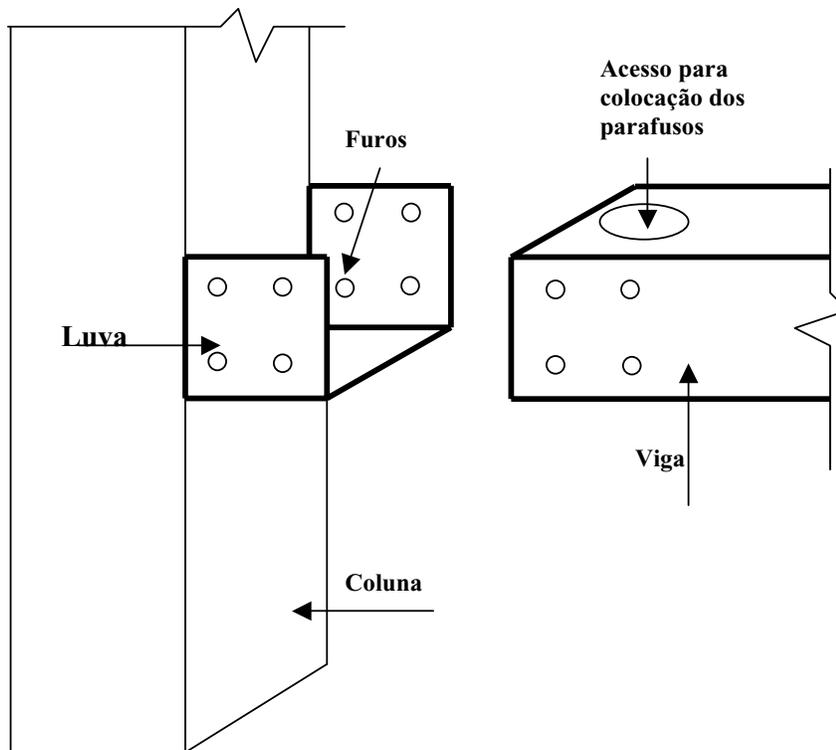


Figura 5.6 – Esquema de ligação da colunas com a viga utilizando luva estrutural.

A montagem da estrutura desta solução estrutural baseia-se na formação de um núcleo central de vigas para posterior ampliação do centro para as extremidades, de modo a montar todas as vigas do pavimento.

Para garantir a estabilidade da estrutura, durante o processo de montagem, sugere-se a montagem integral de um dos núcleos (C7, C8, C12 e C13), ou seja, montar as vigas de todos os pavimentos deste conjunto (figura 5.7a). Com este conjunto montado, executa-se então a montagem das vigas do 4º pavimento que formam o núcleo das colunas C8, C9, C3 e C4 (figura 5.7b). Em seguida, montam-se as vigas longitudinais e transversais

que ligam à coluna C2 (figura 5.7c). Repete-se este processo para a coluna C14 (figura 5.7d). A figura 5.7 ilustra as etapas de montagem das vigas que constituem o núcleo central do 4º pavimento.

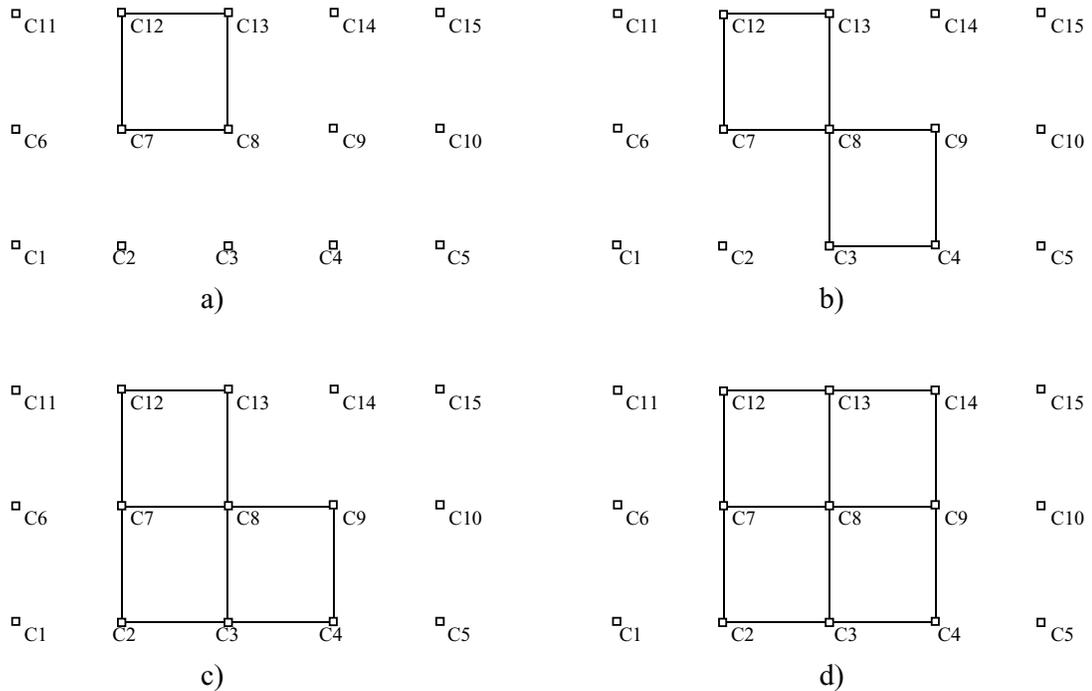


Figura 5.7 – Etapas de montagem das vigas dos núcleos centrais do 4º pavimento.

A próxima etapa consiste na montagem das vigas que compõem o núcleo constituído das colunas C11, C6, C12 e C7 (figura 5.8a). Daí, montam-se as vigas que fazem a ligação com a coluna C1 (figura 5.8b). Posteriormente, são colocadas as vigas do núcleo das colunas C14, C15, C9 e C10 (figura 5.8c). Executa-se então a montagem das vigas de extremidade que ligam à coluna C5 (figura 5.8d) finalizando o processo de montagem das vigas do 4º pavimento. Este processo de montagem é repetido para os demais pavimentos.

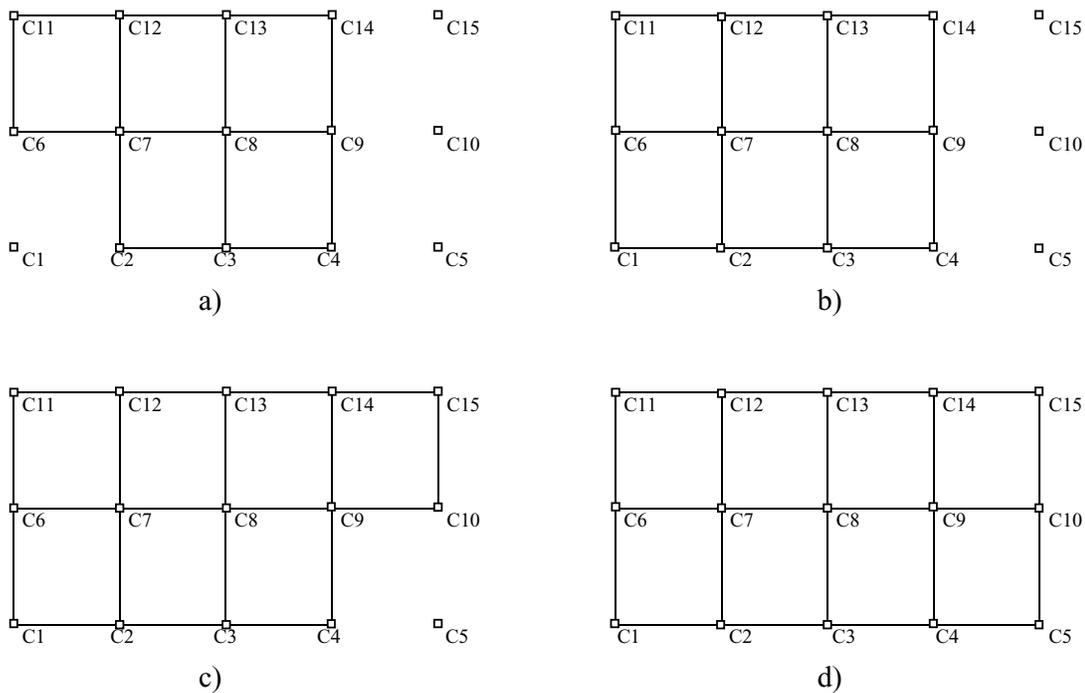


Figura 5.8 – Etapas de montagem das vigas que constituem os núcleos de extremidade do 4º pavimento.

Estando montada a estrutura, confere-se o aperto dos parafusos de todas as ligações de modo a garantir a qualidade do processo construtivo. Após o aparafusamento das peças, coloca-se uma tampa plástica sobre a abertura circular das vigas de modo a proteger a mesma quanto à colocação das lajes em painéis de concreto celular autoclavado e quanto ao posterior capeamento.

Estima-se um tempo de montagem da estrutura desta solução estrutural em 05 dias. A figura 5.9 ilustra uma ligação de vigas e coluna utilizando a luva estrutural de aço como elemento de união das peças.



Figura 5.9 – Detalhe da utilização da luva estrutural de aço nas ligações da colunas e das vigas metálicas.

5.3.2.2 – Modelo estrutural 01 (Módulos 3m x 4m) - Solução 2

Nesta solução estrutural utiliza-se o conceito de “nós” estruturais de aço nas ligações entre vigas e colunas. Como abordado com Capítulo 3, o nó é um elemento estrutural constituído por algumas luvas de aço. Este elemento é utilizado nas ligações entre colunas, vigas e vigas-colunas. A colocação e aperto dos parafusos são realizados pelo operário por meio de uma abertura circular no próprio nó.

O plano de montagem desta solução estrutural difere do plano da solução no item anterior. Neste plano, as colunas possuem 3 metros de comprimento e são todas posicionadas de acordo com gabarito. Basicamente utiliza-se 06 tipos de nós estruturais em função do posicionamento das colunas e das vigas da estrutura.

A montagem da estrutura acontece por pavimento, iniciando-se no 1º pavimento. Em linhas gerais, monta-se as colunas, em seguida posiciona-se os nós para posteriormente montar as vigas. Os contraventamentos podem ser montados simultaneamente com as vigas da estrutura. Com o 1º pavimento montado, utiliza-se uma plataforma de trabalho com andaimes para iniciar a montagem do pavimento superior e assim sucessivamente.

A montagem das colunas desta solução estrutural, pode ser feita manualmente ou através de equipamento, por exemplo o “munck”.

A figura 5.10 ilustra a seqüência de montagem das colunas. Os números entre parênteses identificam a seqüência de montagem das colunas.

