

**SISTEMA CONSTRUTIVO INTEGRADO
EM ESTRUTURA METÁLICA**

Roberto de Araujo Coelho

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

**"SISTEMA CONSTRUTIVO INTEGRADO EM ESTRUTURA
METÁLICA"**

Roberto de Araujo Coelho

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Luiz Sérgio Franco
EPUSP-USP - (Orientador)

Prof. Dr. Roberto Márcio da Silva
DEES - UFMG (Co-orientador)

Prof. Dr. Gilson Queiroz
DEES-UFMG

Prof. Dr. Ercio Thomaz
IPT

Belo Horizonte, 30 de maio de 2003

DEDICATÓRIA

À Alessandra,
Débora, Marina e Bruno.

AGRADECIMENTOS

Aos Amigos cujo apoio foi indispensável para a conclusão deste trabalho:

Eduardo Chahud
Estevão Bicalho Pinto Rodrigues
Luiz Sérgio Franco
Roberto Márcio da Silva

Às Empresas que sustentaram esta pesquisa:

USIMINAS , através da Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do
Aço

PRECON Industrial S/A

Aos Profissionais:

Engenheiro Rômulo Genuíno de Oliveira (“in memorian”)
Arquiteto Alcindo Fonseca

Às Empresas que colaboraram com esta pesquisa:

Fy Engenharia de Projetos
Preaço Estruturas Metálicas
Hilti Sistemas de Fixação
Flasan Sistema Construtivo a Seco
SH Formas, Andaimos e Escoramentos
Collen Construtora
Construtora Tenda

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Habitação de Interesse Social – HIS.....	4
1.2. Objetivo.....	7
1.3. Escopo.....	8
2. A CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA.....	12
3. SISTEMA CONSTRUTIVO EM ESTRUTURA METÁLICA.....	26
3.1. Histórico.....	26
3.2. Racionalização de Processos.....	32
4. CONCEPÇÃO DO SISTEMA.....	39
4.1. Resistência ao Fogo.....	43
4.2. Ligações.....	44
5. SISTEMA ESTRUTURAL EM LAJE PLANA.....	55
5.1. Primeira Etapa.....	55
5.2. Segunda Etapa.....	70
5.3. Conclusões Parciais sobre o Modelo Estrutural proposto.....	73
5.4. Modelo.....	74
5.4.1. Análise Elástica.....	77
5.4.2. Análise Elasto-Plástica.....	85
5.5. Lajes em Concreto Armado.....	86
5.6. Execução do Protótipo.....	89

5.7. Testes realizados no Protótipo.....	91
5.8. Conclusões sobre o Sistema Estrutural.....	105
6. FACHADA-PAINEL.....	107
7. DIVISÓRIAS DE GESSO ACARTONADO – “dry-wall”	119
8. CONCLUSÕES.....	126
8.1. Estrutura.....	127
8.2. Vedação Externa.....	129
8.3. Vedação Interna.....	130
8.4. Custos estimados.....	131
8.5. Considerações Finais	134
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137

FIGURAS

Figura 2.1 – Propaganda de hospital pré-fabricado.....	15
Figura 2.2 – Evolução esquemática da produção industrial de casas	17
Figura 2.3 – Casa móvel.....	18
Figura 2.4 – Detalhe montagem de painéis de vedação	19
Figura 2.5 – Seqüência de uma construção modular	20
Figura 2.6 – Construção modular, semi industrializada	21
Figura 2.7 - Estrutura metálica estabilizada por núcleo de concreto.....	22
Figura 2.8 - Laje com forma metálica incorporada.....	22
Figura 2.9 - Fachada em painel pré-moldado de concreto.....	23
Figura 2.10 - Sistema divisórias em gesso acartonado.....	23
Figura 2.11 - Vista externa e interna do banheiro "pronto".....	24
Figura 3.1 – Edifício Cohab Heliópolis, SP.....	29
Figura 3.2 - Tipos comuns de perfis metálicos.....	30
Figura 3.3 - Estrutura do edifício COHAB-MG.....	32
Figura 3.4 - Evolução da racionalização.....	34
Figura 4.1 – Posição da laje em relação à viga.....	41
Figura 4.2 – IFB Viga Integrada à laje (<i>“Integrated Floor Beam”</i>).....	42
Figura 4.3 – Exemplos de sistema S+V (<i>“Stahl & Verbundbau”</i>).....	42
Figura 4.4 – Sistema forma metálica incorporada (<i>“Fast track slim floor”</i>).....	42

Figura 4.5 - Fator de Massividade.....	43
Figura 4.6 – Detalhe das ligações.....	45
Figura 4.7 – Ligação viga-pilar (vista superior).....	45
Figura 4.8 – Vista das fundações.....	45
Figura 4.9 – Fixação convencional X alternativa.....	47
Figura 4.10 – Contraventamento convencional X alternativo.....	48
Figura 4.11 – Forma das lajes.....	49
Figura 4.12 – Escoramento removível e “drop head”.....	49
Figura 4.13 – Ligação laje-laje e laje-viga externa.....	50
Figura 4.14 - Montagem dos painéis.....	51
Figura 4.15 – Vista interna do protótipo.....	51
Figura 4.16 – Vista externa do protótipo.....	52
Figura 4.17 – Montagem da estrutura.....	52
Figura 4.18 – Vista geral da estrutura com forma já executada.....	53
Figura 5.1 – Planta do pavimento tipo.....	56
Figura 5.2 - Estudo 1.....	58
Figura 5.3 – Estudo 2.....	59
Figura 5.4 – Estudo 3.....	59
Figura 5.5 – Estudo 4 – apenas vigamento.....	62
Figura 5.6 – Esquema básico da estrutura analisada.....	63
Figura 5.7 – Deslocamentos verticais (mm) do ESTUDO 5.....	64
Figura 5.8 – Deslocamentos verticais (mm) do ESTUDO 6.....	65

Figura 5.9 – Deslocamentos verticais (mm) do ESTUDO 7.....	66
Figura 5.10 – Deslocamentos verticais (mm) do ESTUDO 8.....	67
Figura 5.11 – Deslocamentos verticais (mm) do ESTUDO 9.....	68
Figura 5.12 - Arquitetura.....	70
Figura 5.13 – Estrutura.....	71
Figura 5.14 – Deslocamentos Verticais (mm).....	72
Figura 5.15 - Projeto Arquitetônico.....	75
Figura 5.16 – Estrutura.....	76
Figura 5.17 - Deslocamentos verticais (mm).....	78
Figura 5.18 - Modelo Estrutural.....	80
Figura 5.19 – Deslocamentos verticais (mm).....	80
Figura 5.20 - Malha sem os elementos no contorno dos pilares.....	82
Figura 5.21 – Deslocamentos verticais (mm) SEM majoração das cargas.....	82
Figura 5.22 – Deslocamentos verticais (cm) para G+Q.....	85
Figura 5.23 – Deslocamentos verticais (cm) para 1.2G+1.6Q.....	86
Figura 5.24 – Armação das lajes.....	87
Figura 5.25 – Detalhe das armaduras de ligação das lajes.....	89
Figura 5.26 – Detalhamento da estrutura metálica.....	91
Figura 5.27 – Etapas dos carregamentos.....	92
Figura 5.28 – Vista das “piscinas” de carga.....	93
Figura 5.29 – Posicionamento dos instrumentos de medidas.....	94
Figura 5.30 - Vista dos DT's.....	94

Figura 5.31 - Deslocamentos verticais das lajes.....	95
Figura 5.32 – Esquema de medição do painel.....	96
Figura 5.33 – Vista do painel ensaiado.....	96
Figura 5.34 – Deslocamento horizontal DT01.....	97
Figura 5.35 – Deslocamento axial DT05.....	97
Figura 5.36 - Posição invertida das armaduras das lajes.....	99
Figura 5.37 – Posicionamento dos corpos de prova extraídos.....	100
Figura 5.38 – Dimensões dos cp's e posição das armaduras.....	100
Figura 5.39 – Corpos de prova extraídos.....	101
Figura 5.40 - Deslocamentos devido a G (peso próprio).....	103
Figura 5.41 - Deslocamentos devido a Q (sobre-carga).....	103
Figura 5.42 - Deslocamentos Totais (G+Q).....	104
Figura 6.1 - Tipos de painéis.....	108
Figura 6.2 - Painel maciço, sem isolamento.....	110
Figura 6.3 - Painel misto com isolamento.....	110
Figura 6.4 - Apoios dos painéis.....	112
Figura 6.5 – Fixação dos painéis.....	113
Figura 6.6 - Detalhe das fixações.....	113
Figura 6.7 - Tipologia.....	114
Figura 6.8 – Juntas entre painéis.....	115
Figura 6.9 – Variações nas modulações.....	115
Figura 6.10 – Exemplo de um detalhamento de armação.....	116

Figura 7.1 – Detalhe divisória gesso acartonado, adaptado de.....	121
Figura 7.2 – Vista das divisórias do protótipo.....	122
Figura 7.3 – Vista interna de uma obra.....	122
Figura 7.4 – Detalhe chapas especiais para banheiro.....	124

TABELAS

Tabela 2.1 – Entrega de unidades residenciais industrializadas nos EUA.....	16
Tabela 3.1 - Variantes das interfaces com a estrutura.....	37
Tabela 5.1 – Geometria dos perfis.....	57
Tabela 5.2 – Resultados dos estudos.....	60
Tabela 5.3 - Freqüência de vibração da estrutura.....	73
Tabela 5.4 – Freqüência de vibração da estrutura.....	81
Tabela 5.5 – Esforços comparativos nas lajes.....	84

RESUMO

Resumo da dissertação apresentada ao Departamento de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Estruturas.

**SISTEMA CONSTRUTIVO INTEGRADO
EM ESTRUTURA METÁLICA**

Roberto de Araujo Coelho

Abril, 2003

Orientador : Prof. Dr. Luiz Sérgio Franco

Co-Orientador: Prof. Dr. Roberto Márcio da Silva

A grande demanda brasileira por habitações de interesse social, exige a oferta de um sistema construtivo que atenda com preço, qualidade e, principalmente, com a velocidade necessária para produzir efeitos sociais em curto prazo.

Este trabalho propõe um sistema construtivo, para edifícios residenciais de até 5 pavimentos, com unidades habitacionais de 45m², sem utilização de elevadores.

Possui alto grau de industrialização e emprega as tecnologias disponíveis, com aprimoramento das técnicas construtivas. Utiliza a potencialidade de cada sub-sistema para obter um alto grau de eficiência.

Emprega uma metodologia de desenvolvimento de sistemas construtivos partindo da concepção, modelagem até a execução de um protótipo em escala real, que foi submetido a ensaios comprobatórios de seu desempenho. Oferece uma solução rápida, eficiente, segura e com custos compatíveis com os praticados no mercado. Um sistema construtivo simples, sem necessidade de mão-de-obra especializada.

ABSTRACT

Abstract of the dissertation presented to the Structure Department of the Federal University of the State of Minas Gerais as partial fulfillment of requirements for the degree of Master in Structural Engineering.

**INTEGRATED CONSTRUCTION SYSTEM
IN STEEL STRUCTURE**

Roberto de Araujo Coelho

April, 2003

Supervisor : Luiz Sérgio Franco, Phd.

Co-Supervisor: Roberto Márcio da Silva, Phd.

Brazil has a large deficit of social interest dwelling that requires a system with low price, high quality and fast enough to fulfill this social problem in a short time.

This research offers a construction system for residential buildings up to five floor, 45m² each one, without elevator. The system has a high level of industrialized construction, using the available technologies and improving the brazilian usual

techniques. It takes advantage of the whole potencial of each complementary system, reaching a high efficiency level.

The system herein presented starts from conception, to the modeling, up to the production of a prototype in real scale. Its structural response is garanteed by tests.

A fast, efficient, safe and lucrative construction system has been developed. At last but not least, it does not requires specialized workmanship to be executed.

“Nós construímos porque pouco do que fazemos pode ser executado ao ar livre.

Nós precisamos de cobertura para o sol, o vento, a chuva e a neve.

Nós precisamos de locais planos e secos para desenvolver nossas atividades.

Geralmente nós precisamos empilhar estes ambientes para multiplicar o espaço disponível.

Nesses ambientes cobertos nós precisamos de ar quente ou frio, mais ou menos umidade do que em local aberto.

Nós precisamos de menos luz durante o dia e mais durante a noite, além daquela que é oferecida pela natureza.

Nós necessitamos de serviços que forneçam energia, comunicação, água e colete os esgotos.

Então nos juntamos os materiais, na produção do que denominamos edifícios, para satisfazer estas necessidades.”

(Edward Allen [1])

1

INTRODUÇÃO

“O conceito de produção em série é utilizado para descrever o método pelo qual se fabricam grandes quantidades de um produto padronizado. A produção em série não é simplesmente produção em quantidade..., nem produção mecânica.

*A produção em série é a aplicação de princípios de **POTÊNCIA, PRECISÃO, ECONOMIA, MÉTODO, CONTINUIDADE e VELOCIDADE** a um processo de fabricação.*

A principal diretriz consiste na interpretação destes princípios através do estudo de operações e desenvolvimento de maquinário e sua coordenação.

E o resultado lógico é uma organização produtiva que proporcione grande quantidade de artigos de material, mão-de-obra e desenhos padronizados a um custo mínimo...” .

(Henry Ford [4])

O desenvolvimento e o aprimoramento da indústria da construção civil brasileira está relacionado diretamente com a mudança dos conceitos e formas de se projetar. Ao iniciar o desenvolvimento de um projeto devem ser estabelecidos, prioritariamente, parâmetros que norteiem todos os trabalhos relacionados com a produção de um edifício, desde a sua forma até a sua execução , utilização e preservação.

A opção por um sistema industrializado confere ao arquiteto a responsabilidade não só pela definição da forma como por todos os demais elementos e processos que resultarão na montagem final do edifício.

O pouco comprometimento entre a **FORMA** e o **COMO CONSTRUIR** propicia não só o desenvolvimento de patologias nas interfaces entre componentes como aumenta a distância que separa o projeto da execução.

A determinação do **QUÊ** será projetado e **ONDE** será construído são definições mercadológicas e não envolvem, num primeiro momento, conhecimento técnico específico e são, geralmente, os únicos parâmetros considerados pelos arquitetos quando iniciam o desenvolvimento de um projeto.

A produção de edifícios, com racionalização e alto grau de industrialização atribui ao **COMO CONSTRUIR**, um papel chave e determinante das condições de contorno, que balizarão o desenvolvimento de todos os projetos e das técnicas empregadas na edificação da obra.