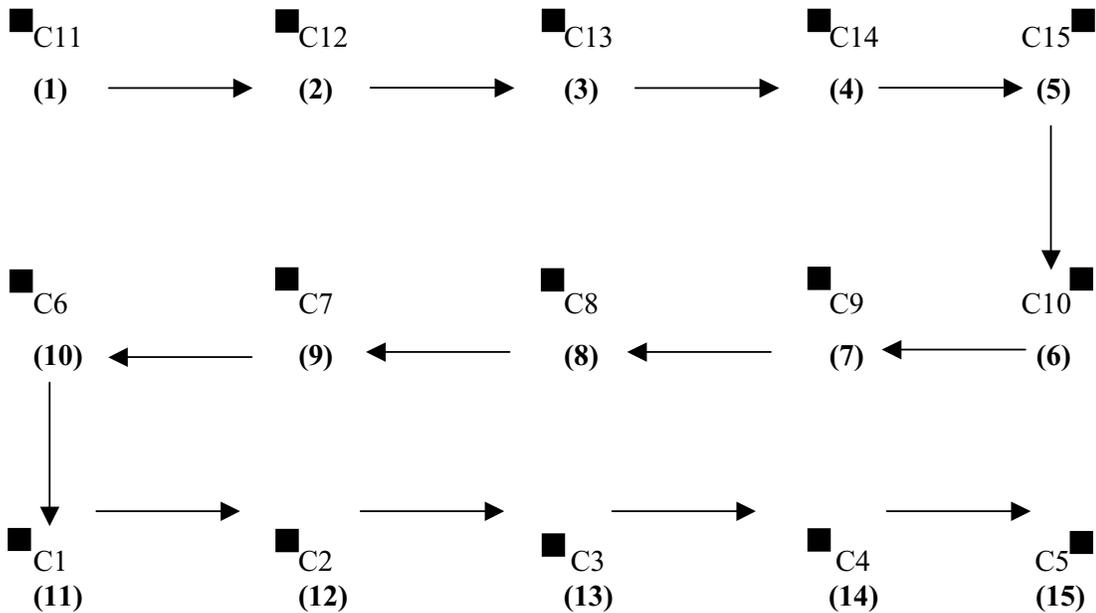
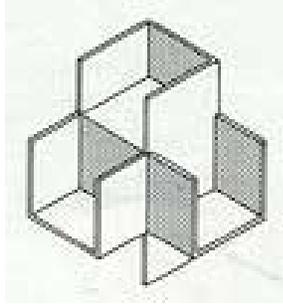


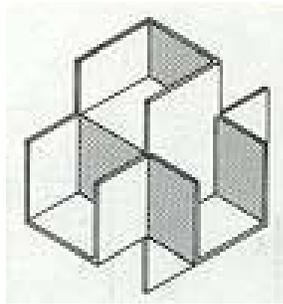
Figura 5.10 – Esquema de montagem das colunas da solução 2 do modelo estrutural 01.

Os nós possuem uma abertura circular em suas faces internas de modo que o operário possa executar o aparafusamento da ligação. Estes elementos são posicionados manualmente.

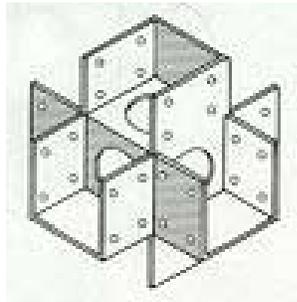
As figuras 5.11e 5.12 ilustram os tipos de nós utilizados, sua função e seu posicionamento no projeto.



- Nó de ligação entre colunas e entre uma viga transversal e uma longitudinal.
- Localização: C1; C5; C11; C15
- Ligação das colunas entre:
 - 1°- 2° pavimento
 - 2°- 3°pavimento
 - 3°- 4°pavimento

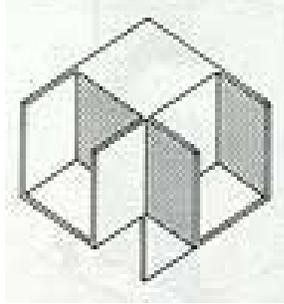


- Nó de ligação entre colunas e entre 02 vigas longitudinais e 01 transversal.
- Localização: C2; C3; C4; C6; C10; C12; C13; C14
- Ligação das colunas entre:
 - 1°- 2° pavimento
 - 2°- 3°pavimento
 - 3°- 4°pavimento

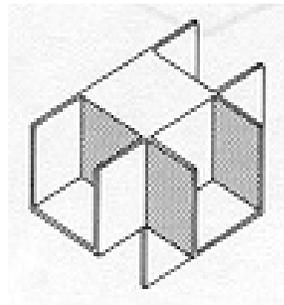


- Nó de ligação entre colunas e entre 02 vigas longitudinais e 02 transversais.
- Localização: C7; C8; C9
- Ligação das colunas entre:
 - 1°- 2° pavimento
 - 2°- 3°pavimento
 - 3°- 4°pavimento

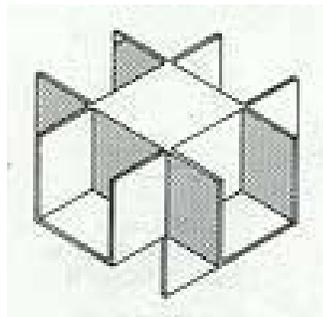
Figura 5.11– Nós de ligação utilizados entre as colunas e vigas da estrutura da solução estrutural 2 do modelo 01.



- Nó de ligação entre uma viga transversal e uma viga longitudinal.
- Localização: C1; C5; C11; C15
- Ligação das colunas com as vigas do forro (4º pavimento)



- Nó de ligação entre colunas e 02 vigas transversais e 01 longitudinal.
- Localização: C2; C3; C4; C6; C10; C12; C13; C14
- Ligação das colunas com as vigas do forro (4º pavimento)



- Nó de ligação entre colunas e 02 vigas transversais e 02 longitudinais
- Localização: C7; C8; C9
- Ligação das colunas com as vigas do forro (4º pavimento)

Figura 5.12 – Tipos de nós estruturais de aço utilizados nas ligações entre colunas e vigas do 4º pavimento, onde não há continuidade da coluna.

Após o posicionamento das vigas faz-se o aparafusamento da ligação por meio de uma abertura existente nas faces internas do nó de modo que o operário possa posicionar os parafusos.

São colocados em cada ligação da luva estrutural com a viga metálica 08 parafusos de 12,7mm (1/2”), sendo 04 em cada face da luva. A instalação final dos parafusos é feita por meio de chaves de boca com torquímetro ou de chaves pneumáticas ou elétricas

com controle automático de aperto. Ressalta-se que alguns parafusos podem folgar com o aperto de outros, devendo-se sempre verificar se todos os parafusos da ligação, das partes mais rígidas para as bordas, atingiram a condição de pré-torque.

A figura 5.13 ilustra um tipo de nó utilizado que serve de ligação entre vigas e colunas. O nó está sempre apoiado sobre a coluna do pavimento inferior. Assim procede-se a montagem das vigas longitudinais e transversais que se ligam ao nó e em seguida é colocada a coluna do pavimento superior.

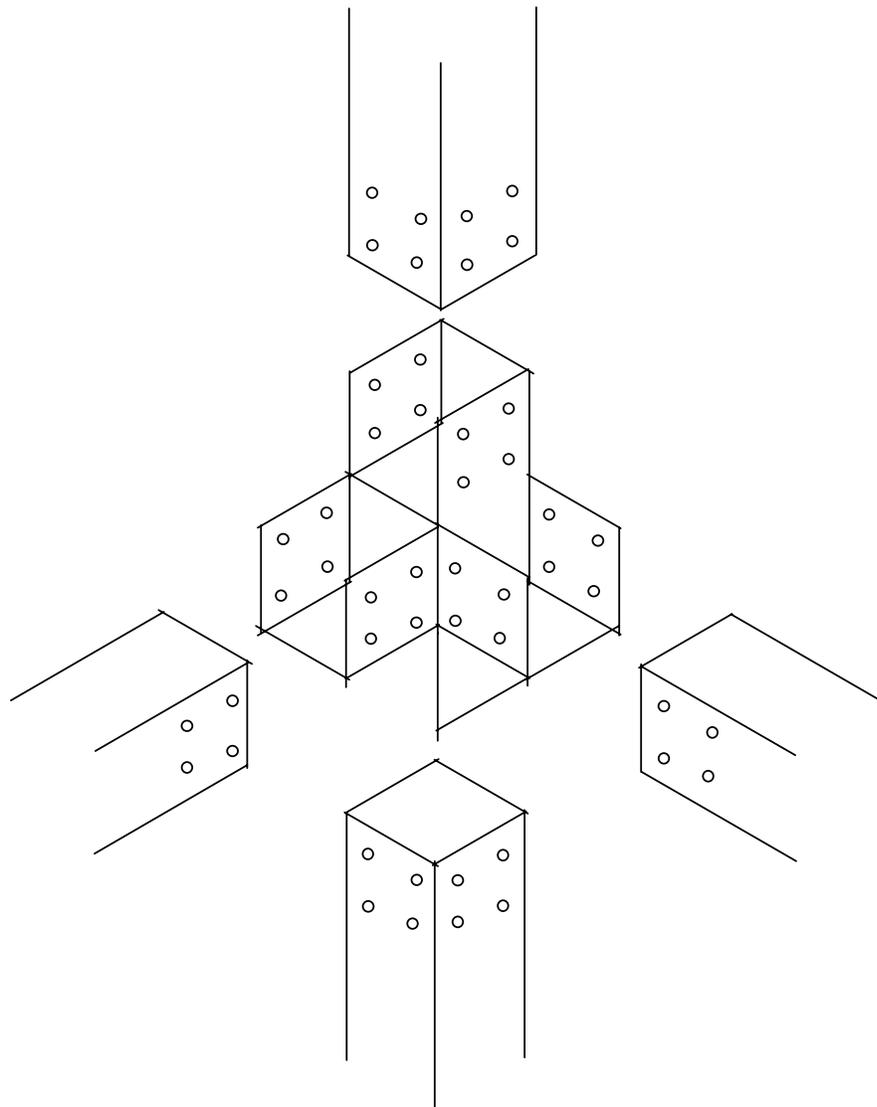


Figura 5.13 – Esquema de ligação das vigas e colunas através de nó estrutural.

A montagem das vigas, que é realizada por pavimento e inicia-se no 1º, pode ser realizada manualmente, pois as peças são leves e não há a necessidade de utilização de equipamentos mecânicos.

O plano de montagem desta solução estrutural baseia-se inicialmente na colocação das vigas transversais do 1º pavimento que ligam as colunas C11, C6 e C1 (figura 5.14a). Em seguida são colocadas as vigas transversais referentes às colunas C12, C7 e C2 (figura 5.14b). Este processo repete-se quanto as colunas C13, C8 e C3 (figura 5.14c), colunas C14, C9 e C4 (figura 5.14d) e colunas C15, C10 e C5 (figura 5.14e). A figura 5.14 ilustra a seqüência de montagem, em planta, das vigas transversais dos pavimentos.

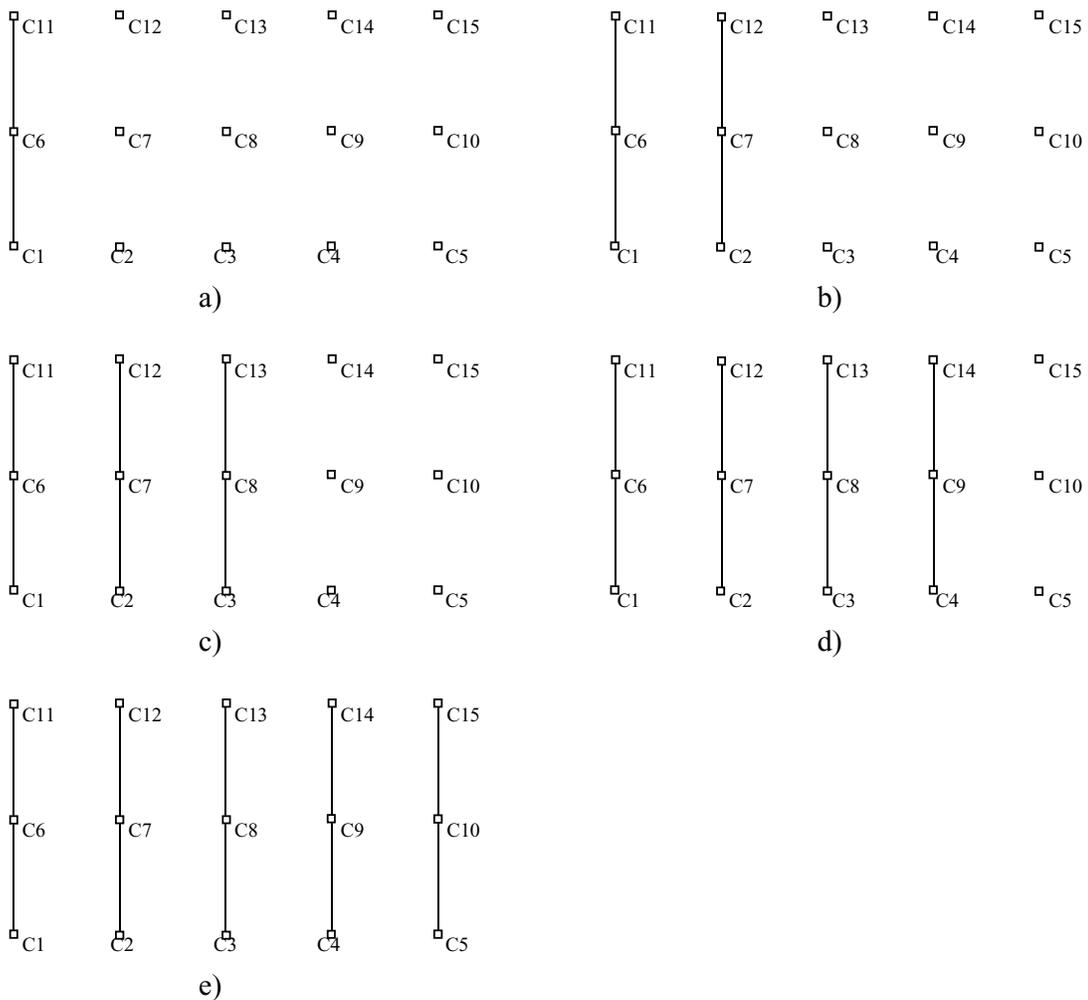


Figura 5.14 – Etapas da montagem das vigas transversais da solução 2 do modelo 01.