Requer estudo e pesquisa dos materiais e sistemas disponíveis no mercado, preços, desempenho sob todos os aspectos (segurança, habitabilidade, conforto termo-acústico, durabilidade, ausência de patologias...etc.) e principalmente a análise criteriosa dos métodos e meios de transporte e de montagem.

Deve-se empregar uma metodologia de desenvolvimento de projeto que contemple os conceitos construtivos, permitindo uma maior racionalização e produtividade da construção. Sabbatini [20] define **CONSTRUTIBILIDADE**, de um edifício ou de um elemento, como a "*propriedade inerente ao projeto de um edifício, ou de uma sua parte, que exprime a aptidão que este edifício (ou sua parte) tem de ser construído*". Afirmar que "*...o emprego de uma metodologia de projeto que incorpore o conceito de construtibilidade, constitui-se em uma ação voltada para o aperfeiçoamento da habilidade que o objeto do projeto tem em ser construído. E neste contexto, é entendida como uma ação totalmente direcionada para a racionalização da construção.*"

Como resultado da consideração dos métodos e processos construtivos no desenvolvimento do projeto tem-se que :

- "*...a duração do projeto é reduzida;*
- "*menores atrasos são efetivamente priorizados em campo;*
- "*as atividades de engenharia e administração são efetivamente priorizadas;*

- *o trabalho em campo é mais efetivo e*
- *há um aumento na percepção dos verdadeiros objetivos de projetos pessoais".*

A racionalização de um processo construtivo nasce na concepção, desenvolve-se no projeto e materializa-se na construção de uma edificação.

1.1 Habitação de Interesse Social - HIS

*“Temos tentado encontrar **COMO CONSTRUIR** antes de saber **O QUE CONSTRUIR**. Temos pressa em aplicar novas tecnologias à produção de formas antiquadas, utilizando a tecnologia da era dos reatores para produzir cabanas.”*

(Richard Bender [4])

A política habitacional praticada nas últimas décadas propiciou o aumento do déficit de residências, estimado hoje em 6 milhões de unidades [27], ultrapassando os limites da classe dita “popular”. Atualmente, os conjuntos habitacionais têm sido implantados em áreas residenciais de maior poder aquisitivo, tendo como alvo principal os profissionais liberais recém-formados, que preferem arcar com os custos de financiamento de uma unidade mais simples a assumir o ônus da locação. Acreditando no futuro, utilizarão este imóvel, como poupança, na troca por um outro de melhor qualidade ou mesmo como uma fonte de renda extra. Com maior grau de instrução e discernimento, estes clientes são mais exigentes e conhecedores dos seus direitos, estipulados no “Código de

Defesa do Consumidor”[7]. Esta nova realidade exige, das construtoras, garantias antes ignoradas ou mesmo desconhecidas. Não se admite mais a justificativa de que as patologias são “comuns” e inerentes ao processo construtivo.

Por parte dos órgãos financeiros, especialmente a CEF Caixa Econômica Federal, houve um significativo aumento no nível de exigências quanto ao desempenho dos processos empregados e à qualificação das construtoras junto ao PBQPH (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade na Construção Habitacional).

Por outro lado, os empreendedores descobriram que conseguem auferir maior lucro não com a construção em si, mas com a receita financeira proveniente do auto-financiamento do imóvel. Este posicionamento fortalece e alonga o prazo de relacionamento entre o construtor e o cliente. Um imóvel sem patologias é o caminho para sustentação deste processo, afastando do cenário os órgãos financeiros estatais. Exige-se, ainda, que o imóvel, a qualquer tempo, tenha um valor venal compatível com o mercado, pois é a garantia do construtor em caso de desistência ou de inadimplência do usuário.

A construção rápida, com custos bem definidos e factíveis, com segurança e qualidade, sem patologias, com apropriados desempenhos acústico e térmico, com boa durabilidade e estanqueidade, dentre outros aspectos, é a garantia de sobrevivência da construtora neste mercado de perfil alongado e altamente competitivo.

Neste cenário os fornecedores de estruturas metálicas têm tentado estabelecer-se neste nicho de mercado. A simples substituição do sistema estrutural, de concreto armado para metálico, mostrou-se ineficaz do ponto de vista técnico, acarretando aumento das patologias relacionadas com as interfaces entre a estrutura e as vedações, principalmente. Os preços da estrutura metálica são comparativamente mais elevados que a de concreto armado moldado no local. A falta de uma visão global ou "holística" [20] de resolver o edifício como um todo, não permite explorar as vantagens da estrutura metálica, como por exemplo o reduzido prazo de execução, levando a custos inferiores nos processos tradicionais. Esses aspectos formam a segunda barreira para a difusão desta modalidade na produção de HIS.

Somente em meados de 2002 teve início a produção de perfis laminados que são, por razões relacionadas com a produção industrial, mais baratos que os soldados. Isto deve facilitar o emprego deste tipo de estrutura, principalmente pela disponibilidade, em estoque, de perfis prontos e com diversas seções.

Vencer estes obstáculos exige estabelecer novos parâmetros projetuais e construtivos, quebrar os antigos paradigmas deste tipo de construção e oferecer novos produtos que contemplem não só a estrutura como todos os demais sistemas que compõe a edificação. Assim, insere-se este trabalho, focando as habitações de interesse social, propondo aplicar sistemas construtivos racionalizados, integrados, com qualidade e custo final que permitam atender, em um curto espaço de tempo e em qualquer localidade, a demanda por moradias.

1.2 Objetivo

O objetivo maior deste trabalho é **estabelecer a primeira etapa do desenvolvimento de um processo construtivo industrializado** voltado para habitações de interesse social, em estrutura de aço e vedações com elevado grau de industrialização, correspondente à viabilidade técnica e econômica do processo e da conceituação geral da estrutura e vedação vertical, sub-sistemas que caracterizam o processo.

A viabilização do processo calca-se tanto em análises teóricas e modelagens numéricas, quanto na execução em forma de protótipo, da estrutura de um edifício e de suas vedações, onde se pode analisar criticamente os elementos dos principais sub-sistemas do processo construtivo: estrutura e vedações.

Diminuir a representatividade da estrutura metálica no custo final da obra, reduzindo o seu peso final.

Compatibilizar as suas interfaces com os demais sistemas industrializados como as lajes, as vedações e as instalações de forma a aumentar a produtividade e a racionalização do sistema construtivo global.

Busca-se a produção de uma obra “seca”, com redução e mesmo eliminação de todas as etapas de execução que utilizem via úmida. Isto é possível com emprego de sistemas produzidos industrialmente (fora do canteiro) e transferidos para a obra onde serão apenas montados.

Em um primeiro momento deverá ser equacionada, de forma racional e integrada, a execução de edificações populares, de 4 ou 5 pavimentos, cujas estruturas sejam

executadas em perfis metálicos leves, eletrossoldados. Os principais parâmetros que orientarão os trabalhos são:

- O prazo de execução de toda a obra, não mais apenas o da estrutura metálica;
- O custo final de toda a obra;
- O desempenho dos diversos sistemas complementares da edificação.

As referências comparativas para este estudo são os edifícios em alvenaria estrutural com até cinco pavimentos, com quatro apartamentos de +/- 45m² cada, por andar.

Diversas empresas dominam este processo tradicional atingindo alta produtividade e um grau elevado de racionalização, o que o torna extremamente competitivo.

Espera-se que, após vencida esta primeira etapa, a construção de edifícios evolua para a montagem por módulos, empregando partes completas de uma unidade ou pelo menos de um cômodo.

1.3 Escopo

Dentro das premissas citadas, foram definidas as seguintes etapas a serem percorridas:

- Análise e crítica dos sistemas estruturais atualmente adotados, explorando suas possibilidades de uso.

- Estudo de alternativas estruturais que reduzam o peso da estrutura de forma a compensar o custo mais elevado, inicialmente, dos demais sistemas industrializados (painel, divisórias, instalações...).
- Proposição de um modelo estrutural que minimize ou mesmo elimine as interferências que demandem trabalhos adicionais, como por exemplo, arremates de vigas e colunas, proteção adicional contra incêndio, desvio de instalações,...Etc.
- Definição de sistemas de vedação (interna e externa), industrializados e compatibilizados com o novo modelo estrutural (deformações, fixações, vedações,...), solucionando todas as interfaces.
- Execução de testes e ensaios das soluções propostas, avaliando eficiência e desempenho, para posterior homologação pelos órgãos oficiais de fomento.
- Execução de uma obra piloto, com aplicação das soluções estudadas. Aferição de todos os parâmetros de produtividade e custo.
- Produção de texto técnico que oriente a produção de projetos (arquitetônico, estrutural e instalações) bem como a execução e controle de qualidade da obra.

O primeiro paradigma a ser modificado é que o usuário não aceita morar em uma unidade cujas paredes são ocas, decorrentes do uso de divisórias de gesso acartonado. Esta é uma questão de aceitação pela divulgação e oferta. A entrada deste produto no mercado brasileiro ocorreu no segmento de maior poder aquisitivo, iniciando pelos prédios comerciais e posteriormente nos residenciais, ainda não consolidado.

Constata-se com maior regularidade, nos grandes centros urbanos que o imóvel, padrão HIS, com maior potencial de venda, apresenta as seguintes características:

- Estar localizado em uma região que reduza o tempo e o custo com transporte até os locais de trabalho, estudo e lazer;
- Não apresentar patologias ao longo de sua vida útil;
- Propiciar um ambiente agradável para morar, oferecendo conforto térmico e acústico e ser estanque à água;
- Poder ser facilmente atualizado, tanto nos revestimentos quanto nas divisões internas;
- Manter um valor de mercado, após a depreciação.

Dentro destes conceitos, será proposto um sistema construtivo onde todos os métodos e sub-sistemas apresentem alto grau de industrialização e racionalização, além de se complementarem integralmente.

A estrutura será dimensionada para emprego dos perfis leves, eletrossoldados. As ligações entre as peças serão aparafusadas, **eliminando-se a solda de campo** e as possibilidades de falhas inerentes a este processo.

Para manter o padrão de velocidade, precisão e industrialização, imprimido pelas estruturas metálicas, as vedações externas e internas serão industrializadas.

Externamente serão estudados 2 tipos de painéis pré-moldados:

- Misto – concreto armado + placas de EPS (poliestireno expandido) – sistema grelha espacial;

- Maciço – concreto armado de baixa densidade (1600 kg/m^3) com agregado de argila expandida. Estes terão a função estrutural de estabilizar o edifício, em relação às cargas horizontais, segundo a direção de seu plano.

Ao final, o sistema poderá ser submetido à homologação pelas instituições estatais de fomento, especialmente a **CEF – Caixa Econômica Federal**, permitindo a utilização de recursos financeiros provenientes dos programas de crédito oficiais tipo **PROCRED** e **PAR**.

Este trabalho **NÃO** busca um sistema padronizado, mas estabelecer parâmetros de projeto, tanto arquitetônico quanto estrutural, que possibilitem a construção de edifícios em estrutura metálica, empregando sistemas complementares industrializados, obtidos do mercado aberto, caracterizando uma industrialização de "ciclo aberto", com qualidade, custo e segurança compatíveis com o mercado atual.

Até o presente momento, as soluções para habitações de interesse social, empregando estruturas metálicas, têm produzido edifícios com tendência a uma repetição formal, como se isto fosse condição necessária para emprego deste tipo de estrutura. Falta compreender melhor os conceitos relacionados com a industrialização de processos e sua aplicação, para que sejam inseridos nos projetos, resultando uma maior diversidade de soluções sem a perda dos princípios básicos.

2

A CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

A industrialização da construção já vem sendo discutida há um longo período, em todo o mundo, desde o término da 2^a Guerra Mundial. No Brasil, com o fim do período das altas taxas de inflação e dos excessivos ganhos no mercado financeiro, reiniciaram-se os debates e pesquisas na tentativa de se reduzir o grande atraso tecnológico deste setor.

Em publicação datada de 1976, Bender [4] já citava que as mudanças na construção eram frutos da aceitação dos métodos e técnicas da produção industrial, e eram motivadas por 3 forças paralelas:

- 1- O desenvolvimento de grandes organizações construtoras capazes de realizar empreendimentos de construções como resultado da Grande Depressão e da 2ª Guerra Mundial;
- 2- A adoção de novos materiais como plásticos, compensados de madeira e aço de grande resistência que foram desenvolvidos por indústrias tecnicamente mais avançadas que a da construção e
- 3- O rápido desenvolvimento dos métodos de industrialização ocorrido depois da 2ª Guerra Mundial, como resposta à escassez de moradias, mão-de-obra especializada e materiais.

Ainda, segundo o mesmo autor, na indústria da construção, a evolução dos processos pode ser resumida em 2 grupos inter-relacionados: o que inclui o desenvolvimento de materiais e métodos e o que reúne as mudanças que afetam a estrutura da indústria.

No primeiro grupo temos:

- Introdução de novos processos de relacionamento entre a matéria prima original e o edifício construído;
- Introdução de novos materiais de construção, ferramentas e produtos;
- Deslocamento de parte do processo de edificação do canteiro de obra para a fábrica;
- Introdução de sistemas construtivos, edifícios e componentes produzidos industrialmente;
- Utilização de métodos industriais na obtenção de produtos, componentes, equipamentos e unidades prontas de tamanho cada vez maior.

No segundo grupo, relacionado com a indústria, temos:

- *A construção como operação de montagem. Podemos observar que a introdução das técnicas de produção em massa e dos elementos pré-fabricados eliminaram o que restou de artesanal na tecnologia da construção e o pequeno empreiteiro foi substituído pelo empresário da construção;*
- *O papel do fabricante vai evoluindo à medida que seu produto se relaciona mais especificamente com o edifício;*
- *Desenvolveram-se novos mercados ao evoluir os tradicionais para incluir serviços e produtos novos destinados a novos clientes em um novo contexto;*
- *Torna-se mais importante o estabelecimento de um conjunto adequado de padrões à medida que evoluem os edifícios, os materiais e as entidades promotoras.*
- *É absolutamente necessária a pesquisa como base para atingir os padrões e objetivos e para que se desenvolvam novos produtos.*

A proposição de desenvolvimento em escala de unidades residenciais, através da padronização de modelos, pode gerar dentro dos conceitos brasileiros, a perda da estreita ligação do imóvel com o proprietário (adquirente). Em contrapartida o estabelecimento de conceitos e procedimentos construtivos que permitam imprimir elevadas racionalização e industrialização à edificação, sem restringir e padronizar a sua forma, é um caminho para evolução dos processos construtivos.

“O que tem que ser padronizado e organizado é o sistema de produção e não o produto.

Isto é a base da industrialização aberta.” (Luiz Sérgio Franco)

Em 1886 a Sociedade da Cruz Vermelha, conforme mostra o recorte de jornal (Figura 2.1), alertava a sociedade para a necessidade de desenvolvimento de hospitais portáteis, possíveis de serem montados nos campos de batalhas, tendo em vista o grande número de soldados que perdiam as vidas por falta de uma assistência médica adequada.[4]

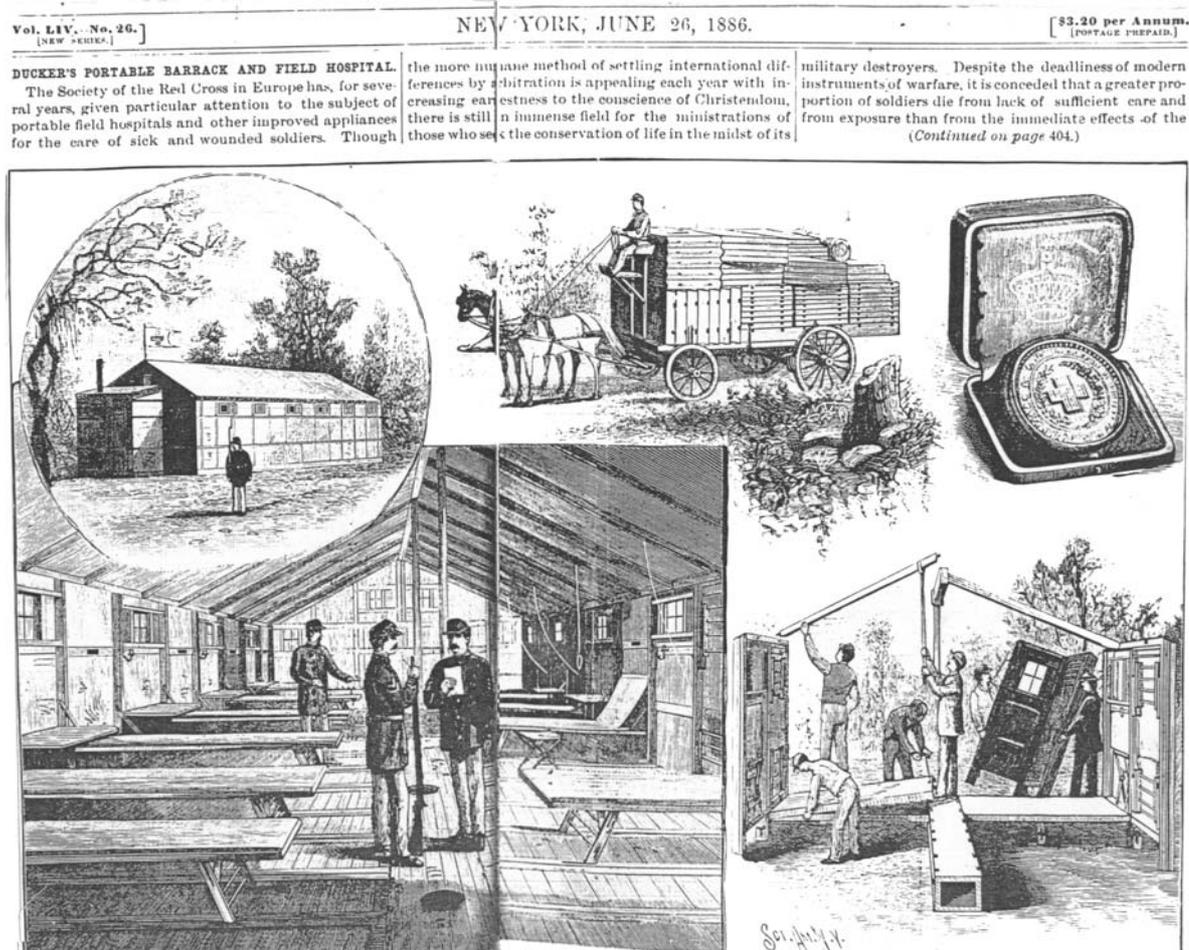


Figura 2.1 – Propaganda de hospital pré-fabricado

A evolução do processo de industrialização é demonstrada esquematicamente (Figura 2.2), a partir da produção de uma simples cabana de madeira roliça até uma casa móvel – “*moto home*”, montada sobre estrutura com rodas e facilmente deslocada de um local para outro.

O desenvolvimento de casas móveis possibilitou ampla liberdade ao usuário e sua comercialização (Tabela 2.1) teve grande impulso nos EUA, nos anos 60 e 70, disseminando conceitos e parâmetros de moradia. Estas casas são implantadas em grandes áreas convenientemente preparadas, tendo à disposição pontos de água, luz e esgoto. O quadro a seguir quantifica a evolução deste produto naquele país.[5]

Estes números e datas, apesar de desatualizados, mostram as diferenças conceituais e a distância que nos separam de países com o processo de industrialização já sedimentado.

	Unidades Vendidas	Ano	Unidades Tradicionais
Entrega de “moto home” nos EUA	150.000	1963	
	190.000	1964	
	240.000	1967	
	317.000	1968	
	412.000	1969	
	416.000	1971	
	575.000	1972	2.100.000
	600.000	1973	1.800.000

Tabela 2.1 - Entrega de unidades residenciais industrializadas nos EUA

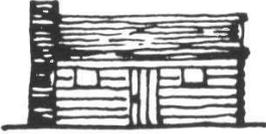
TIPO DE CASA	TRABALHO FORA DA OBRA	TRABALHO NA OBRA
<p>CABANA</p> 		<ul style="list-style-type: none"> -Cortar árvores -Conformar e preparar os troncos -Desbastar pranchas para tetos, pisos e móveis
<p>PRIMEIRAS ESTRUTURAS "BALLOON"</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Serrar a madeira -Produção de ferragens e pintura -Móveis industrializados 	<ul style="list-style-type: none"> -Corte e preparação da madeira para estrutura, etc. -Execução de janelas, portas, escadas, carpintaria -Revestimentos (reboco) -Pintura e acabamentos
<p>ESTRUTURA CONVENCIONAL DE MADEIRA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Serrar a madeira -Produção de ferragens e pintura -Móveis, marcenaria, janelas, portas, placas para divisórias 	<ul style="list-style-type: none"> -Corte e preparação da madeira para estrutura e fechamentos -Instalação dos elementos pré-fabricados -Pintura e acabamento
<p>CASA POR COMPONENTES</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Projeto e fabricação de um grupo de componentes de construção coordenados, para estrutura, fechamentos, unidades de instalações, janelas, portas, divisórias internas, e unidades de armazenamento 	<ul style="list-style-type: none"> -Montagem dos componentes pré-fabricados
<p>"MOTO-HOME" E CASA POR SEÇÕES</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Produção completa de uma casa pré-fabricada com todos os acabamentos e complementos 	

Figura 2.2 – Evolução esquemática da produção industrial de casas [4]

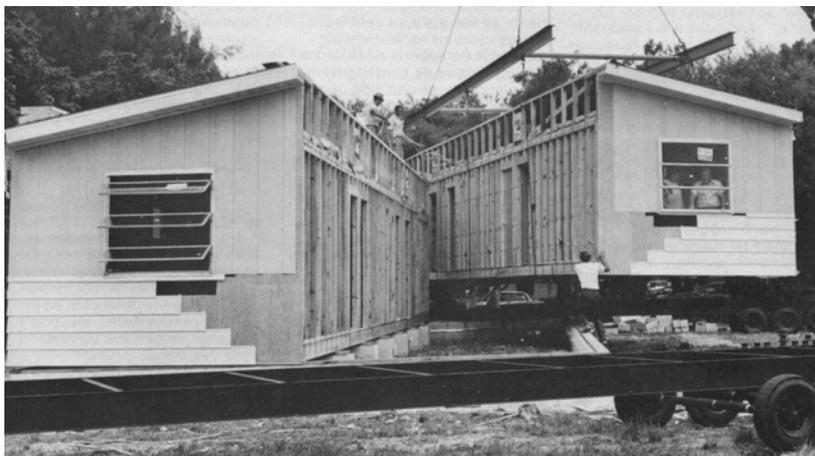


Figura 2.3 – Casa móvel

Quando se aplica a industrialização à produção de obras verticais, percebe-se que as soluções mais usuais são compostas por:

- Sistema estrutural reticulado, independente, com tapamentos externo em painéis (Figura 2.4) e interno em divisórias leves ou
- Sistema composto por estrutura em perfis leves, conformados a frio, galvanizados, denominados "steel frame", com fechamento em placas fixadas a essa estrutura.

Existem ainda soluções onde são montados módulos (Figuras 2.5 e 2.6) compostos por cômodos, ou conjunto deles. São "caixas" estruturadas que uma vez interligadas, compõe um sistema estrutural único.

A fachada, como um invólucro, é executada em alvenaria, tipo "cortina", fixada à estrutura por meio de conectores de cisalhamento ("ties"), formando um revestimento em forma de "pele" [9].

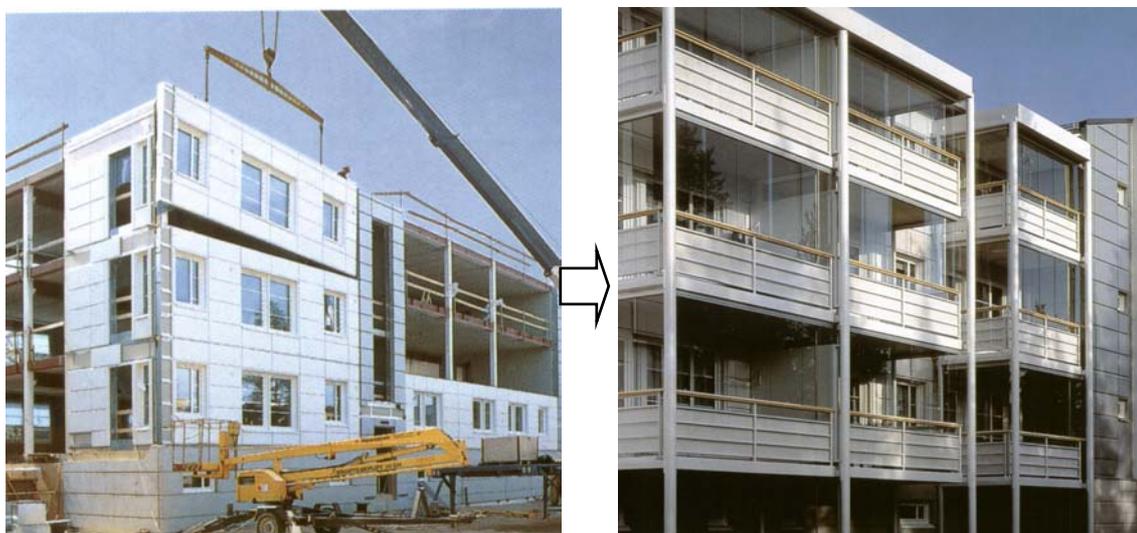


Figura 2.4 – Detalhe montagem de painéis de vedação [12]

Os únicos movimentos restringidos entre a fachada e a estrutura são aqueles provenientes dos deslocamentos horizontais provocados pela ação do vento.

Este tipo de parede transfere as cargas verticais, oriundas de seu peso próprio, diretamente para as fundações, aliviando a estrutura deste carregamento.



Figura 2.5 – Seqüência de uma construção modular [12]



Figura 2.6 – Construção modular, semi industrializada [12]

No Brasil o estágio mais elevado da industrialização da construção de edifícios, até esta data, concentra-se nas obras de padrão elevado. São empreendimentos onde o prazo de execução é o elemento que define os sistemas a serem empregados, justificando o preço inicial mais elevado. São construções para fins comerciais como hotéis ou centros comerciais. O emprego destes materiais ainda não se mostra, por enquanto, viável em obras tipo HIS.

Atualmente são empregados, principalmente, os seguintes sistemas:

- Estrutura metálica executada com perfis soldados (Figura 2.7);
- Lajes com forma metálica incorporada “steel deck” que dispensa o escoramento (Figura 2.8);
- Fachadas em painéis pré-moldados de concreto armado (Figura 2.9), maciços ou não;
- Divisórias internas em placas de gesso acartonado (Figura 2.10);
- Banheiros pré-fabricados, com acabamento interno (Figura 2.11);



Figura 2.7 - Estrutura metálica estabilizada por núcleo de concreto [11]



Figura 2.8- Laje com forma metálica incorporada [11]



Figura 2.9 - Fachada em painel pré-moldado de concreto [11]



Figura 2.10- Sistema divisórias em gesso acartonado [11]



Figura 2.11 - Vista externa e interna do banheiro "pronto" [11]

As instalações hidráulicas, elétricas, elevadores, e os sistemas de controle de energia já possuem um grau de industrialização elevado e são regularmente empregados em maior escala nas obras brasileiras. São serviços delegados a empresas especializadas, que detêm o conhecimento tanto do sistema quanto de sua aplicação. São contratados sob a forma de empreitada, e inclui a responsabilidade pelo desempenho do sistema. Não diferem muito daqueles existentes nos países com maior desenvolvimento da construção civil.

O estudo profundo de cada processo e do seu relacionamento com as demais etapas, anteriores e posteriores, permitirá , a critério de cada projetista/construtor, executar obras diferenciadas sob o ponto de vista formal e similares quanto à metodologia e processos empregados.

Para atender aos objetivos de industrialização, foram estabelecidos premissas iniciais que nortearão o desenvolvimento dos trabalhos:

1. Os painéis terão dimensões iguais às dos vãos, permitindo a fixação direta nas colunas metálicas, não havendo a transferência de seu peso próprio para as vigas.
2. Serão determinadas as peças que trabalharão conjuntamente com a estrutura, estabilizando-a horizontalmente. As diagonais metálicas serão substituídas por painéis maciços de concreto.
3. Internamente serão empregadas divisórias leves de gesso acartonado, largamente utilizado em todo o mundo e em fase de expansão no Brasil.
4. A solução proposta deverá permitir a execução completa de um edifício (da fundação à entrega das chaves) em um prazo máximo de 60 dias, admitindo-se para as primeiras unidades 90 dias.