Após a montagem das vigas transversais do pavimento, inicia-se o processo para as vigas longitudinais que compõem as colunas C11, C12 e C13 (figura 5.15a). Em seguida são colocadas as vigas referentes às colunas C13, C14 e C15 (figura 5.15b). O procedimento é o mesmo para as vigas das colunas C6, C7 e C8 (figura 5.15c), das vigas referentes colunas C8, C9 e C10 (figura 5.15d), das vigas das colunas C1, C2 e C3 (figura 5.15e) e finalmente das colunas C3, C4 e C5 (figura 5.15f). A figura 5.15 ilustra as etapas de montagem das vigas longitudinais por pavimento.

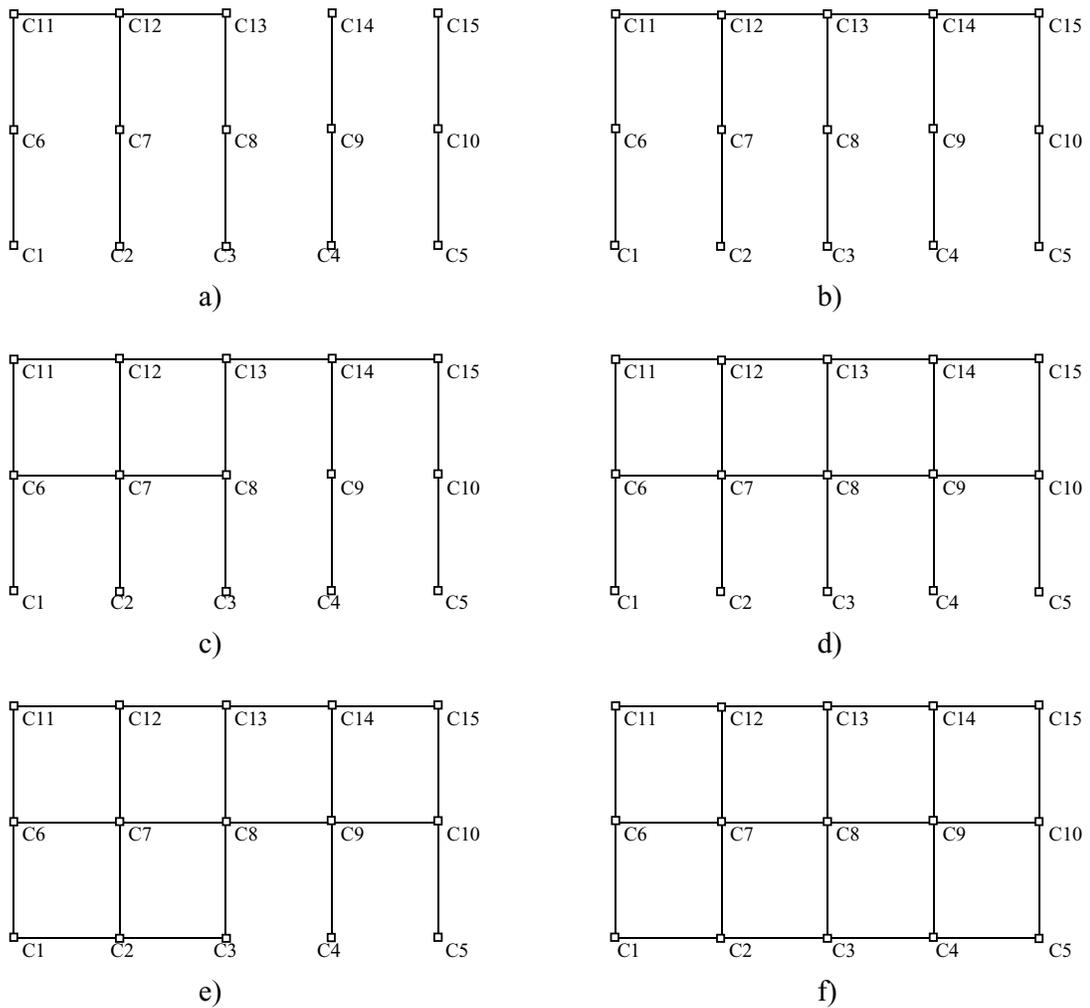


Figura 5.15 – Etapas de montagem das vigas longitudinais da solução 2 do modelo 01.

Finalizada a montagem das colunas e vigas do 1º pavimento, é montada uma plataforma de trabalho constituída de andaimes para iniciar a montagem dos elementos estruturais do 2º pavimento. Os nós, como as luvas, servem inicialmente como referência de montagem e apoio das vigas. Este procedimento repete-se em relação aos outros pavimentos. As peças de contraventamento são colocadas por pavimento na medida que são montadas as colunas e vigas.

5.3.2.3 – Modelo estrutural 01 (Módulos 3m x 4m) - Solução 3

Utiliza-se na solução 3 do modelo estrutural 01, as ligações soldadas entre os elementos estruturais. Logo, pode-se executar uma pré-montagem da estrutura metálica no canteiro de obras ou na própria fábrica. Esta pré-montagem baseia-se na junção dos pórticos constituídos das colunas e vigas dos 4 pavimentos.

Na fábrica de estrutura metálica, são pré-montados 06 pórticos de 3mx3m com 12 metros de altura, que serão montados na direção X do projeto (figura 5.16). O fato destes pórticos serem pré-montados na fábrica, através de ligações soldadas, facilita o processo de montagem. De acordo com as dimensões de largura, altura e comprimento (tabela 5.1) dos veículos utilizados para transporte das estruturas, pode-se agrupar os pórticos de 3mx3m num mesmo carroto de modo a otimizar os custos de transporte.

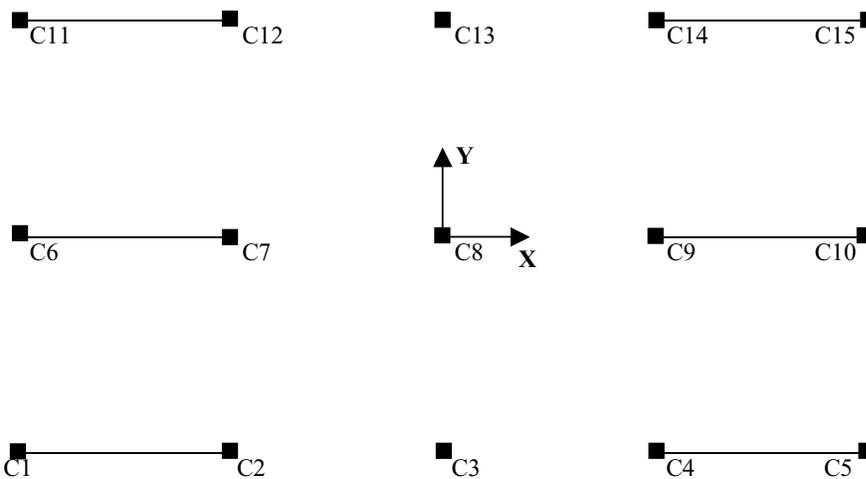


Figura 5.16 – Esquema de identificação dos pórticos que são pré-montados na fábrica.

A montagem destes pórticos utiliza o equipamento “munck” para içamento e posicionamento dos mesmos. A figura 5.17 ilustra a montagem de pórticos já pré-montados.



Figura 5.17 – Exemplo de montagem de pórticos pré-montados no canteiro de obras.

A figura 5.18 ilustra uma vista dos pórticos já posicionados.

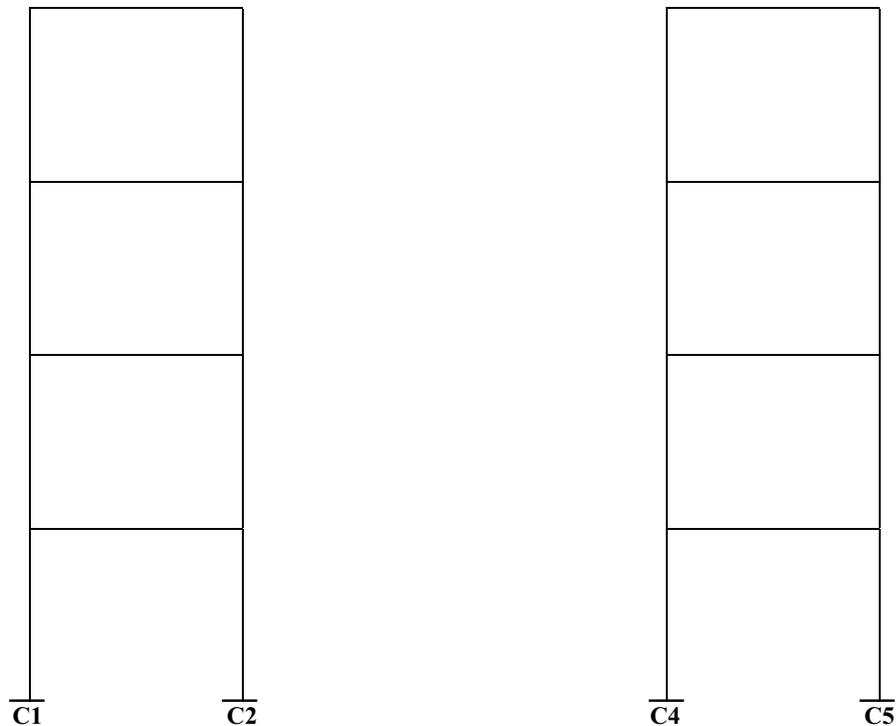


Figura 5.18 - Vista dos pórticos C1-C2 e C4-C5 montados na obra.

Por razões dimensionais, descritos na tabela 5.1, os pórticos da direção Y necessitariam de transporte especial, o que acarretaria aumento de custo. Portanto, estes pórticos são pré-montados no canteiro de obras. No projeto, o pórtico referente às colunas C3-C8 (figura 5.19a) possui dimensões de 3mx4m com 12 metros de altura devendo ser pré-montado no canteiro de obras para posterior içamento.

Com os pórticos montados, executa-se a colocação da coluna C13 (figura 5.19b) para posterior montagem das vigas.