3

SISTEMA CONSTRUTIVO EM ESTRUTURA METÁLICA

“A industrialização foi-se infiltrando na construção”

(Donald Schon [4])

3.1 Histórico

A utilização de estruturas metálicas na produção de Habitações de Interesse Social encontrou restrições no aumento do custo relativo ao emprego deste sistema. Em primeiro lugar o Brasil não dispunha de uma produção industrial de perfis, sejam laminados ou eletrossoldados. Em segundo a ausência de elementos construtivos

industrializados como lajes, vedações, revestimentos, instalações, etc., que complementassem a edificação, com qualidade e padrão similar à da estrutura metálica, desencorajava o seu uso. Finalmente, e muito importante, a baixa remuneração do operário da construção civil, até a presente data, é considerada uma das barreiras que impedem o avanço da construção industrializada, seja com estrutura metálica ou com componentes com alto grau de industrialização. Isso se deve a uma visão distorcida da produção industrializada que, geralmente, demanda menos qualificação da mão-de-obra do que os processos mais artesanais, dentre os quais situa-se a construção civil convencional. *“Investigações americanas recentes mostram que o nível de especialização necessário dos operários que trabalham em sistemas de construção é inferior ao daqueles empregados na construção tradicional; onde antes era necessário empregar artesãos, agora é possível empregar mão-de-obra não especializadas”*. [4]

O pragmatismo, observado na maioria das tentativas de introdução de sistemas inovadores na área habitacional, tem aumentado o número de reclamações por parte dos usuários, levando ao recrudescimento das relações entre o órgão fomentador (CEF) e os construtores.

A falta de confiança na durabilidade e no desempenho dos sistemas industrializados, associado ao perfil de longo prazo dos financiamentos, são obstáculos a serem transpostos com soluções específicas, oriundas de pesquisa séria e de uma política intensa de conscientização de toda a cadeia envolvida. A atuação das empresas fornecedoras de estrutura metálica, restringindo-se apenas ao seu fornecimento e

deixando para o construtor as soluções complementares, tem contribuído para manutenção da resistência ao uso do aço.

A decisão de “construir em aço” envolve conhecimento de diversas etapas correlacionadas e a escolha de um caminho que elimine as soluções implementadas durante o desenvolvimento dos serviços. O canteiro de obras não é o local apropriado para tomada de decisões mas sim para execução do que foi, ou deveria ser, previamente estabelecido.

Foram diversas as tentativas empregando perfis soldados conjugados com lajes maciças de concreto armado, formando um sistema viga-mista, e vedações em alvenaria de blocos de concreto celular autoclavados. Este último mostrou ser o mais adequado para este uso, sob o ponto de vista de produtividade, precisão dimensional, baixo peso e desperdício pois é facilmente cortado e reaproveitado. Entretanto a sua introdução no mercado simplesmente como elemento substitutivo dos blocos convencionais, causou grande trauma nos construtores que inicialmente o empregaram. Isto ocorreu devido ao grande número de patologias advindas de sua variação volumétrica na presença de umidade e da incompatibilidade das deformações estruturais com os painéis de alvenarias de BCCA, extremamente rígidos, especialmente quando assentados com argamassa colante. Os produtores utilizavam-se de sua baixa densidade como elemento determinante de venda, reduzindo o custo das estruturas e fundações. Com o decorrer dos anos esta provou ser uma técnica falha e comprometedora de uma grande parceria que, devido a estes equívocos mercadológicos, acabou por também comprometer a imagem da estrutura metálica.

O Edifício COHAB Heliópolis [10], construído em 1988 (Figura 3.1), em São Paulo, SP, é um exemplo onde procurou-se aplicar em uma edificação HIS os conceitos geralmente utilizados em prédios de padrão superior, para fins comerciais. Sua característica principal é o emprego de vãos padronizados, relativamente grandes (6,25m) para este tipo de edificação, formando lajes que comportam uma unidade autônoma completa. Neste caso foram empregados perfis, de seção compatível com os esforços, produzidos a partir de tiras de chapas de aço cortadas e soldadas.

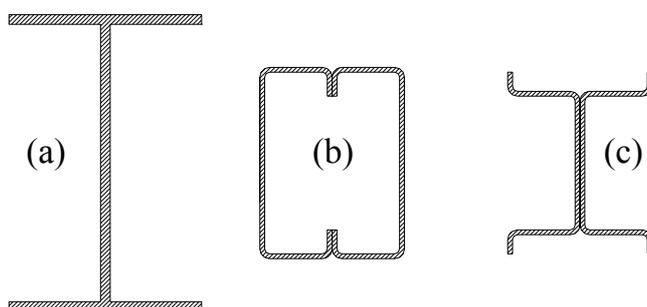


Figura 3.1 – Edifício Cohab Heliópolis, SP [10]

Dois aspectos importantes contribuíram para a criação do estigma de que obras residenciais em estrutura metálica produzem mais patologias que aquelas executadas com concreto armado – o que era facilmente constatado:

- 1- A incompatibilidade entre as interfaces estrutura-alvenaria e
- 2- As deformações verticais absolutas oriundas dos grandes vãos das vigas, impossíveis de serem acompanhadas pelas paredes nelas apoiadas.

A utilização de perfis conformados a frio (Figura 3.2), a partir do dobramento da chapa de aço, previu ser uma opção de baixo custo quando comparada com a de perfis soldados. Sua produção não requer emprego de maquinário sofisticado e possibilita uma grande liberdade na definição da geometria da seção transversal. Este tipo caracteriza-se pelo emprego de chapas de pequena espessura – para que sejam facilmente dobradas – que geram seções transversais menos rígidas. Os vãos estruturais são menores que aqueles dos perfis soldados, adaptando-se mais facilmente à arquitetura de pequenas áreas.



(a)Perfil aberto soldado, (b)Perfil fechado, chapa dobrada, (c) Perfil cartola, chapa dobrada

Figura 3.2 Tipos comuns de perfis metálicos

A evolução deste tipo de estrutura originou uma seção transversal denominada “cartola” [25] (Figura 3.2.c) em função de sua semelhança com este acessório. As pequenas abas laterais dos perfis, além de promoverem o enrijecimento das mesas, minimizam a flambagem localizada. As abas laterais evitam o tombamento das paredes, eliminando o emprego de conectores de cisalhamento (ferros-cabelo). Neste caso a distância entre as abas deve ser a mesma da espessura da alvenaria.

Os primeiros prédios na classe HIV que empregaram este tipo de perfil utilizaram alvenarias convencionais em blocos cerâmicos como elemento de fechamento.

As primeiras edificações de quatro pavimentos (Figura 3.3) foram desenvolvidas dentro de um projeto de pesquisa denominado USITETO [25] e construídas em sistema de mutirão em Santa Luzia, Minas Gerais. A estrutura foi entregue à comunidade já montada e com a laje executada. Essa executou, através do sistema de mutirão, as demais etapas como as vedações, instalações e revestimentos.

Todo o trabalho foi orientado e supervisionado por técnicos. A velocidade de montagem da estrutura metálica atingiu 48 horas, não considerando a execução das lajes. A taxa de aço da estrutura girou em torno de 30 kg/m^2 [26]. A estrutura metálica ficou aparente e recebeu pintura como acabamento.

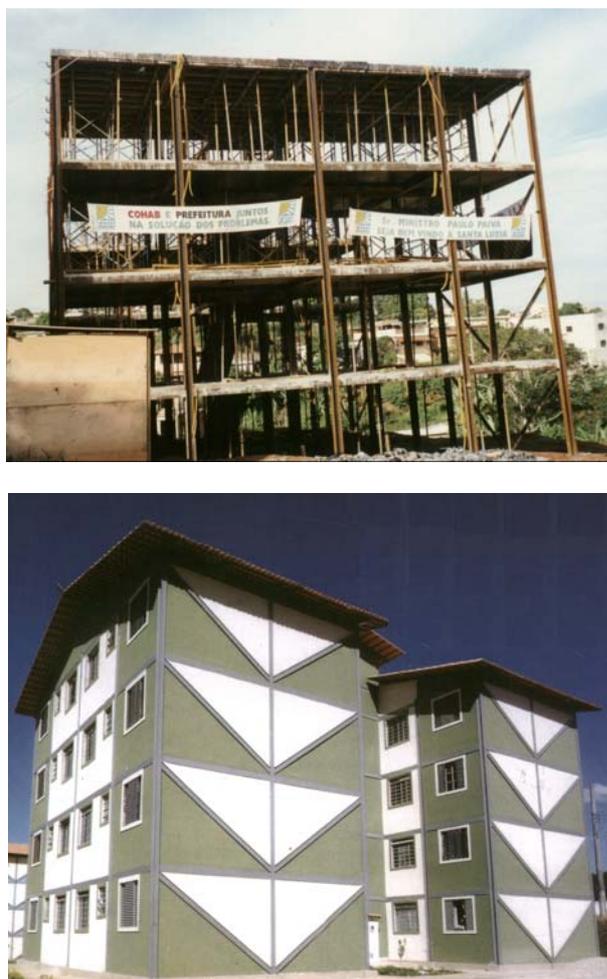


Figura 3.3- Estrutura do edifício COHAB-MG

3.2 Racionalização de processos

Verifica-se que o foco do desenvolvimento ainda permaneceu centrado na solução estrutural e não na produção total do edifício, salientando, neste exemplo, o forte apelo político. Sem condições de oferecer um edifício pronto para morar, a comunidade recebia a estrutura e se ocupava executando os demais serviços faltantes. Esta função mantinha os desempregados temporariamente ocupados, até a conclusão da obra. A qualidade final desta estava condicionada à maior ou menor aptidão do executor dos

serviços. Ao final a população tinha onde morar mas continuava sem condições de subsistência e sem emprego.

A busca por um processo integrado, com alto grau de industrialização, definido como SISTEMA [20], no qual todas as partes apresentem um elevado grau de industrialização, foi a diretriz deste trabalho. Neste contexto vale repetir a conceituação proposta por Sabbatini para evolução dos sistemas construtivos:

- **TÉCNICA CONSTRUTIVA** : *é um conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma construção;*
- **MÉTODO CONSTRUTIVO** : *é um conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregadas na construção de uma parte (sub-sistema ou elemento) de uma edificação;*
- **PROCESSO CONSTRUTIVO** : *é um organizado e bem definido modo de se construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizado na construção da estrutura e das vedações do edifício (invólucro);*
- **SISTEMA CONSTRUTIVO** : *é um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.*

Esquemáticamente estes conceitos podem ser hierarquizados conforme Figura 3.4:

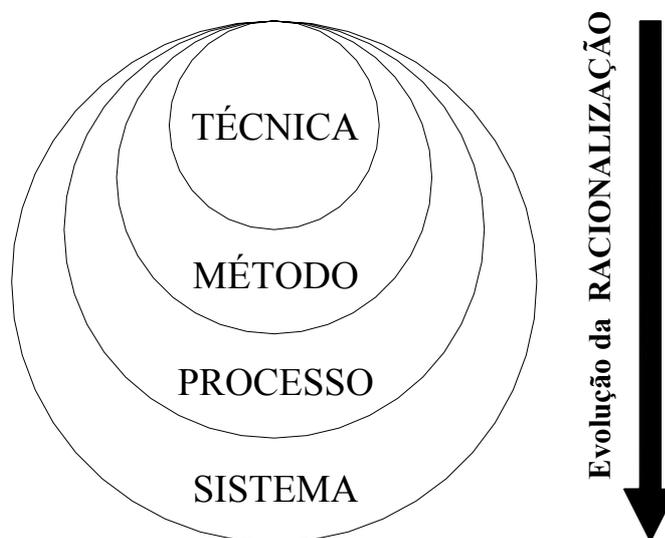


Figura 3.4- Evolução da racionalização [9]

Foram inicialmente estipulados que o sistema construtivo, industrializado, a ser desenvolvido deveria contemplar os seguintes aspectos básicos:

- ✓ Empregar perfis leves produzidos por eletro-fusão das chapas;
- ✓ Ter as fachadas executadas com painéis pré-moldados de concreto armado;
- ✓ Utilizar divisórias internas, industrializadas, em placas de gesso acartonado ou painéis de concreto celular autoclavados;
- ✓ Utilizar sistemas de transporte vertical de cargas, de pequena capacidade;
- ✓ Empregar lajes pré-moldadas ou similar;
- ✓ Garantir o custo, a qualidade e o desempenho final do sistema construtivo.

O objetivo foi criar condições para se executar uma edificação de 4 ou 5 pavimentos, padrão HIS, em um prazo máximo de 60 dias. A economia na redução dos custos administrativos, das perdas materiais e do re-trabalho, deveria gerar uma alternativa

competitiva com o processo construtivo em alvenaria estrutural, largamente difundido e em um estágio já bastante avançado de racionalização, além de consolidado no mercado habitacional.

O custo que representa a estrutura em aço para as edificações convencionais até então desenvolvidas, indicava que a o primeiro obstáculo a ser vencido seria a redução da taxa média de aço estrutural por metro quadrado de construção. Um consumo médio de referência, para edifícios tipo HIS, situa-se na faixa de 25 kg de estrutura por metro quadrado de construção.

Este é um paradigma alicerçado na falta de uma visão global da produção de um edifício ou de todas as etapas ou sub-sistemas que compõe a ciência de construir. Neste contexto a estrutura metálica é apenas um dos elementos e, seguramente, o de maior controle e previsibilidade.

Para que a produção dos edifícios estudados se torne realmente um sistema devem ser desenvolvidos, adequados, testados, comprovados, quantificados (financeiramente) e, principalmente, compatibilizados, todos os demais sub-sistemas da edificação.

Estes podem ser divididos em alguns grupos básicos:

1. Fundações
2. Estrutura
3. Vedações
4. Instalações hidráulicas
5. Instalações sanitárias
6. Instalações Elétricas/Telefônicas

7. Esquadrias
8. Revestimentos
9. Telhado/impermeabilização
10. Pintura

No contexto aqui estudado não estão adequadamente resolvidos, tanto sob o ponto de vista técnico quanto econômico, os grupos: Estrutura e Vedações.

Na estrutura, o sub-sistema mais problemático é o das lajes enquanto nas vedações tanto as internas quanto externas merecem especial atenção.

A grande gama de opções (Tabela 3.1) requer um estudo aprofundado e específico para cada solução.

EDIFÍCIO EM ESTRUTURA METÁLICA	Estrutura aparente ou revestida ?	VEDAÇÃO INTERNA	Placas	Gesso acartonado
			Painel	Concreto celular autoclavado
				Concreto armado
			Blocos	Alvenaria desvinculada [9]
				Alvenaria vinculada [9]
		VEDAÇÃO EXTERNA	Placas	Placas cimentícias
			Painel	Concreto celular autoclavado
				Blocos cerâmicos [14]
				Concreto com reforço de fibra de vidro (GRFC)
				Concreto armado
			Blocos	Alvenaria desvinculada [9]
		Alvenaria vinculada [9]		
		LAJES	Forma metálica	"steel deck"
			Pré-moldada	Extrusada
				Pré-laje treliçadas
				Vigota pré-moldada
			Moldada "in loco"	Escoramento c/ treliça expansível
		Escoramento convencional		

Tabela 3.1 - Variantes das interfaces com a estrutura

Segundo Sabbatini [20]:

“Criar inovações tecnológicas na construção de edifícios pode, para muitos, parecer bastante simples. Basta ter um idéia original, materializá-la no papel (no que se denomina projeto) e aplicá-la na construção de edifício. E pronto, mais uma solução

“sensacional” para antigos problemas estará disponível. Evidentemente, para quem se dispuser a assumir riscos.”

O Brasil é um país que, devido à sua situação social e dimensão continental, não deve gastar tempo e recursos no desenvolvimento de propostas construtivas já pesquisadas e testadas em outros países. Não existem soluções mágicas mas sim adequações, baseadas em experiências previamente adquiridas e testadas, que convenientemente adaptadas, poderão redundar em acelerada economia de tempo de desenvolvimento. Soluções inovadoras requerem um caminhar estruturado, com segmentação definida e comprovada em cada etapa. A proposição de uma metodologia deve ser alicerçada em dados cientificamente comprovados e testados em protótipos antes de serem divulgados como soluções otimizadas. A experiência obtida nas diversas proposições para solução do déficit habitacional não pode ser ignorada. Novas pesquisas devem considerar as falhas e sucessos já obtidos em situações anteriores, considerando as inovações tecnológicas atuais.

4

CONCEPÇÃO DO SISTEMA

Desenvolver tecnicamente, e viabilizar financeiramente, um sistema construtivo em estrutura metálica para habitação de interesse social, em um mercado onde o emprego da alvenaria estrutural, além de consolidado como opção mais econômica para edifícios de até seis pavimentos, ainda prossegue em desenvolvimento, exige otimização e racionalização em todos os níveis. Esta tarefa não está condicionada apenas à competência profissional mas também, e principalmente, à ausência de sistemas

complementares, a um preço compatível, que permitam a conclusão do edifício dentro de um processo industrializado.

O fator custo é determinante para um item que pode representar 20-25% do custo final da obra. Desta forma a busca por uma estrutura econômica, sem comprometer o desempenho dos demais sistemas a ela ligados, conduz o foco inicial das pesquisas para a necessidade de uma redução drástica do consumo de aço e de todos os elementos que complementam o sistema como :

- Proteção contra fogo;
- Rejuntamento dos encontros entre a estrutura e os painéis;
- Elementos de fixação das vedações;
- Proteção contra oxidação da estrutura e das ligações;
- Necessidade de solda de campo;
- Etc.

Buscou-se conhecer e aprimorar o processo de execução de estrutura mista, desenvolvida pela interação entre a viga metálica e a laje de concreto armado, procurando uma disposição das peças, no sistema reticulado, que gerasse o menor consumo de aço.

Utilizando-se de projetos disponibilizados por construtoras que atuam não só no mercado de Belo Horizonte e Minas Gerais mas também em outros estados, iniciou-se a busca pela solução mais eficiente tanto do ponto de vista estrutural quanto de custo.

O sistema caracteriza-se pela inserção das lajes no espaço compreendido entre os flanges e almas , ou mesas e almas, das vigas (Figura 4.1). Resulta em uma superfície

plana, assemelhada às estruturas denominadas lajes cogumelos. Neste caso os capitéis, elementos responsáveis pela transferência dos esforços cortantes para as colunas, são substituídos pelas ligações das vigas com as colunas.

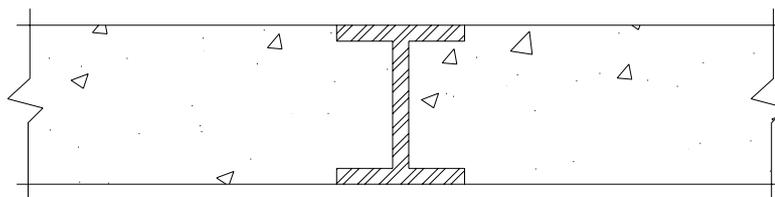


Figura 4.1 – Posição da laje em relação à viga

Sistema similar foi aplicado na Áustria, em Viena, no edifício denominado “*Millennium Tower*” [24] onde foram empregadas vigas com seção “T” invertidas e totalmente embutidas nas lajes.

Sob o ponto de vista da arquitetura a construção com “*slim floor*” é atrativa pelos seguintes aspectos [21] :

- Permite *layout* integrado para dutos de ventilação e serviços;
- Permite, em geral, a redução da altura entre pavimentos;
- Gera uma superfície de teto lisa , permitindo visualizar a estrutura e possibilitando a troca de posição das paredes internas.

O sistema “*slim floor*” pode ser desenvolvido a partir de diversas combinações [21] de seções de vigas e tipos de lajes conforme mostram as figuras 4.2 a 4.4.

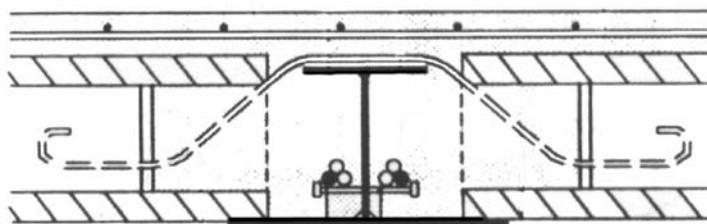


Figura 4.2 – IFB Viga integrada à laje (“*integrated floor beam*”)

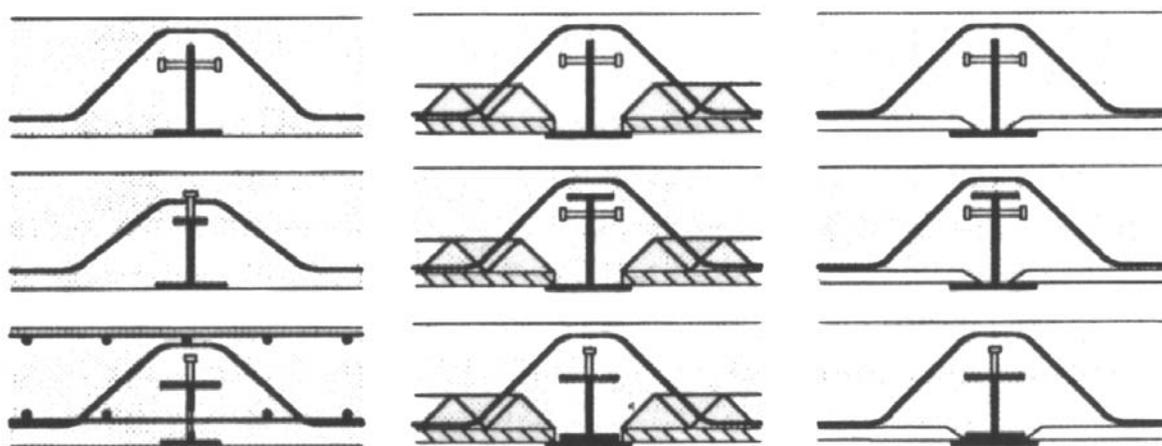


Figura 4.3 – Exemplos de sistema S+V (“*Stahl & Verbundbau*”)

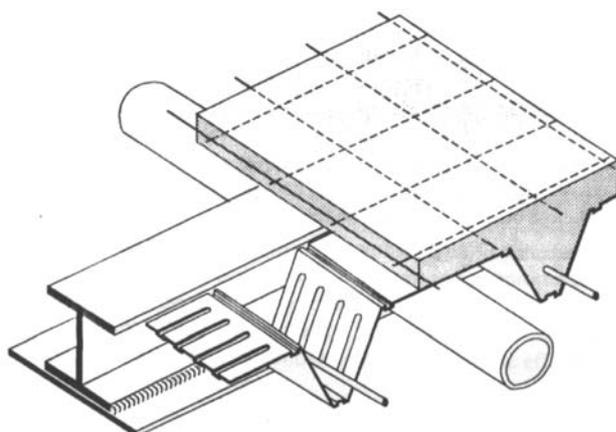


Figura 4.4 – Sistema com forma metálica incorporada (“*Fast track slim floor*”)

4.1 Resistência ao fogo

A ausência de vigas aparentes, além do aspecto estético e da facilidade na execução das vedações, aumenta a segurança da estrutura em situações de incêndio uma vez que o perímetro exposto é bastante reduzido. Esta solução reduz o “Fator de Massividade” (F) que é a relação entre o perímetro da peça exposto ao fogo e a área de sua seção transversal [23].

Comparando o modelo tradicional de laje apoiada sobre viga e o proposto neste trabalho (Figura 4.5), teremos:

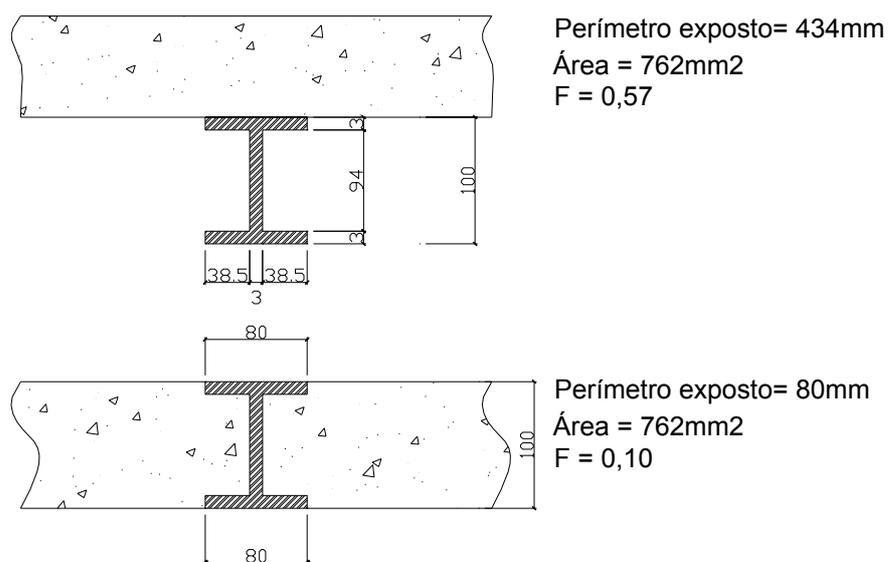


Figura 4.5-Fator de Massividade

Como a variação da temperatura ($\Delta\theta_a$) do elemento estrutural, sobre ação do fogo, é definida pela seguinte equação:

$$\Delta\theta_a = (F \cdot q \cdot \Delta t) / (c_a \cdot \rho_a)$$

onde: $\Delta\theta_a$ = variação de temperatura no elemento estrutural

F = Fator de massividade

q = Fluxo de calor por unidade de área (W/m^2)

c_a = Calor específico do aço ($J/kg\ ^\circ C$)

ρ_a = Massa específica do aço (kg/m^3)

tem-se que em caso de incêndio a peça, na situação proposta, terá uma resistência ao fogo superior em 5.7 ($=0.57/0.10$) vezes à do sistema tradicional.

4.2 Ligações

O emprego de ligações aparafusadas (Figura 4.6) e pequena altura das vigas (10cm) conduziu a um sistema de fixação em linha, pela impossibilidade de posicionamento dos parafusos segundo uma vertical. As vigas foram posicionadas, nesta fase inicial, segundo o eixo dos pilares, mesmo aquelas situadas no perímetro externo (Figura 4.7). Esta opção será alterada nos projetos futuros, evitando a formação de uma junta larga entre a viga e o painel de vedação externo.

As fundações, em blocos e cintas de concreto armado (Figura 4.8), foram dimensionadas e executadas pelo próprio fabricante dos painéis pré-moldados.

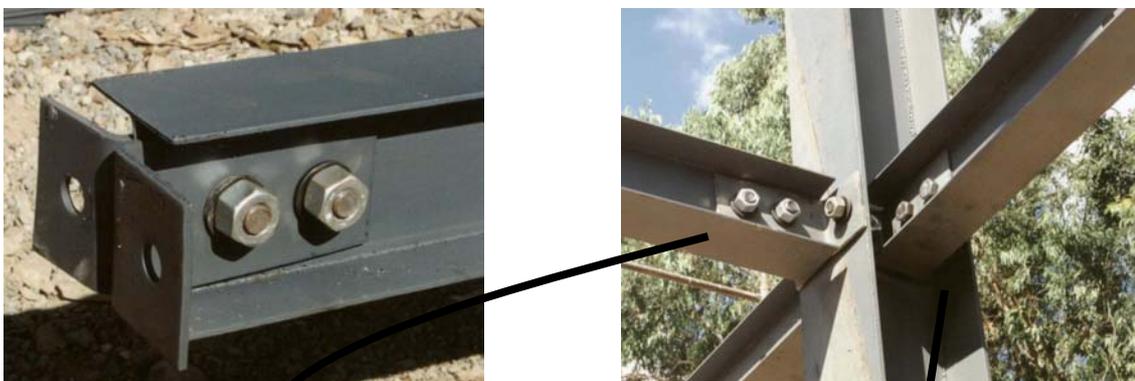


Figura 4.6 – Detalhe das ligações



Figura 4.7 – Ligação viga-pilar (vista superior)



Figura 4.8 – Vista das fundações

Foram empregadas soluções convencionais e alternativas para avaliação de desempenho e aprimoramento do sistema construtivo, principalmente no item referente à locação e fixação da estrutura às bases das fundações.

A montagem tradicional das estruturas metálicas encontra seu primeiro obstáculo na fixação das placas de base dos pilares aos blocos de fundações. Geralmente os chumbadores, elementos de fixação das colunas às fundações, são inseridos nos blocos durante a concretagem ou, alternativamente, são fixados juntamente com a estrutura de base. No primeiro caso as falhas ocorrem durante a concretagem, alterando o posicionamento dos parafusos seja por má fixação ou pelo ato de lançamento e vibração do concreto. No segundo caso, quando estes são grauteados após o posicionamento das colunas, há a necessidade de uma estabilização provisória das colunas até o graute atingir uma resistência mínima. Em todos os dois casos citados há um re-trabalho de locação seja para correção do posicionamento dos chumbadores seja no escoramento das colunas.

Visando avaliar novas alternativas de racionalização, os pilares foram fixados de duas formas (Figura 4.9) aos blocos de fundação:

- a) Convencional: barras de aço em forma de “bengala” com rosca na extremidade reta superior, posicionadas junto com a armadura dos blocos numa fase anterior à concretagem.
- b) Alternativo: sistema HY-150 (Hilti) que consistiu na execução de furos nos blocos, simultaneamente com a montagem da estrutura. Foram utilizadas serras tipo copo para abertura dos furos e fixação de barras de aço especial, retas com

rosca ao longo de toda a extensão, fixadas com resina química com tempo de endurecimento de 45 minutos.