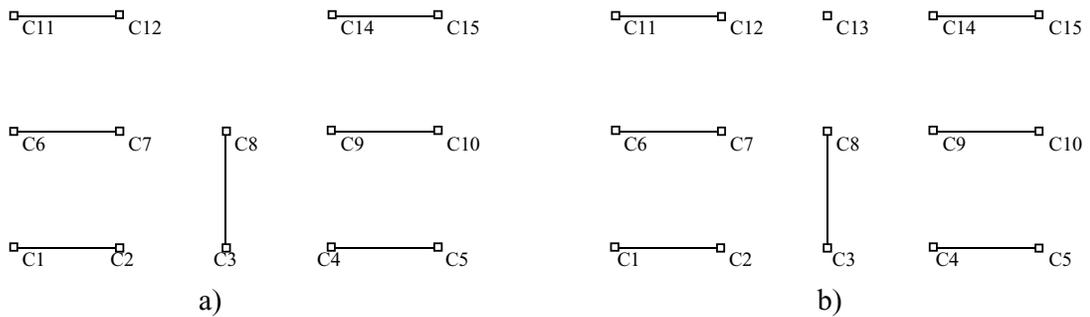


Figura 5.19 – Esquema de montagem dos pórticos longitudinais pré-montados na fábrica, do pórtico pré-montado no canteiro de obras e da colocação da coluna C13.

Em seguida, inicia-se a montagem das vigas referentes às colunas C11, C6 e C1 (figura 5.20a), das vigas das colunas C12, C7 e C2 (figura 5.20b). A figura 5.20c ilustra o esquema de colocação da viga que compõe as colunas C8 e C13. Assim, monta-se as vigas das colunas C15, C10 e C5 (figura 5.20d), das colunas C14, C9 e C4 (figura 5.20e), das colunas C12, C13 e C14 (figura 5.20f), das colunas C7, C8 e C9 (figura 5.20g) e finalmente das colunas C2, C3 e C4 (figura 5.20h).

Ressalta-se que deve-se utilizar cantoneiras como elementos provisórios para apoio das vigas metálicas.

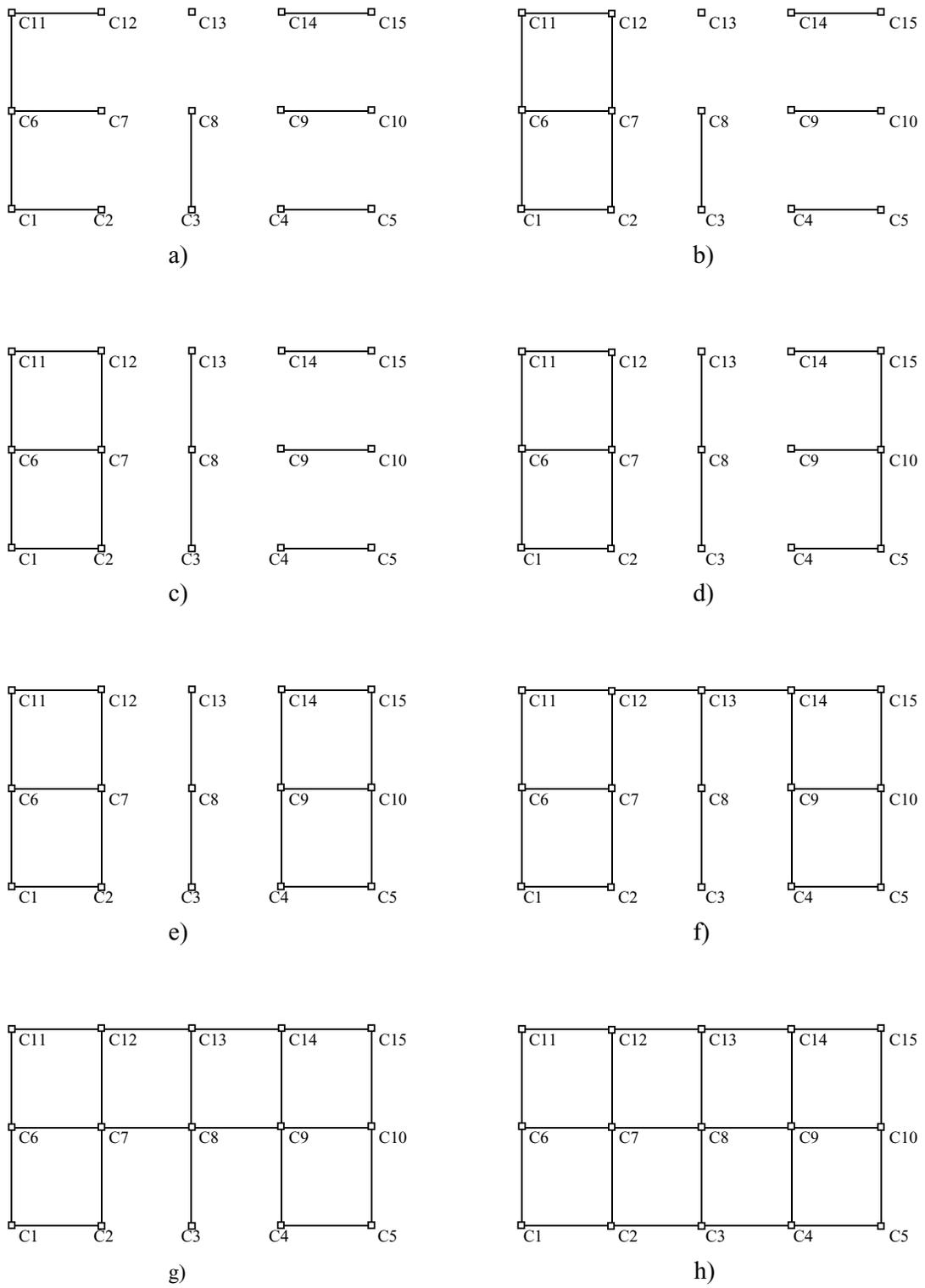


Figura 5.20 – Etapas de montagem da estrutura da solução 3 do modelo 01.

A solda, nas ligações entre vigas e colunas deve ser feita por soldador qualificado e ser cuidadosamente inspecionada, de forma a garantir uma qualidade no mínimo igual às das soldas principais executadas na fábrica, sendo recomendada a soldagem por estágios, com intervalo de tempo entre eles, de forma a provocar a dispersão do calor. A figura 5.21 ilustra a ligação soldada entre coluna e vigas.



Figura 5.21 – Detalhe da ligação soldada entre coluna e vigas

Nas colunas, as quais mais de uma viga são ligadas em suas mesas, faz-se uma soldagem simultânea das vigas para evitar que a coluna se deforme. O processo de soldagem das ligações se iniciará pelas colunas do centro até as colunas da periferia, devendo ser constantemente checado e refeito o prumo das mesmas, uma vez que a solda provoca deformações que tendem a aproximá-las uma das outras. Para cada nível de vigas, é montada uma plataforma de trabalho que garante a segurança e rapidez na execução dos trabalhos. Com a estrutura totalmente montada, inicia-se a soldagem das ligações, feita em processo MIG.

Nesta solução estrutural utilizou-se o sistema de soldagem tipo MIG/MAG. Neste processo o calor necessário para a soldagem é obtido através de um arco elétrico estabelecido entre um arame eletrodo e um metal base. O arame, o arco elétrico e a poça de fusão são protegidos da contaminação atmosférica por uma proteção gasosa. Este

sistema de soldagem apresenta um elevado rendimento devido a uma operação contínua, com pequenos intervalos de interrupção e uma alta velocidade de fusão do arame, resultando em uma taxa de deposição superior ao processo convencional com eletrodos revestidos. Com isso, este processo reduz a mão de obra e o aproveitamento do arame eletrodo, caracterizando o processo como de baixo custo. As soldas conseqüentemente possuem boa aparência (Dias, 1997).

A tabela 5.2 exemplifica os consumíveis a serem utilizados para a soldagem do aço USI-SAC300.

Tabela 5.2 - Exemplos de consumíveis para a soldagem do aço USI-SAC-300.

Aço	Processo de Soldagem	Consumível		
		Marca Comercial (Fabricante)		Classe AWS
USI-SAC-300	Arame Tubular	Eletrodo	OK TUBROD 81W (ESAB) Outershield 81Ni1-H (LINCOLN) Innershield NR203Ni1% (LINCOLN)	E80T1-W E81T1-Ni1 E71T8-Ni

5.3.2.4 – Modelo estrutural 02 (Módulos 6m x 8m) - Solução adotada

O plano de montagem da solução estrutural adotada do modelo 02 diferencia dos demais descritos neste capítulo pois neste caso há uma condição de preparação das vigas para recebimento da armadura e do concreto antes de elevar as peças metálicas durante a montagem . O concreto utilizado nas vigas é aplicado no próprio canteiro de obra.

A seqüência de concretagem das vigas está mostrada esquematicamente nas figura 5.22 e 5.23. O perfil da viga cuja seção é tipo “I” (02 perfis “U” simples soldados num perfil “U” enrijecido) é inicialmente colocado no chão com uma de suas aberturas voltadas para cima (figura 5.22a). Os estribos são soldados na alma ao longo das vigas com a finalidade de proporcionar a integração entre o concreto e aço. Em seguida é efetuada a

armação com 02 barras de diâmetro 16mm na face inferior e 02 de diâmetro 8,0mm na face superior do perfil ligadas por estribos de 4mm de diâmetro (figura 5.22b).

Após a armação executa-se a concretagem do lado superior do perfil (figura 5.22c). Deve-se utilizar um concreto com cimento CPV sem aditivo retardador com tempo de cura de 48 horas (Gallo, 2001).

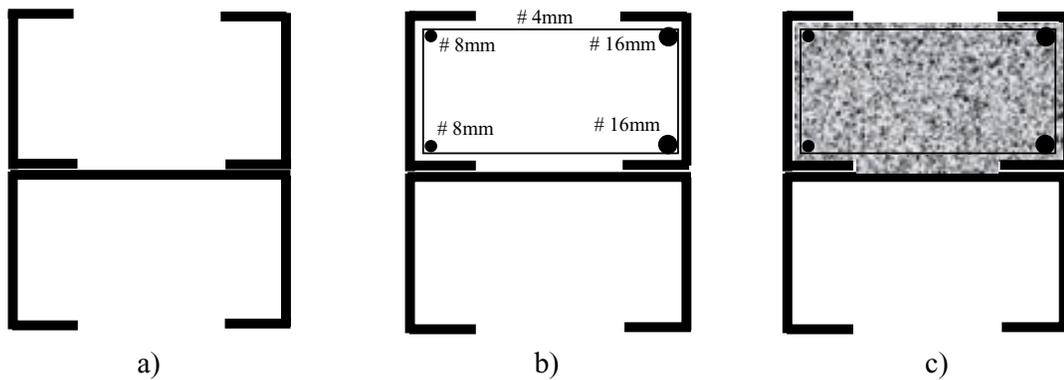


Figura 5.22 a, b, c – Sequência de concretagem de um dos lados das vigas.

Após a cura do concreto de uma das partes do perfil, efetua-se um giro de 180° no mesmo de modo a posicioná-lo para receber a armação e o concreto (figura 5.23a). Em seguida executa-se a armação do outro lado de acordo com a figura 5.23b. Na figura 5.23c tem-se a viga de aço preenchida de concreto.

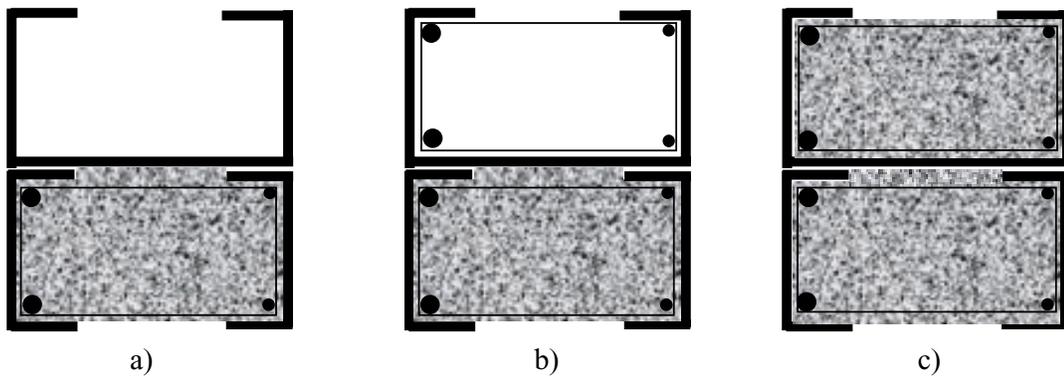


Figura 5.23 a, b, c - Sequência de concretagem do outro lado da viga.

A utilização do concreto armado proporciona maior peso das peças e conseqüentemente, equipamentos mecânicos são necessários para a montagem das mesmas. Esta montagem deve ser executada com um equipamento denominado “munck” ou por um pequeno guindaste com capacidade de 5 a 10 toneladas. Ressalta-se que a montagem deve ser executada por pavimento e de baixo para cima, ou seja, inicia-se no 1º pavimento e finaliza-se no 4º pavimento. A figura 5.24 ilustra as etapas de montagem .

Monta-se as colunas da estrutura que possuem 12 metros de comprimento. Em seguida, inicia-se a montagem da viga de extremidade (viga que faz a ligação das colunas C1 e C4) com comprimento de 8 metros, já preenchida de concreto armado (figura 5.24a).

Durante a montagem das vigas transversais deve-se utilizar escoramentos a cada 2 metros para garantir a estabilidade da mesma. As figuras 5.24b e 5.24c ilustram o esquema de montagem das vigas transversais de 8 metros. Com as vigas transversais, do 1º pavimento montadas, inicia-se a colocação da viga longitudinal que liga as colunas C4 e C5 (figura 5.24d). Repete-se a operação para a viga que liga as colunas C1 e C2 de maneira a enrijecer o conjunto (figura 5.24e). Então, procede-se com a montagem da viga que liga as colunas C5 e C6 (figura 5.24f) e das colunas C2 e C3 (figura 5.24g). Com os dois conjuntos de vigas travadas monta-se as vigas secundárias de 8 metros de comprimento (figura 5.25a e 5.25b).

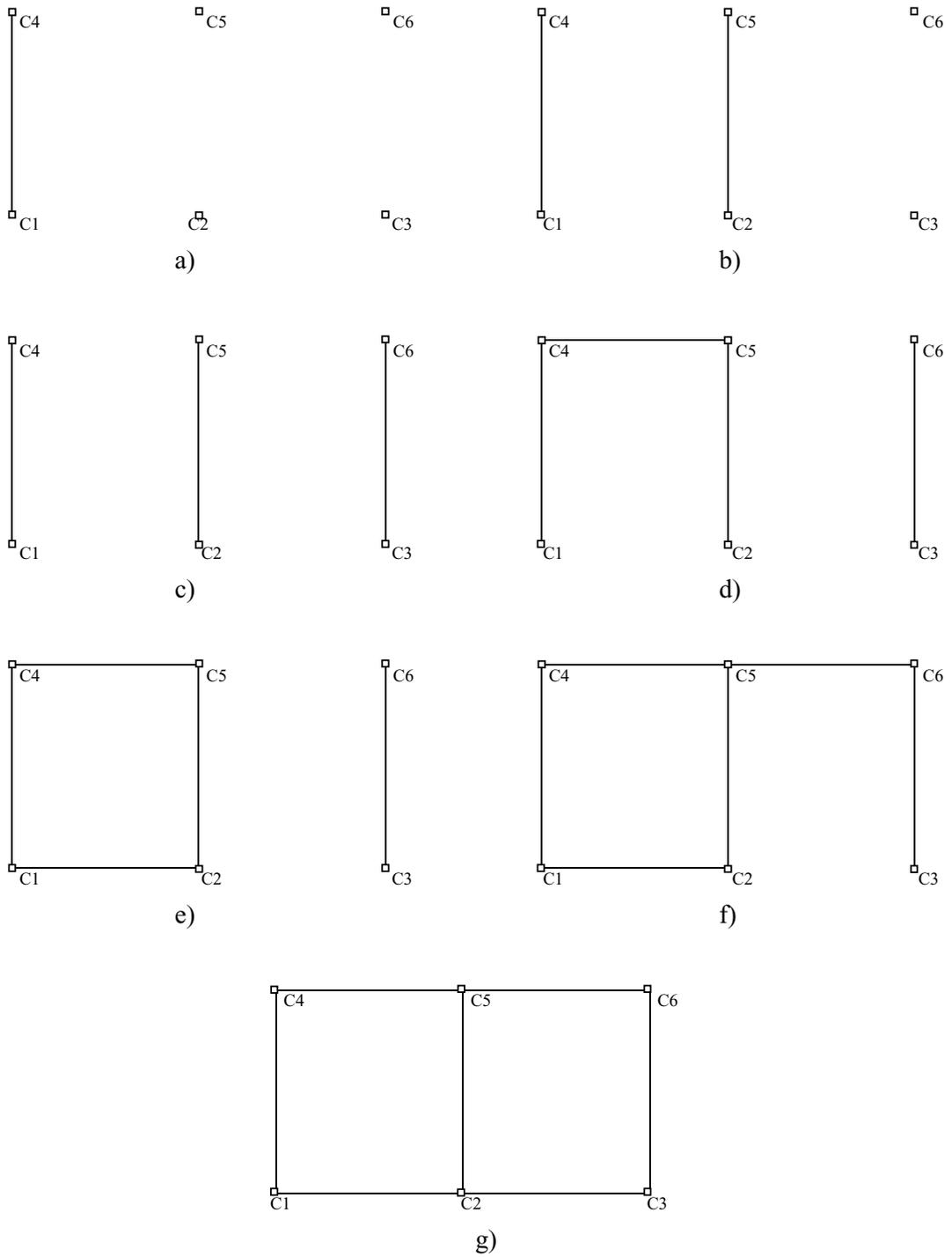


Figura 5.24 –Etapas de montagem da estrutura da solução adotada do modelo 02

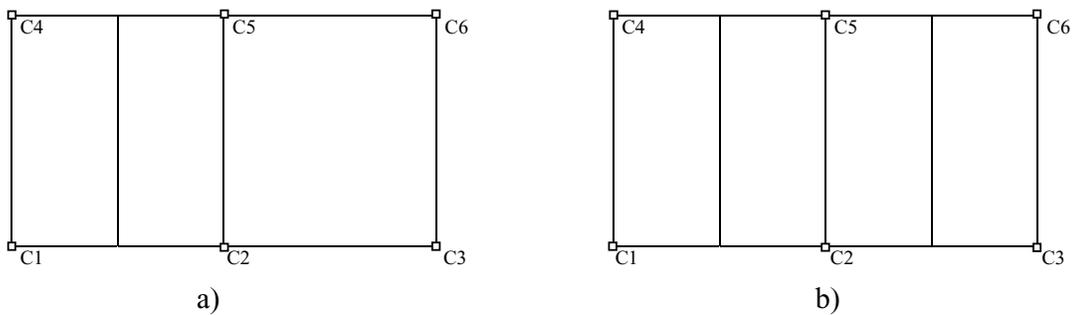


Figura 5.25 – Etapas de colocação das vigas secundárias da solução adotada do modelo

02

A preparação das ligações das vigas transversais e longitudinais deve ser feita na fábrica. Esta preparação consiste na soldagem das chapas de topo bem como a furação das mesmas. Deve-se utilizar o sistema de soldagem MIG/MAG. Para conter o concreto nas vigas secundárias são soldadas em suas seções transversais uma chapa de topo que é retirada após a cura do concreto. Para executar os furos das vigas secundárias utiliza-se 04 tubos de pvc com diâmetro de 19,05 mm antes da concretagem.

Inicialmente as vigas secundárias são apoiadas na luva de aço, sendo então aparafusadas através de barras roscadas nas chapas metálicas da luva de modo a obter-se um elemento de ligação entre as vigas secundárias e as longitudinais. São utilizados 08 parafusos na ligação, sendo 04 em cada face da luva.

5.4 - MONTAGEM DAS LAJES

Neste item são abordados os aspectos de montagem das lajes constituídas pelos painéis de concreto celular autoclavado para os modelos estruturais descritos nos itens anteriores. A montagem deste tipo de laje inicia-se desde o descarregamento dos painéis na obra até sua instalação final.

5.4.1 – Descarregamento dos painéis

Os painéis de concreto celular autoclavado são descarregados manualmente. Geralmente utilizam-se duas peças de madeira formando uma rampa. As bordas dos mesmos são protegidas com papelão para evitar estragos. Os painéis são deslizados até o chão diminuindo-se assim as quebras e facilitando o descarregamento. São colocados em local apropriado no canteiro de obras sendo armazenados sobre 02 peças de madeira de 8cm x 8cm formando uma pilha de no máximo 1m de altura ou 10 painéis sobrepostos.

São colocados 02 cavaletes de madeira para apoio do painel. Como o painel pesa aproximadamente 75kg/m², 02 operários são suficientes para carregar o painel e colocá-lo na posição para içamento.

5.4.2 – Montagem

A elevação dos painéis até as lajes é realizada manualmente ou através de guincho de cabo e roldana. Na figura 5.26 tem-se a preparação da elevação manual do painel por meio de cordas e roldanas e na figura 5.27 a elevação do mesmo. Duas torres de andaimes são necessárias para facilitar os trabalhos de montagens dos painéis.



Figura 5.26 – Preparação para elevação do painel por meio de cordas e roldanas.

Para montagem das lajes são necessários 06 operários, sendo 04 operários para elevação dos painéis e 02 para posicionamento e instalação dos mesmos.



Figura 5.27 - Elevação dos painéis de concreto celular autoclavado.

O sentido de montagem das lajes é realizado de cima para baixo, ou seja, inicia-se com a montagem dos painéis de forro (4º pavimento) e em seguida os painéis de laje. Os painéis são apoiados diretamente sobre a estrutura metálica de modo que haja um apoio mínimo de 5 cm sobre a viga. É soldada, à estrutura, uma cantoneira metálica para evitar o deslizamento dos mesmos (figura 5.28).

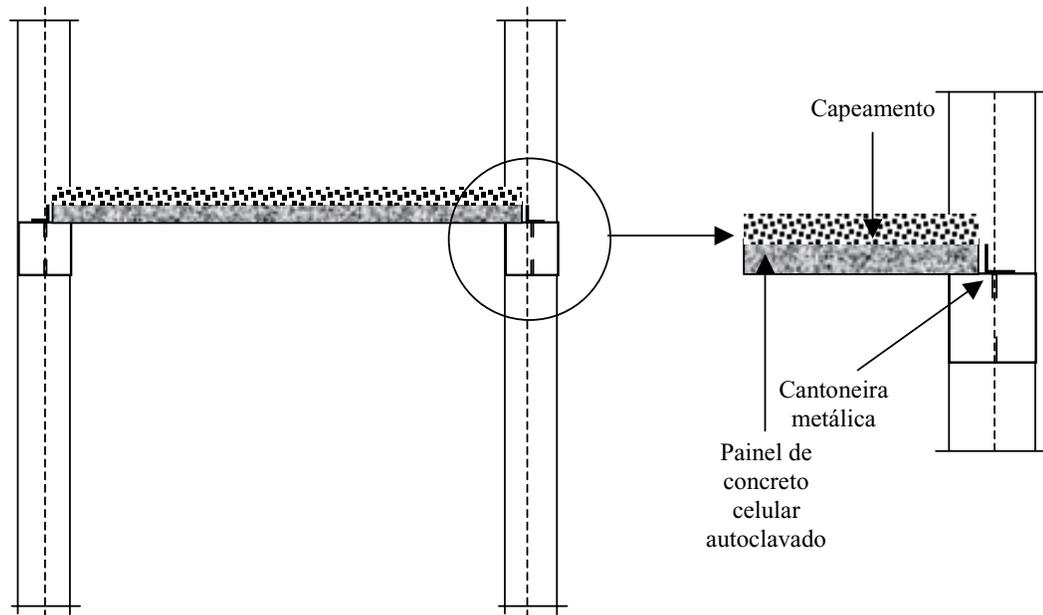


Figura 5.28 – Esquema de apoio dos painéis de concreto celular autoclavado sobre as vigas metálicas e detalhe da cantoneira metálica utilizada para evitar o deslizamento dos mesmos.