(a) Chumbador tipo “bengala”



(b) Chumbador Hilti

Figura 4.9 – Fixação convencional X alternativa

Tendo a concepção do projeto previsto o emprego de painéis pré-moldados de concreto armado, elemento este com resistência bastante superior às paredes tradicionais, avaliou-se o seu desempenho como elemento de contraventamento. Foram utilizadas duas opções para estabilização da estrutura (Figura 4.10):

- a) Convencional : em forma de “X” utilizando perfis metálicos iguais aos empregados nas vigas (VE 100x6) posicionados internamente na divisória entre as unidades.
- b) Alternativo : Painel pré-moldado, maciço, em concreto armado com agregado leve de argila expandida (cinasita®), posicionados nos vãos externos sem abertura. Esta posição é ortogonal à do sistema convencional.



(a) Convencional



(b) Painel pré-moldado

Figura 4.10 – Contraventamento convencional X alternativo

Como o emprego de lajes industrializadas era uma das metas a ser atingida, foram executadas apenas as lajes maciças do primeiro pavimento.

O resultado dos testes realizados nesta primeira fase forneceram subsídios para dimensionamento e detalhamento de um sistema com maior grau de industrialização seja através de pré-lajes ou painéis alveolares protendidos.

Foi utilizado um sistema de fôrmas compostas por quadros com moldura metálica e fechamento em compensado resinado (Figura 4.11).



Figura 4.11 – Forma das lajes

O escoramento (Figura 4.12) emprega o sistema “*drop-head*” [22] que permite a manutenção de apenas uma faixa central de escoramento, após o período de endurecimento do concreto.

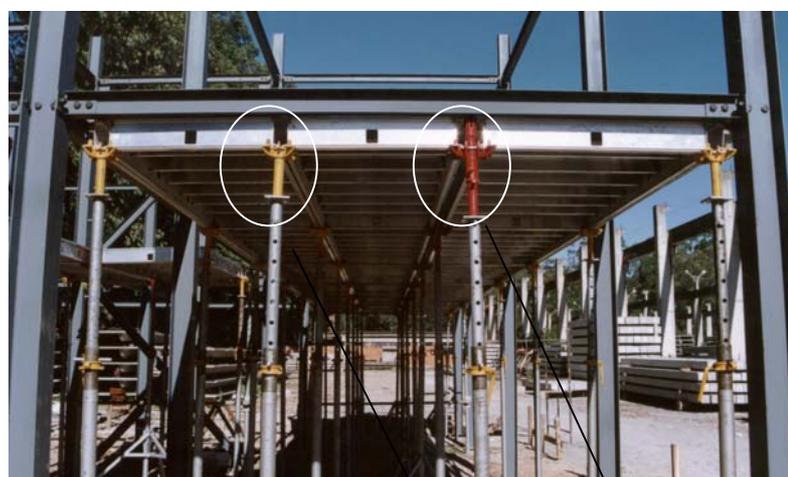


Figura 4.12 – Escoramento removível e “*drop head*”

Foram previstos furos nas vigas para permitir uma continuidade “semi-articulada” entre lajes adjacentes (Figura 4.13.a). No perímetro externo a mesma ferragem foi fixada à viga por meio de ponto de solda (Figura 4.13.b). Salienta-se que uma das metas é o não

emprego de solda de campo. Todavia até a data dos testes não se encontrou uma alternativa viável para este tipo de fixação. Uma solução alternativa poderá ser a incorporação à parte interna da mesa inferior das vigas de conectores que evitem o deslocamento da laje. Esta solução deverá ser executada durante o processamento das peças, na fábrica de estruturas.

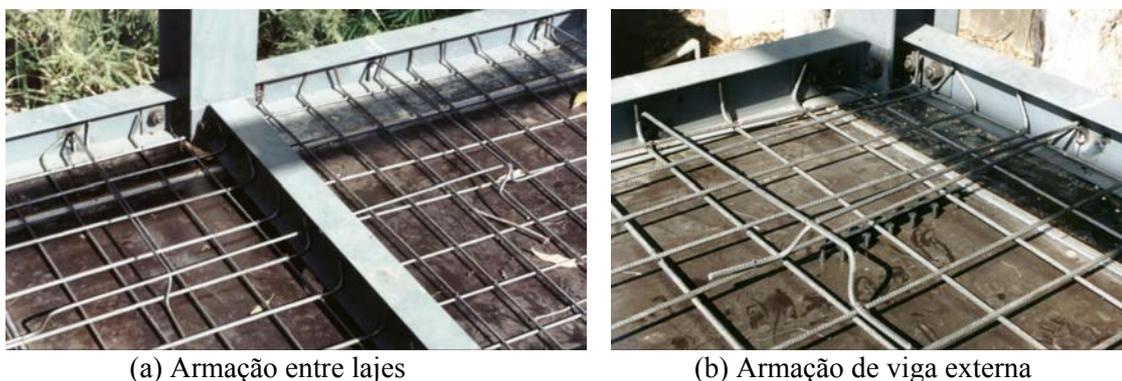


Figura 4.13 – Ligação laje-laje e laje-viga externa

O emprego de painéis pre-moldados nas fachadas mantém a produtividade (Figura 4.14) elevada e em sintonia com o sistema estrutural utilizado tanto sob o aspecto de velocidade quanto precisão, qualidade e de industrialização.

A fixação dos painéis à estrutura se faz por meio de conectores que permitem certo grau de mobilidade, exceto aqueles que trabalharão como elemento estabilizante que têm qualquer movimento impedido, tanto vertical quanto horizontal.



Figura 4.14- Montagem dos painéis

O aspecto interno da obra (Figura 4.15) mostra uma superfície contínua, sem as interrupções usuais propiciadas pela presença das vigas. Além de melhorar o desempenho da estrutura sob a ação do fogo, permite um melhor aproveitamento interno, facilitando o emprego de divisórias. Reduz também o seu custo devido à ausência de recortes e espalhas.



Figura 4.15 – Vista interna do protótipo



Figura 4.16 – Vista externa do protótipo

A seqüência de montagem da estrutura (Figuras 4.17 e 4.18) e o baixo peso das peças, demonstra a praticidade do sistema estudado.



Figura 4.17 – Montagem da estrutura



Figura 4.18 – Vista geral da estrutura com forma já executada

Durante a fase de montagem do protótipo puderam ser constatadas algumas das premissas deste trabalho.

O emprego de chumbadores químicos, instalados durante a fase de locação da estrutura, aumenta a produtividade e elimina as possibilidades de erros de posicionamento, comuns no processo convencional com barras tipo “bengala”.

A estrutura, composta por perfis leves e ligações aparafusadas, é de fácil e rápida montagem, não necessitando de mão-de-obra qualificada. Este aspecto é relevante na verificação das ligações – aperto dos parafusos.

A execução das lajes moldadas no local, é agilizada pela redução dos recortes nas formas, e pelo fácil cimbramento e desforma. A referência para nivelamento das formas é o funda das vigas, que são verificados na montagem da estrutura.

O nivelamento do concreto, durante a fase de moldagem das lajes, é facilitado pela altura constante das vigas, que atuam como “mestras” no sarrafeamento do concreto.

Verificou-se que, como pretendido, não há repetição de etapas de verificação como nivelamento, prumo e esquadro, o que eleva o grau de racionalização e produtividade do sistema.

5

SISTEMA ESTRUTURAL METÁLICO EM LAJE PLANA

O desenvolvimento do sistema estrutural seguiu uma trajetória complexa, extensa e, algumas vezes, tortuosa. Os passos seguidos serão transcritos, de forma resumida, a seguir, para que se possa entender a evolução de todo o processo .

5.1 Primeira Etapa

Os estudos foram desenvolvidos tendo por base um projeto arquitetônico de um edifício

- Perfis eletrossoldados, aço USI-SAC-300, $f_y = 300\text{MPa}$, $f_u = 410\text{MPa}$
- Lajes em concreto armado, moldadas “in loco”, com altura = 8cm, $f_{ck} = 20\text{MPa}$
- Divisórias internas em gesso acartonado, com peso = $0,40\text{ KN/m}^2$ de divisória
- Fechamento externo em painéis pré-moldados de concreto armado, com peso = $2,5\text{KN/m}^2$, apoiados diretamente nos pilares
- Sobrecarga de utilização = $1,5\text{KN/m}^2$, em todas as áreas
- Revestimento dos pisos/tetos = $0,5\text{ KN/m}^2$
- Barras de aço para concreto armado, soldados de topo à mesa superior para assegurar contenção lateral contínua
- Norma de cálculo adotada AISC LRFD [2]
- Perfis utilizados nos dimensionamentos conforme Tabela 5.1

PERFIL	d (mm)	bf (mm)	tf (mm)	tw (mm)
VE 150x11	150	100	4,75	3,00
VE 200x14	200	125	4,75	3,00
VE 250x19	250	125	4,75	4,75
VE 300x26	300	150	6,35	4,75
CE 150x20	150	150	6,35	4,75
CE 200x34	200	200	8,00	6,35

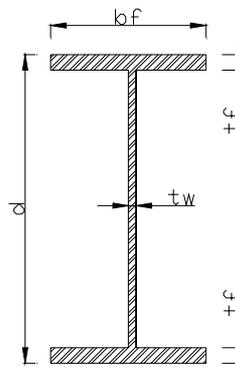


Tabela 5.1 – Geometria dos perfis

Neste estudo os painéis apoiaram-se diretamente nas vigas. Como justificativa para considerá-los, alternativamente, apoiando diretamente nos pilares, podemos estimar os seguintes valores típicos de carregamentos:

- Carga do painel maciço (espessura de 10cm e altura de 290cm) = $7,25\text{KN/m}$

- Reação aproximada de uma laje tipo (peso próprio + revestimento) = 4,50KN/m

Estes valores mostram que o peso dos painéis representam cerca de 60% da carga permanente atuante nas vigas, caso nelas se apoiem. **Eliminar esta parcela é o primeiro passo para se obter uma redução no consumo final de aço estrutural.**

Foram analisadas 3 soluções estruturais (figuras 5.2 a 5.4), variando-se a posição dos pilares e as seções de algumas vigas :

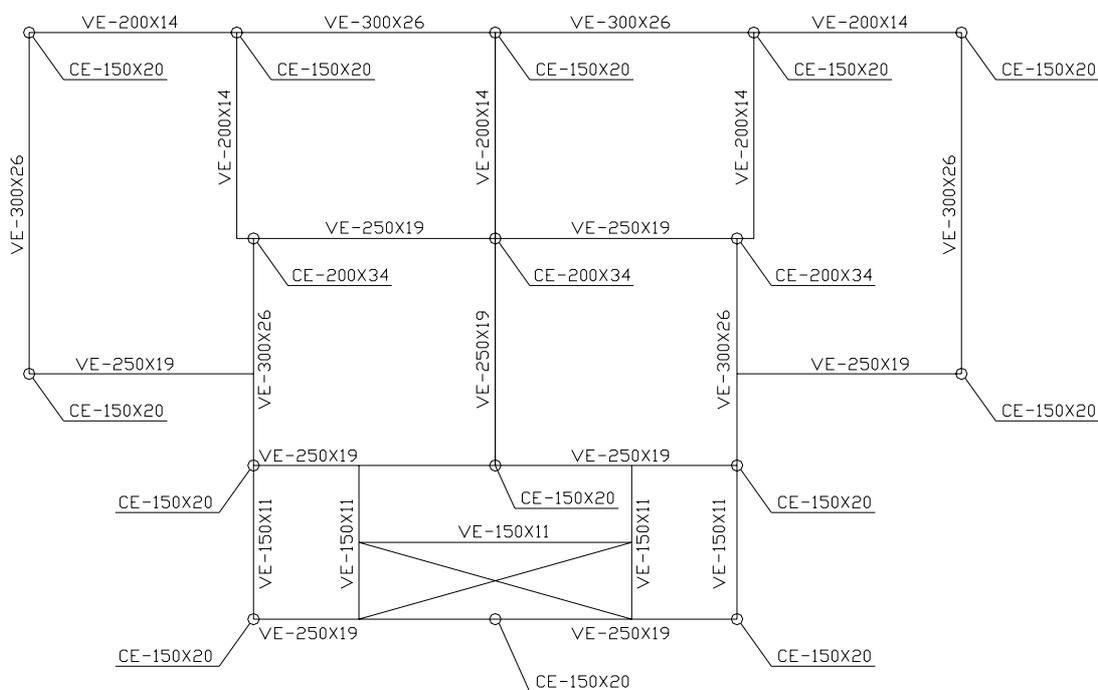


Figura 5.2 - Estudo 1

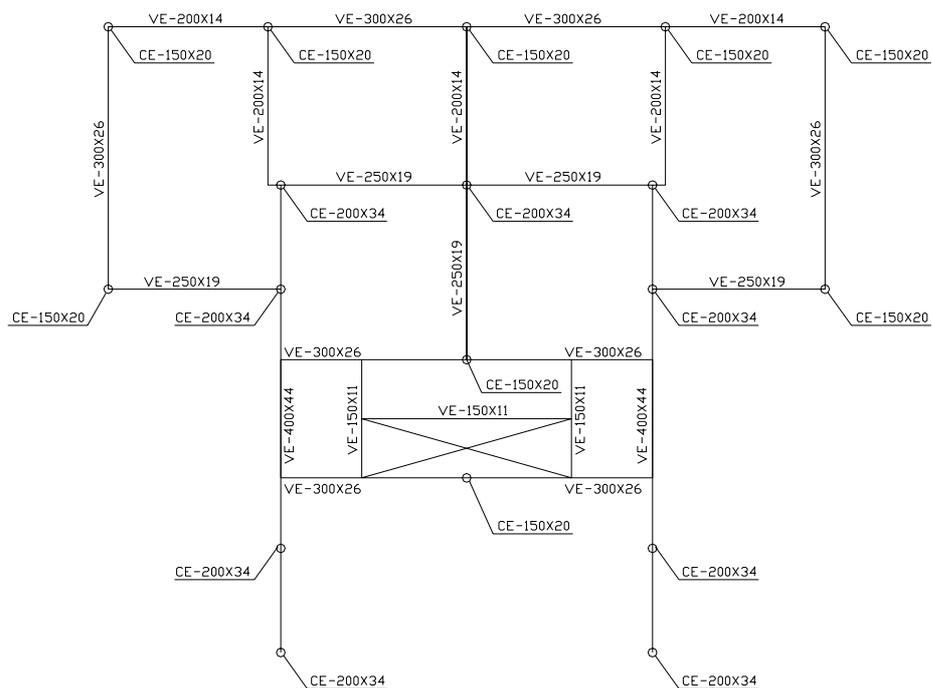


Figura 5.3 – Estudo 2

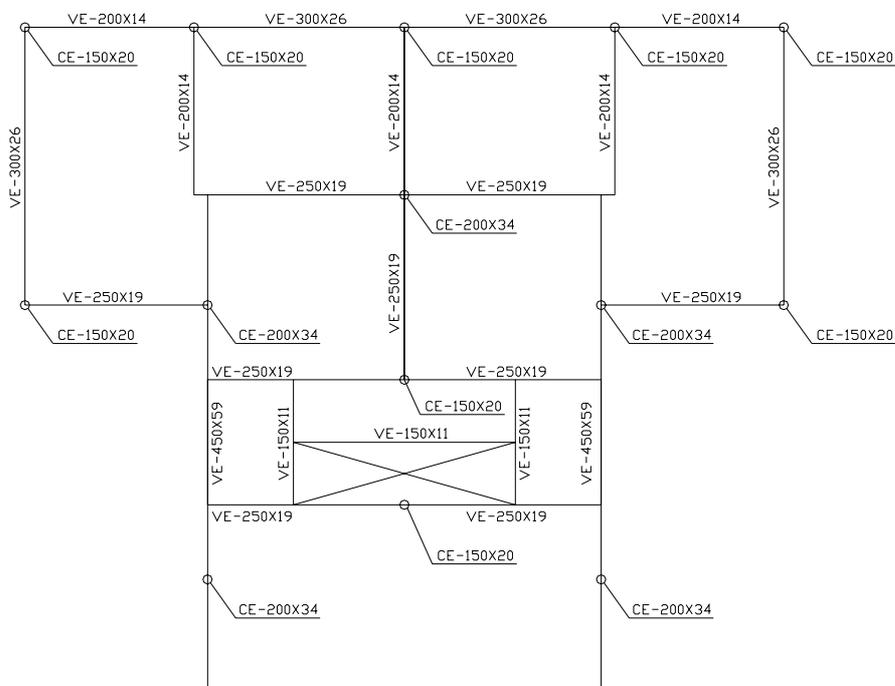


Figura 5.4 – Estudo 3

Os resultados, para as diversas opções, geraram os seguintes valores de taxas de estrutura por metro quadrado de construção:

PEÇAS	ESTUDO 1	ESTUDO 2	ESTUDO 3
Vigas (kg)	12.800	15.200	16.000
Pilares (kg)	6.000	6.000	5.500
(n° Pilares)	(26)	(26)	(22)
Total (kg)	18.800	21.200	21.500
Taxa (kg/m ²)	18,5	20,8	21,1

Tabela 5.2 – Resultados dos estudos

Para se obter uma menor taxa de estrutura metálica adotaram-se diversos tipos de perfis tanto para as vigas quanto para os pilares, proporcionais aos esforços atuantes. Este procedimento propiciou uma redução no peso da estrutura mas sob a visão de industrialização gerou uma grande variação de peças detalhes de fabricação e montagem:

- ✓ Diversas seções de vigas e pilares
- ✓ Grande variedade de ligações, posições de furos, dimensões das chapas
- ✓ Variados tipos e alturas e arremates das vedações

Após a análise e discussão dos resultados constatou-se:

- ✓ Grande dificuldade em reduzir o peso médio da estrutura empregando o sistema viga-laje, convencional. É necessário o emprego de diversas seções de vigas e colunas.

- ✓ O peso dos pilares, separadamente das vigas, foi constante para as 3 opções estudadas, independentemente do vão médio das vigas. Há pouca variação da carga vertical, quando não se altera a altura das lajes de concreto.
- ✓ O emprego de vedações externas apoiadas diretamente nas vigas elevou os esforços solicitantes e o peso das vigas.
- ✓ A presença de vigas sob as lajes dificulta a execução das vedações internas e externas, exigindo detalhes adicionais de efeito estético e para proteção contra incêndio.

Foi realizado ainda um ESTUDO 4 (Figura 5.5), considerando o fechamento externo com pequenos painéis de concreto armado, com 10 cm de espessura, apoiando diretamente nas vigas. Esta solução representa um carregamento direto nas vigas externas de 725kg/m enquanto a reação média das lajes, apenas com a carga permanente, é de aproximadamente 450 kg/m. Observa-se que o painel representa cerca de 60% da carga permanente suportada pelas vigas externas. Desta forma a melhor opção é o emprego de painéis com dimensões que permitam a sua fixação direta nos pilares, sem apoio nas vigas.

Este estudo serviu apenas para comprovar o aumento da taxa de estrutura.

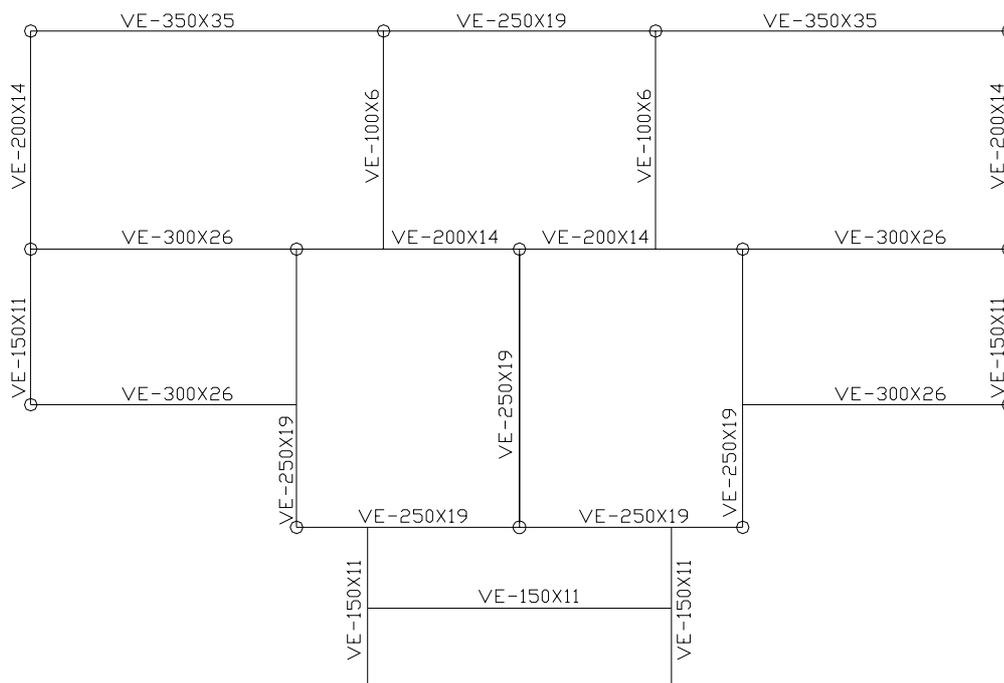


Figura 5.5 – Estudo 4 – apenas vigamento

O sistema estrutural foi alterado para o modelo de grelha abrangendo vãos maiores (uma unidade residencial) sem utilização de pilares internos, conforme Figura 5.6. Abandonou-se o projeto arquitetônico inicialmente estudado procurando encontrar uma melhor solução para um módulo hipotético de 650cmx850cm resultando em um apartamento de aproximadamente 55m². Esta área é usualmente utilizada para produzir uma unidade habitacional de 3 quartos, dentro dos conceitos da HIS.

Vislumbrou-se a possibilidade de potencializar a resistência à torção das vigas, confinando-as dentro das lajes e restringindo seus deslocamentos laterais. Esperava-se obter uma performance melhor do modelo estrutural proposto.

Foram realizados estudos comparativos com diversas geometrias e espessuras de lajes, combinando peso-próprio + sobrecarga. Os resultados dos deslocamentos verticais obtidos são apresentados nos ESTUDOS 5 a 9, a seguir.

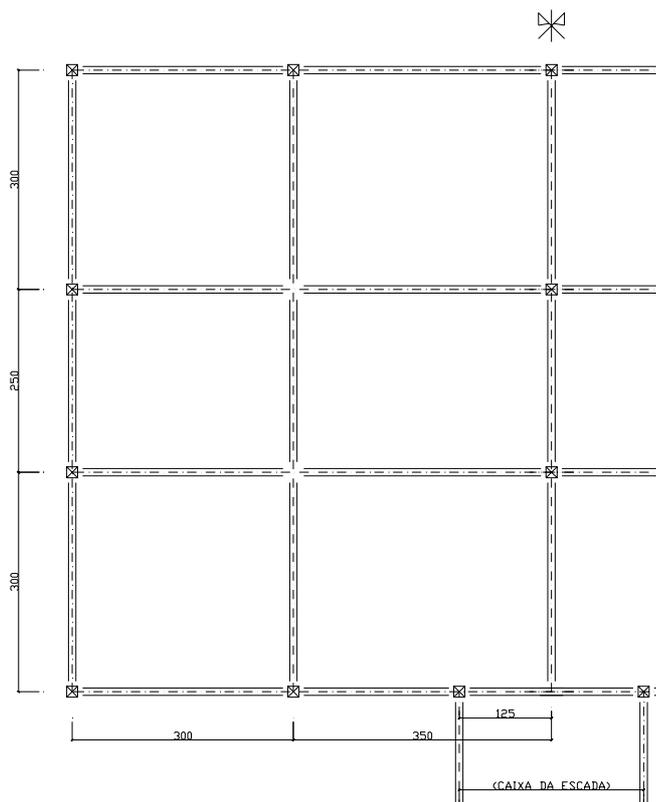


Figura 5.6 – Esquema básico da estrutura analisada

Para todos os modelos estudados foram considerados constantes as seguintes seções dos pilares:

- Pilares centrais CE 200x34
- Pilares externos CE 150x20
- Total 8.540 kg

a) ESTUDO 5

- Utilizadas vigas VE 100x6 (5.520 kg),
- Lajes (10cm) embutidas entre vigas, sem continuidade entre elas.

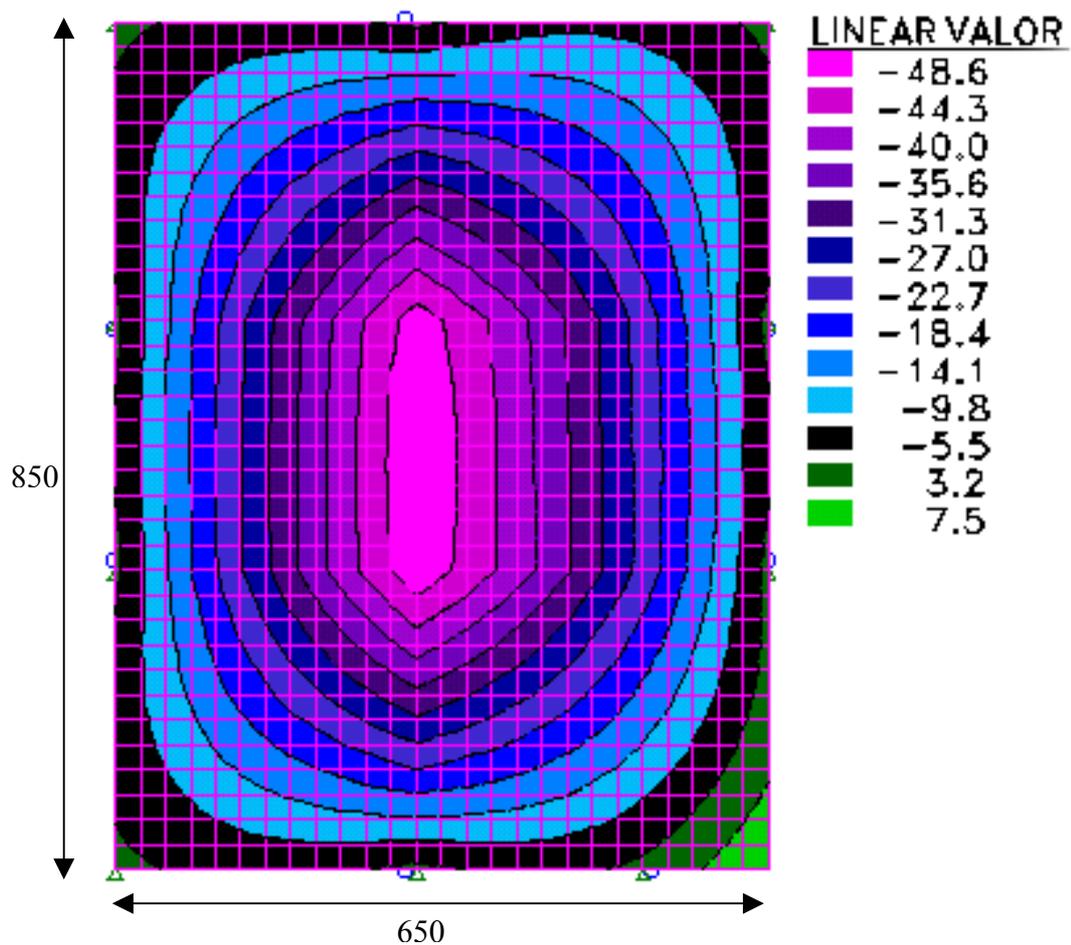
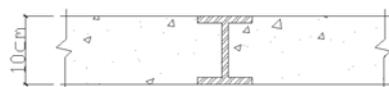


Figura 5.7 – Deslocamentos verticais (mm) do ESTUDO 5

b) ESTUDO 6

- Utilizadas vigas VE 100x6 (5.520 kg),
- Lajes (10cm) apoiadas sobre as vigas (mista) existindo continuidade .