Neste sistema de lajes não há necessidade de fôrmas e escoramento na execução das mesmas. No encaixe entre os painéis é colocado um “grout” de concreto simples de modo a proporcionar a ligação entre os mesmos e solidariedade ao sistema. Na figura 5.29 tem-se a junção dos painéis de concreto celular autoclavado onde será colocado o “grout”. A figura 5.30 ilustra o aspecto geral da laje de piso constituída pelos painéis.



Figura 5.29 – Detalhe entre os painéis de concreto celular autoclavado onde será colocado o “grout” para proporcionar maior solidariedade à laje.



Figura 5.30 – Aspecto geral da laje constituída de painéis de concreto celular autoclavado.

5.5 - MONTAGEM DAS DIVISÓRIAS INTERNAS E DOS FECHAMENTOS EXTERNOS

São apresentados nesta seção, os procedimentos de montagem de paredes, segundo especificações técnicas do fabricante (Lafarge Gypsum, 1999).

A montagem das paredes, realizada após a montagem da estrutura metálica e das lajes em painéis de concreto celular autoclavado, se dá pela marcação e fixação das guias, colocação dos montantes, fixação das placas de gesso e acabamento.

A figura 5.31 identifica de uma maneira geral o sistema de fechamentos internos em paredes de gesso acartonado.

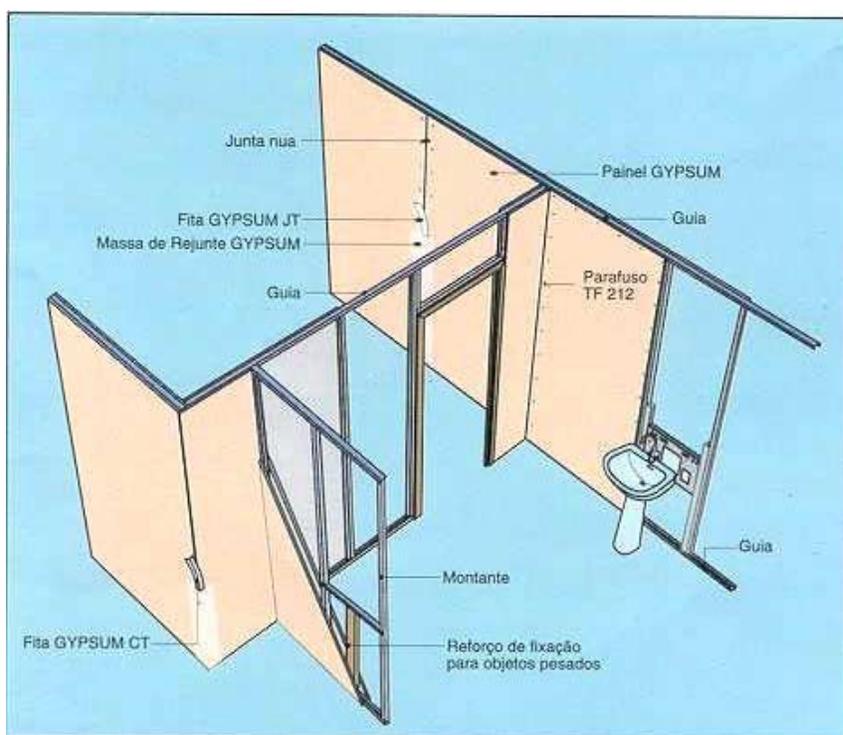


Figura 5.31 – Vista geral de identificação das peças que compõe o sistema construtivo a seco “Dry-wall”

5.5.1 - Marcação e fixação das guias

A localização das guias devem ser marcadas no piso e no teto, que em nosso trabalho, esta marcação será feita sobre os painéis de laje. Em seguida, marca-se os pontos de referência dos vãos das portas e das fixações de pias, armários, bojos, etc. Nas junções das paredes em “L” e em “T” deve-se observar o espaçamento entre as guias para a colocação das chapas de gesso. Estas guias são fixadas no piso e no teto através de parafusos e brocas espaçados a cada 50 cm. A fixação das guias se dá através de pinos de aço fixados com pistolas de fixação. Na figura 5.32a, b e c estão respectivamente os esquemas de marcação, com a utilização de fio de prumo, e colocação das guias inclusive em locais de umidade.

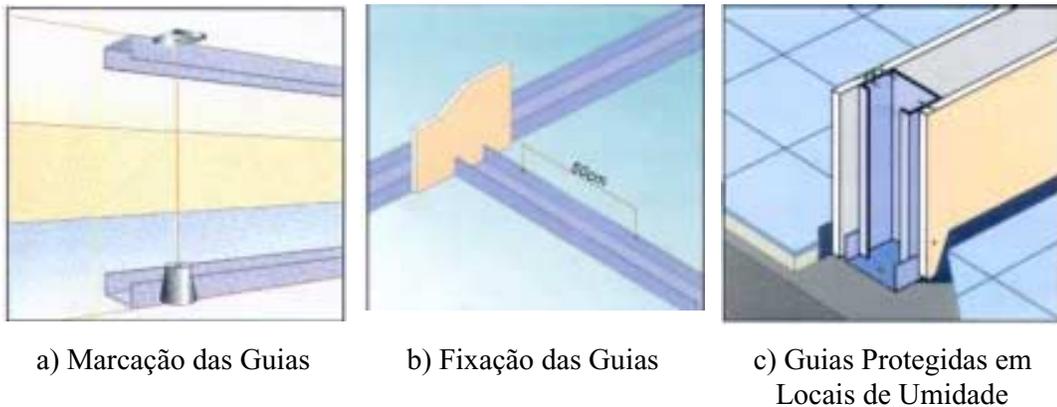


Figura 5.32a, b e c – Detalhes do esquema de marcação e fixação das guias

5.5.2 - Colocação dos montantes

Os montantes possuem altura 5mm menor que o pé-direito do cômodo onde são fixados os painéis. Esta redução de 5mm representa o pé-direito do ambiente, exceto a espessura das guias que serão fixadas no piso e no teto. Os montantes devem ser fixados a partir das paredes laterais e nas guias já aparafusadas. Os demais montantes são fixados verticalmente com uma distância entre si que varia de 30 a 60 cm entre eixos. Na figura 5.33 está o esquema de colocação dos montantes.

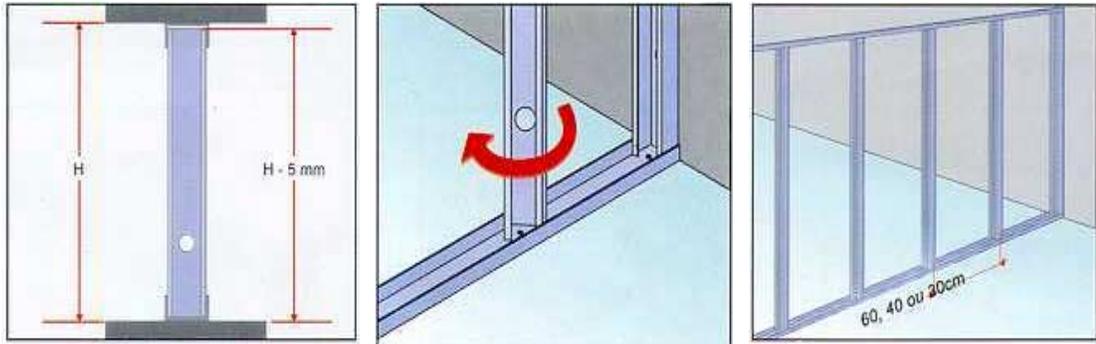


Figura 5.33 – Detalhes da colocação dos montantes.

Em seguida, procede-se a fixação dos marcos que irão suportar as portas. As figuras 5.34 e 5.35 mostram como devem ser feitas a locação das guias e a fixação dos batentes que apoiam os marcos das portas.

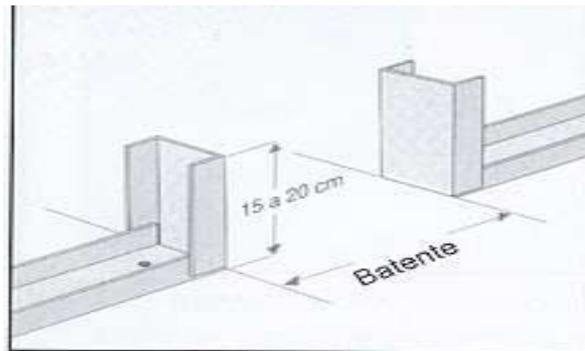


Figura 5.34 – As guias inferiores são dobradas (90°) de modo a determinar o vão da porta. (Lafarge Gypsum, 1999)

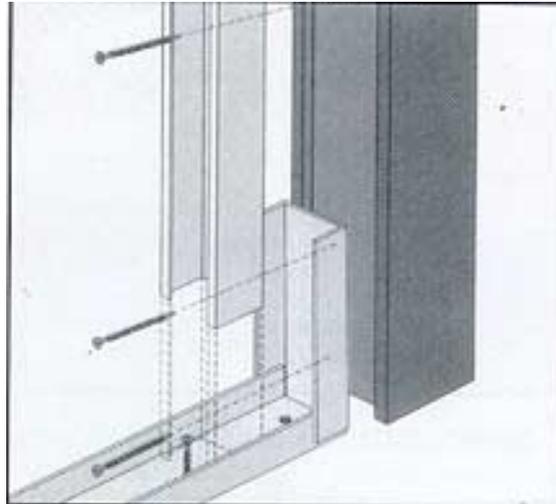


Figura 5.35 – Detalhe da fixação da guia e do montante ao batente da porta. (Lafarge Gypsum, 1999).

Definida a marcação do vão da porta, procede-se a colocação das guias na altura onde será fixada a verga da porta. São ainda fixados montantes que servem de apoio à fixação das chapas de gesso. Os montantes e guias, que ficam em contato diretamente com o batente da porta, podem ser reforçados com a utilização de uma peça de madeira posicionada internamente ao montante. Na figura 5.36, é apresentado o detalhe de fixação de marcos com bandeiras de portas.

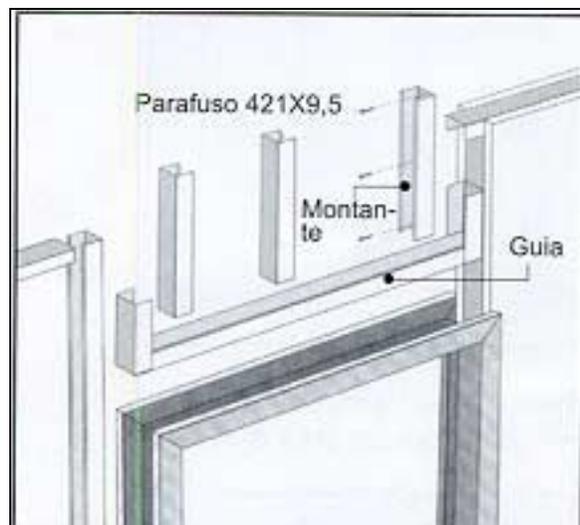


Figura 5.36 – Detalhe da fixação da guia que serve como verga da porta.

5.5.3 - Colocação das chapas de gesso

As chapas de gesso, aplicadas em nosso trabalho, possuem a altura 1cm menor do pé-direito. A figura 5.37 detalha a fixação das chapas de gesso nos montantes metálicos bem como o espaço existente entre o piso e o painel..

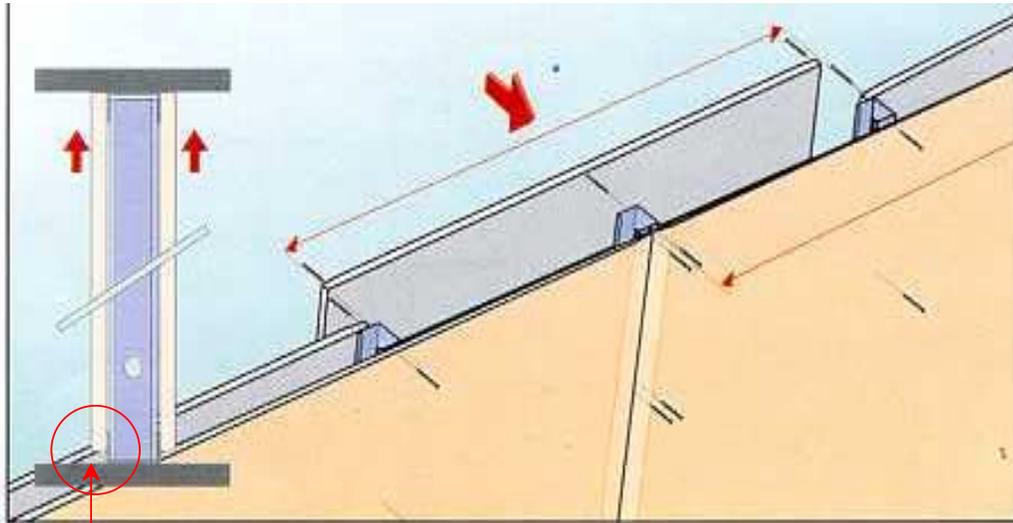


Figura 5.37 - Fixação das chapas de gesso aos montantes metálicos. Detalhe do espaço de 1cm deixado na fixação da chapa de gesso ao perfil metálico.

Por questões que envolvem a industrialização do projeto proposto, as aberturas das caixas elétricas (interruptores, tomadas e quadros de distribuição de circuitos) serão feitas antes da montagem dos painéis nos módulos estruturais, pois cada chapa é posicionada de acordo com o projeto de detalhamento arquitetônico. Porém, nada impede destas aberturas serem feitas após a fixação das chapas nos montantes.

As chapas de gesso devem ser posicionadas encostadas no teto, deixando uma folga de cerca de 1cm na parte inferior. Estas chapas são fixadas aos montantes por meio de parafusos autoatarrachantes espaçados a cada 30 cm. Para se ter um bom acabamento, ao se aparafusar as chapas, deve-se evitar que a cabeça do parafuso penetre demais na chapa. A junta entre as chapas devem estar sempre sobre um montante.

A figura 5.38 mostra a fixação de duas chapas de gesso acartonado sobrepostas nos montantes metálicos.

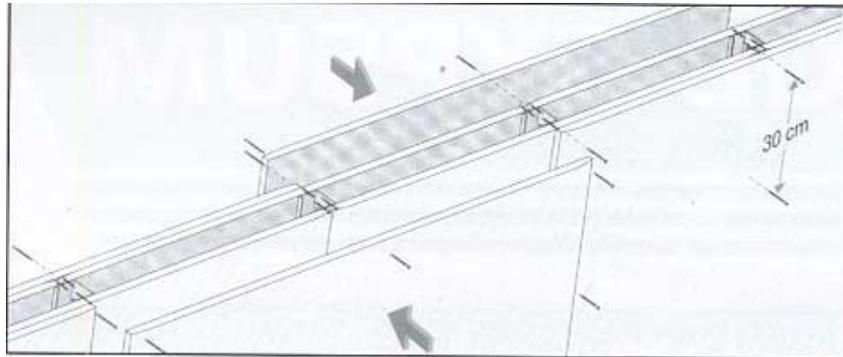


Figura 5.38 – Detalhe do fechamento com a utilização de dois painéis sobrepostos.

Após a fixação das chapas em uma das faces que compõem as paredes, inicia-se o processo de execução das instalações elétricas e hidráulicas. Defini-se então, todos os pontos de luz, água e esgoto para, posteriormente, instalar os reforços de pias, bojos e armários suspensos. Em seguida, coloca-se o isolante térmico e acústico (lã de vidro ou de rocha). A figura 5.39 ilustra os detalhes de fixação das peças pesadas sobre reforços.

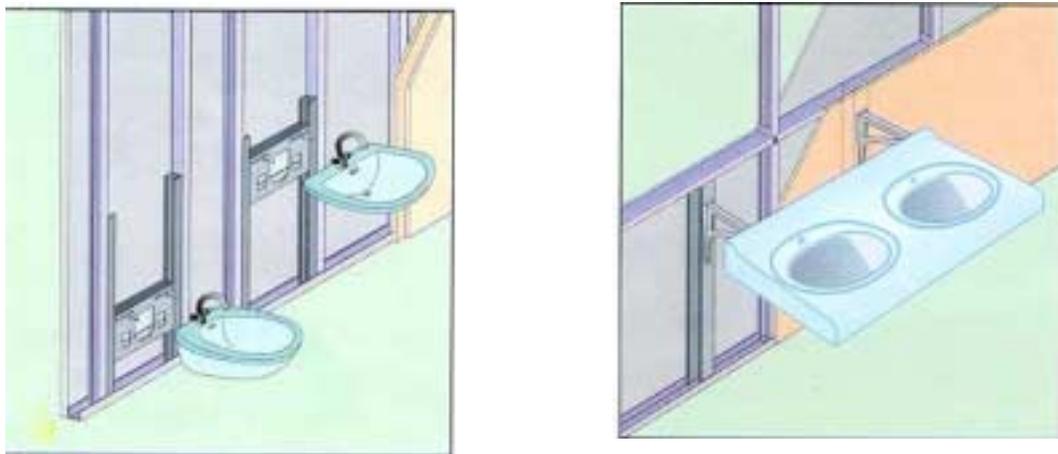


Figura 5.39 – Detalhe dos reforços para fixação da pia e vaso sanitário, além do esquema estrutural dos montantes, guias e painéis.

Após executada as instalações, os pontos de fixação das peças suspensas e da colocação do isolante, coloca-se as chapas da outra face da parede. Deve-se utilizar flanges especiais (Tigre, 2001) para colocação dos pontos de saída de água (chuveiros, torneiras, etc). Deve-se utilizar também protetores plásticos nos furos dos montantes para proteção das mangueiras flexíveis e dos eletrodutos. (Tigre, 2001). A figura 5.40 ilustra o flange utilizado nas saídas de água e a figura 5.41 mostra os protetores de plástico das mangueiras flexíveis nas passagens horizontais dos montantes metálicos.



Figura 5.40 – Detalhe do flange utilizado nas saídas de água.



Figura 5.41 – Detalhe do protetor plástico para eletrodutos e mangueiras flexíveis

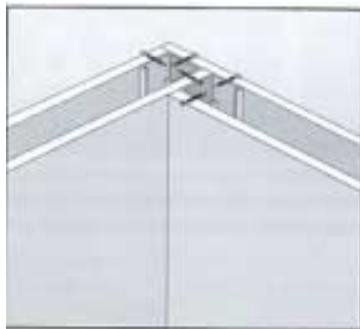
5.5.4 - Tratamento das juntas entre as chapas de gesso

As juntas das chapas são tratadas inicialmente com a aplicação de massa de rejuntamento. Em seguida, coloca-se a fita de papel craft reforçada e microperfurada sobre a junta. O acabamento da junta é realizado com uma desempenadeira metálica, de forma que a massa de rejuntamento esteja faceando a superfície das chapas de gesso. Após 2 horas, aplica-se o acabamento final da junta com uma fina camada de massa. Na figura 5.42 é visto a aplicação da massa de rejuntamento nas juntas das chapas.

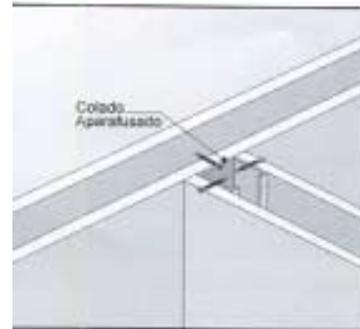
Os encontros internos nas juntas são acabados com a fita de papel microperfurada e a massa de rejuntamento. Os encontros externos são protegidos da ação de choques mecânicos por meio de perfis metálicos especiais ou fitas de papel com reforço metálico. A figura 5.43a e b mostra os detalhes das juntas para cantos, de face e topo, respectivamente.



Figura 5.42 – Detalhe da fixação da fita de papel microperfurada e da massa de rejuntamento.



a) Junta de Canto
(Junta “L”)



b) Junta de face e topo (Junta
“T”)

Figura 5.43a e b – Juntas tipo “L” e tipo “T”

5.5.5 - Paredes em ambientes molháveis

Nos ambientes como cozinha, banheiros e área de serviço são aplicadas as chapas resistentes à umidade. No encontro destas chapas hidrófugas com o piso, deve-se tomar alguns cuidados quanto a impermeabilização da área. Podem ser empregados sistemas de impermeabilização à frio, à base de betume e elastômeros. Deve-se revestir as paredes com azulejo ou pintura impermeáveis, principalmente nos boxes de banheiros, e ainda barras impermeáveis sobre pias, lavatórios e tanques. Na figura 5.44 é mostrado o esquema dos cuidados a serem tomados em ambientes molháveis.

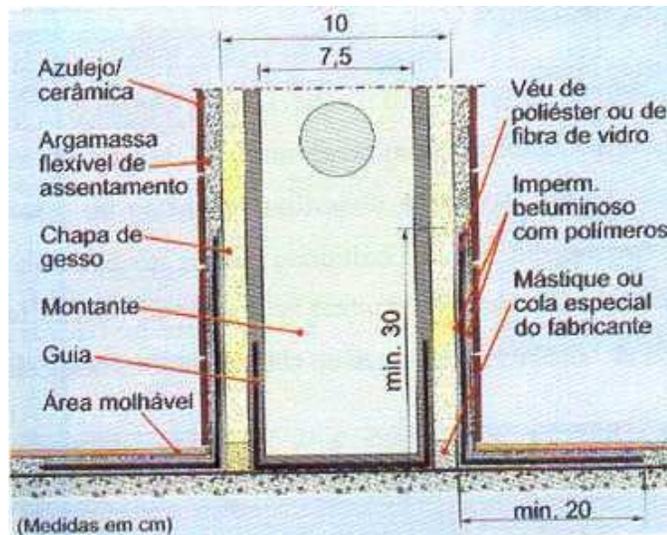


Figura 5.44 – Detalhe da impermeabilização utilizada em áreas molháveis.

5.5.6 - Acabamento

Finalizada a colocação e fixação das chapas, bem como o tratamento das juntas e cantos, executa-se o revestimento das chapas com pintura, azulejos ou cerâmicas. No caso de azulejos, é recomendável o assentamento dos mesmos com argamassa colante especial, ou seja, com maiores teores de resina, permitindo maior flexibilidade e aderência sobre o cartão. Para se obter um acabamento mais fino, deve-se utilizar massa corrida ou acrílica nas pinturas lisas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 – CONCLUSÕES

Observa-se atualmente que a construção civil passa por um período de mudança do conceito de construir. As construtoras estão se tornando gradativamente montadoras e gerenciadoras de sistemas construtivos industrializados. Logo, fornecedores nacionais e internacionais estão aprimorando e desenvolvendo produtos e processos com intuito de garantir sua participação no segmento da construção civil brasileira.

A industrialização das etapas construtivas se torna viável para atingir as construções de baixa renda. O mercado deste tipo de edificação será o grande foco das pequenas e grandes empresas do setor de construção civil devido ao elevado déficit habitacional brasileiro. Tal mercado necessita de construções rápidas e de qualidade, o que vem a somar com a industrialização dos processos e produtos disponíveis no segmento.

Conclui-se que os materiais industrializados utilizados nesta dissertação como as lajes, os fechamentos externos e as divisórias internas, aliados a um projeto arquitetônico bem concebido, têm um comportamento técnico satisfatório que agrega valor quanto a utilização da estrutura metálica. Através da integração de todos estes, obtêm-se obras de qualidade e rapidez de execução.

Nas situações avaliadas conclui-se que os perfis formados à frio possuem uma melhor eficiência quando são empregados com menores vãos. A utilização de “luvas” estruturais de aço proporciona diversas vantagens sobre os outros sistemas como: facilidade de fabricação das peças, velocidade de montagem das colunas e vigas, peso reduzido, precisão e inexistência de solda de campo. Esta seria a solução 01 do modelo 01.

A solução 02 do modelo estrutural 01 constituída por nós é uma solução adequada, mas quando comparada com as luvas apresenta um tempo de montagem superior em função desta não possibilitar o uso de uma coluna contínua para todos os pavimentos. Além disto, o seu peso final é maior que o da solução 01 devido ao próprio nó. Ressalta-se que em trabalhos futuros tanto as luvas quanto os nós poderão ser analisados experimentalmente de modo a confirmar suas eficiências construtivas.

A solução 03 do modelo 01 possui vantagens sobre as demais situações analisadas quanto aos aspectos de montagem pelo fato de ser parcialmente pré-montada na fábrica e posicionada no canteiro de obras como um pórtico único acelerando a montagem da estrutura. Esta pré-montagem é feita para os pórticos de dimensão 3mx3m. Quanto aos de 3mx4m, deverão ser pré-montados e içados no canteiro de obras.

No modelo 02, o qual apresenta perfis preenchidos de concreto armado, perfil misto, não apresenta vantagens construtivas pois consome mais aço nas estruturas ocasionado, aumento de peso da mesma e conseqüentemente nas fundações. Há acréscimo de custo de material e mão de obra devido a manipulação do concreto e suas armaduras e ainda são necessários equipamentos mecânicos para executar a montagem em função do elevado peso próprio das vigas. No entanto, deve-se ressaltar que esta solução viabiliza a eliminação de colunas internas, o que não é possível nas demais soluções. Assim, a partir da preferência do usuário, a solução é viável a maiores custos.

A seguir são apresentados na tabela 6.1 os comparativos entre as situações dos modelos estruturais analisados, sintetizando o que foi discutido anteriormente.

Tabela 6.1 – Comparativo entre os modelos estruturais

Modelo Estrutural	01			02
Solução Estrutural	01	02	03	01
Colunas utilizadas	Caixa	Caixa	Caixa	I
Vigas utilizadas	caixa	caixa	caixa	I preenchido com concreto armado
Tipo de ligação	Luvras estruturais	Nós estruturais	Soldadas	Parafusada
Peso (kg)	7.915,75	8.529,46	7.019,25	12.315,49

Com relação à avaliação do conforto térmico, conclui-se que em todos os cômodos a temperatura do ar interior está sempre acima da temperatura do ar exterior, embora não apresenta diferenças muito acentuadas. Desse modo, pode-se afirmar que os elementos de fechamento respondem de forma satisfatória às trocas de calor com o meio externo. No entanto, para uma região de clima quente, com temperaturas acima das condições de conforto, há a necessidade de adaptação do projeto e/ou climatização mecânica. A ventilação do ambiente, por exemplo, apresenta grandes efeitos na redução da temperatura do ar interior. Assim, a determinação da posição e das dimensões das aberturas é de grande relevância na obtenção de um ambiente termicamente confortável, além da escolha dos elementos de fechamento interno e externo. Ressalta-se que não foi avaliada a influência dos contraventamentos nas aberturas das janelas.

6.2 – SUGESTÕES

Como sugestões para trabalhos futuros tem-se:

- avaliação experimental das ligações de modo a otimizar o peso e a rigidez da estrutura;
- estudo da influência de painéis de fechamento na estabilização e na rigidez da edificação;
- avaliar novas proposições de aberturas para o conforto térmico do usuários conjuntamente com o modelo estrutural;
- avaliar as estruturas utilizando aço galvanizado de maneira a obter espessuras menores dos perfis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR (2001). Associação Francesa de Normalização. NF P72 – 302.
- AISI (1996) - American Iron and Steel Institute Load and Resistance Factor – Design Specification for Cold-Formed Steel Structural Members, Washington, USA.
- Akutsu, M. (1998). Método para a avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil. Tese de doutoramento, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, p. 156.
- ASHRAE (1993). Handbook of Fundamentals., ASHRAE, New York.
- Belley, H. I. (1998) – Edifícios Industriais de Aço, Editora Pini, 2ª Edição, São Paulo.
- CBIC (1998) – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Rio de Janeiro. Artigo Técnico referente ao Sistema de Aquisição da Habitação Popular.
- Cepeda J. T. (1998) – Steel Construction in Single Family Houses of Andalusia: House in Los Yesos (Granada) and House in Las Fuentezuelas (Jaén). Journal of Constructional Steel Research, 46: 1-3. Paper 212.
- Coskun H. (1999) – Design Considerations for Light Gauge Steel Profiles in Building Construction. Página 351. IV International Conference on Steel and Aluminium Structures.

- Davies, J. M. (1999) - Light Gauge Steel Framing Systems for Low-rise Construction. II Encontro Nacional de Construção Metálica e Mista, Coimbra, Portugal.
- Dias, L. A. M. (1997) – Estruturas de Aço: conceitos, técnicas e linguagem. São Paulo
- DIN 4223 (1978) - Reinforced Roof and Ceiling Panels from steam-cured aerated concrete and foamed concrete. Germany.
- Essam, A., et al. (1993). ESP-r : A Program for Building Energy Simulation, Strathclyde University, Glasgow, United Kingdom.
- IISI (1996) – International Iron and Steel Institute – Brochure nº 6, Innovations in Steel, United Kingdom.
- Gallo, G. (2001) - Concreto de Pós-reativos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Hernandez, A. et al. (1993) – Análise de métodos de cálculo de carga térmica através de paredes e tetos. Dissertação de mestrado, EPUSP, São Paulo.
- Infraero (1998). Infraero – Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária, www.infraero.gov.br .
- IPT (1992) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Elaboração de Critérios para Classificação de Edificações segundo seu Desempenho Térmico – Relatório IPT 30.923, São Paulo.

- IPT (1997) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Referência Técnica nº 05 – Sistemas Lafarge Gypsum de Paredes Pré-fabricadas em Chapas de Gesso.
- IPT (2001) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Referência Técnica nº 12 – Paredes em Chapas de Gesso Acartonado Knauf.
- ISO, International Organization for Standardization. Standard 7730 (1994). Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genebre: International Standardization Organization, p. 40.
- Klippel, S. (1998) – Recent Design Developments with Blind Mechanically Operated Bolt Systems for use with Hollow Section Steelwork. Journal of Constructional Steel Research, vol. 46:1-3, paper 355.
- Knauf (1999). Sistemas de Chapas Cimentícias. Catálogo de Produtos. Rio de Janeiro.
- Krüger, P. G. V. (2000) – Análise de Painéis de Vedação nas Edificações em Estrutura Metálica. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da UFOP, 167 p., Ouro Preto.
- Lafarge Gypsum (1999). Catálogos Sistemas Lafarge Gypsum, São Paulo.
- Machado, R. M. (1998) – Estudo Teórico-Experimental de Elementos Estruturais de Perfis de Aço Mistos. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da UFOP, Ouro Preto.
- Mitidieri Filho, C.V. (1997) – Paredes em Chapas de Gesso Acartonado. Técnica nº 30, Pini, Página 65 – 70, São Pulo

- Michalka Jr., C. (2000) – Ambiente construído na busca pela integração total. VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC 2000 (anais em CD-ROM).
- Negrão, C. O. R. (1996) – Simulação térmica de edificações e equipamentos de climatização: O potencial de modelação do programa Esp-r, VII Congresso Brasileiro de Energia CBE, vol. IV, p. 2230-2243, Rio de Janeiro.
- NBR 6120 (1980) - ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações, Brasil.
- NBR 6123 (1988) – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Forças Devido ao Vento em Edificações, Brasil.
- NBR 6401 (1978) – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto, Rio de Janeiro, Brasil.
- NBR 8800 (1986) – ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios, Brasil.
- Núcleo de Tecnologia da Construção Metálica (1989). Montagem de Estruturas de Aço de Edifícios. Publicação Técnica PT nº 16. Escola Politécnica da USP. São Paulo.
- Pedrazzi, F.L.M. (1998). The development of lightweight steel structures for housing in Argentina. Journal of Constructional Steel Research, vol. 46:1-3, paper 210.
- Pinto, M.A.V (2000). Avaliação Térmica de Edifícios em Estrutura Metálica. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da UFOP, Ouro Preto.

- Pizarreno Sociedad Industrial (2000). Catálogos Técnicos. Santiago. Chile.
- Queiroz, G. (1986) – Elementos das Estruturas de Aço, 1ª Edição, Belo Horizonte.
- Rodrigues, M. (2000) – Construção Revista Pini nº 2715. Artigo Técnico. São Paulo.
- Rodrigues, F.C. (2001) – Sistemas Construtivo e Estrutural para Edificações Residenciais de Quatro Pavimentos em Perfis Formados à Frio. Relatório Final 015/2001-010. Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG, 205 p., Belo Horizonte.
- Raad Jr., A. A. (1999) – Diretrizes para Fabricação e Montagem das Estruturas Metálicas. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da UFOP, 218 p., Ouro Preto.
- Ramos, Fernando (1997). Painéis de Vedação e de Revestimento em Aço Inoxidável. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da UFOP, 164 p., Ouro Preto.
- SCI (1999) – The Steel Construction Institute. Modular Construction Using Light Steel Framing, SCI-P-272, United Kingdom.
- SEDU (1998) - Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. Brasília. Artigo Técnico
- Sical Industrial S/A (2000) – Notas de estágio e catálogo de produtos. Belo Horizonte.
- Sinduscon-MG (1998) – Sindicato da Indústria da Construção de Minas Gerais. Belo Horizonte. Artigo técnico.

- Systemac (2000) - Systemac Construções Industrializadas Ltda. Notas de estágio. São Paulo.
- Técnica (1998) – Revista de Tecnologia da Construção Nº 32. Artigo Técnico. São Paulo.
- Tigre (2001) – Tubos e Conexões Tigre S/A – Notas de estágio e catálogo de produtos. Belo Horizonte.
- Tecnofer (1990) – Tecnofer Indústria e Comércio S/A. Belo Horizonte. Tabelas para Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados à Frio.
- Yu, W. W. (1991). Cold-Formed Steel Design, second edition, John Wiley & Sons. Inc., New York, USA.
- UMSA (1999) – Usiminas Mecânica S/A. Catálogo Técnico.
- Usiminas (1998) – Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A. Belo Horizonte. Catálogo Técnico.
- Usiminas (2000) – Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais. Revista Catálogo do 2º Prêmio Usiminas Arquitetura em Aço. Belo Horizonte.
- Viridi, K.S. & Dowling, P.J. – “Composite Columns - A Summary of Analysis and Design of Composite Columns”, CESLIC Report (Civil Engineering Department, Engineering Structures Laboratories, Imperial College), No CC3, Outubro 1971.