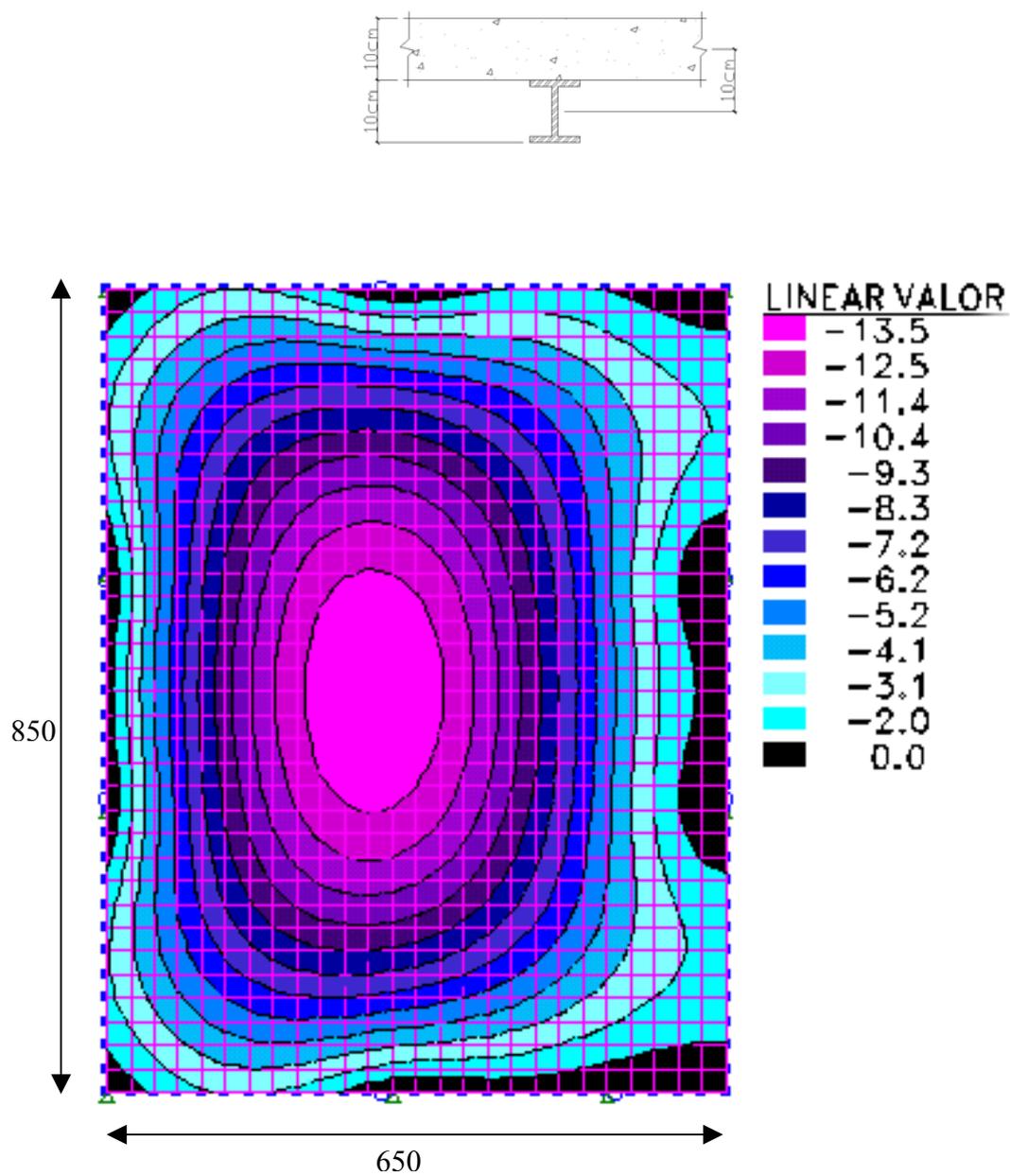


Figura 5.8 – Deslocamentos verticais (mm) do ESTUDO 6

c) ESTUDO 7

- Utilizadas vigas VE 100x6 (5.520 kg),
- Lajes (8cm) existindo continuidade.

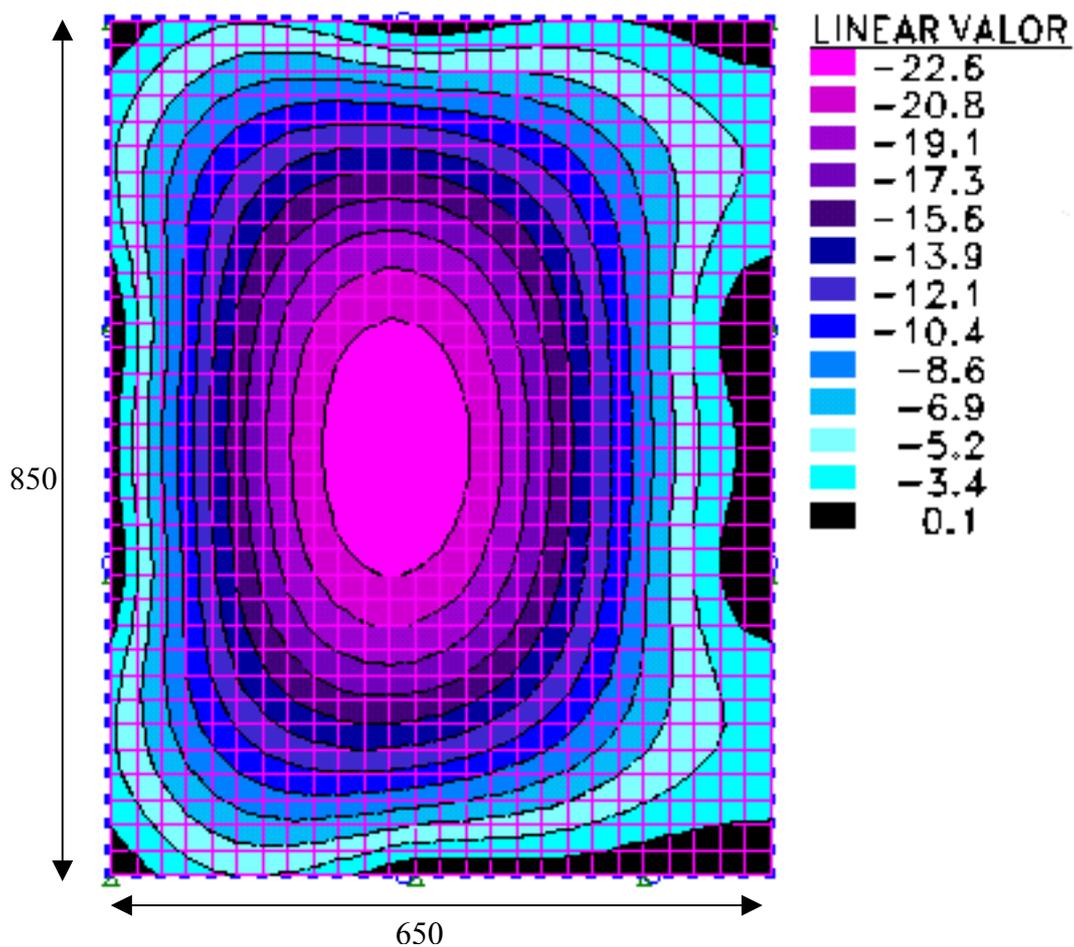
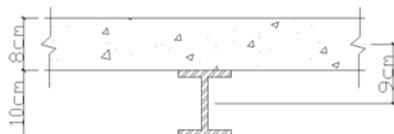


Figura 5.9 – Deslocamentos verticais (mm) do ESTUDO 7

d) ESTUDO 8

- Utilizadas vigas VE 150x11 (8.136 kg),
- Lajes (15cm) sem continuidade entre elas.

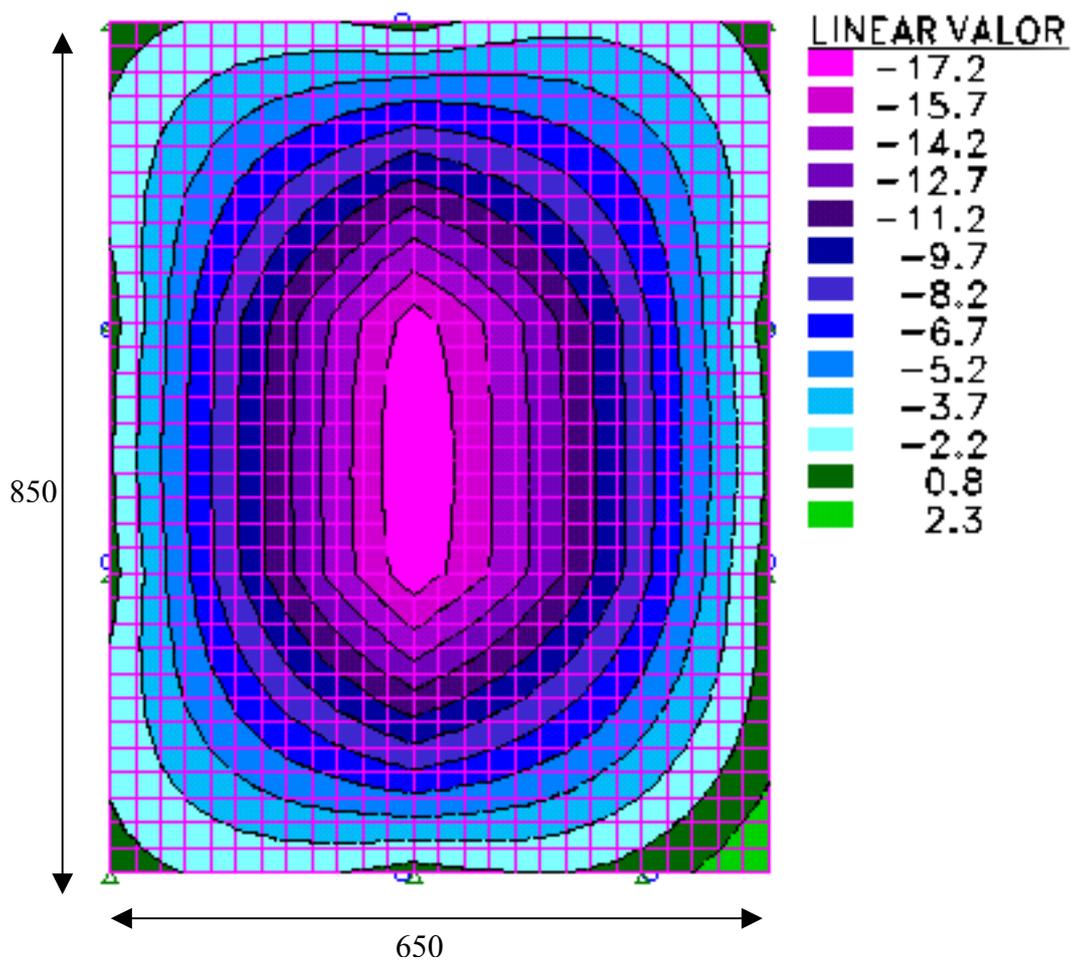


Figura 5.10 – Deslocamentos verticais (mm) do ESTUDO 8

e) ESTUDO 9

- Utilizadas vigas VE 100x6 (8.136 kg),
- Lajes (8cm) existindo continuidade.

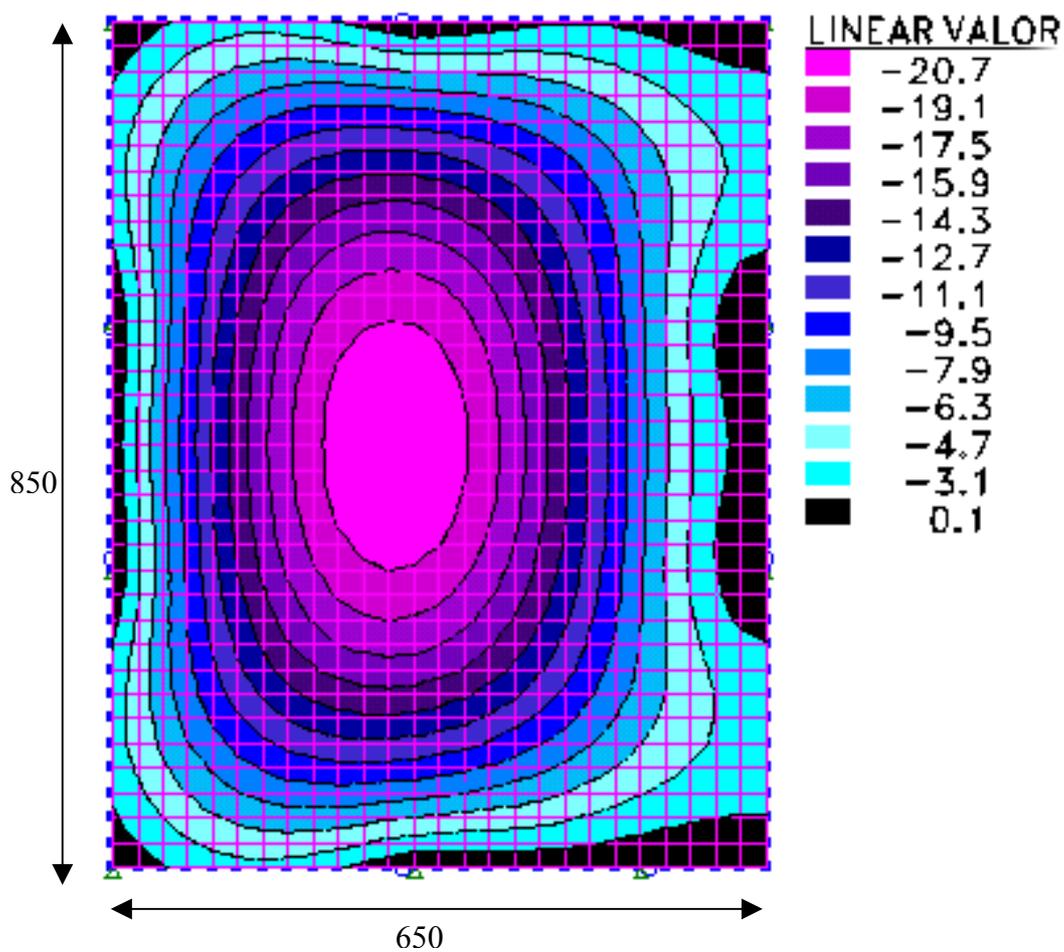
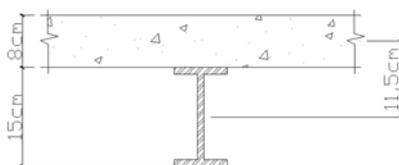


Figura 5.11 – Deslocamentos verticais (mm) do ESTUDO 9

Os resultados mostraram que as soluções com as vigas inseridas nas lajes comportam-se aproximadamente como uma única laje. Isto se deve à pouca rigidez das vigas em relação às lajes adjacentes, com mesma altura e seção plena.

Todavia a presença das vigas intermediárias é de suma importância não só para resistir aos esforços cortantes no entorno dos pilares mas também como:

- elemento estabilizante dos pilares durante a fase de montagem da estrutura
- auxiliar na concretagem das lajes funcionando como mestras (guias) durante o sarrafeamento e desempenho do concreto.

Concluiu-se que o sistema com as lajes inseridas nas vigas oferece uma melhor eficiência estrutural quando os vãos são pequenos, na faixa de 2.5 a 3.5m, válido para altura de laje de 10cm.

Ao utilizar apenas uma seção de perfil para as vigas e outra para os pilares, o sistema estudado oferece as seguintes vantagens:

- redução dos custos de produção através da padronização das seções e redução das perdas com cortes;
- facilidade de montagem;
- redução da probabilidade de erros decorrentes de troca de peças ou seções.

Os pilares externos apesar de receberem menor carregamento oriundo das vigas, suportaram diretamente o peso dos painéis e, em alguns casos, as cargas horizontais devido à ação do vento sobre a edificação.

5.2 Segunda Etapa

Constatado que a solução de embutir as lajes entre as mesas das vigas conduzia à redução do peso da estrutura, empregaram-se as técnicas obtidas em um projeto HIS com a arquitetura e estrutura mostradas nas Figuras 5.12 e 5.13.

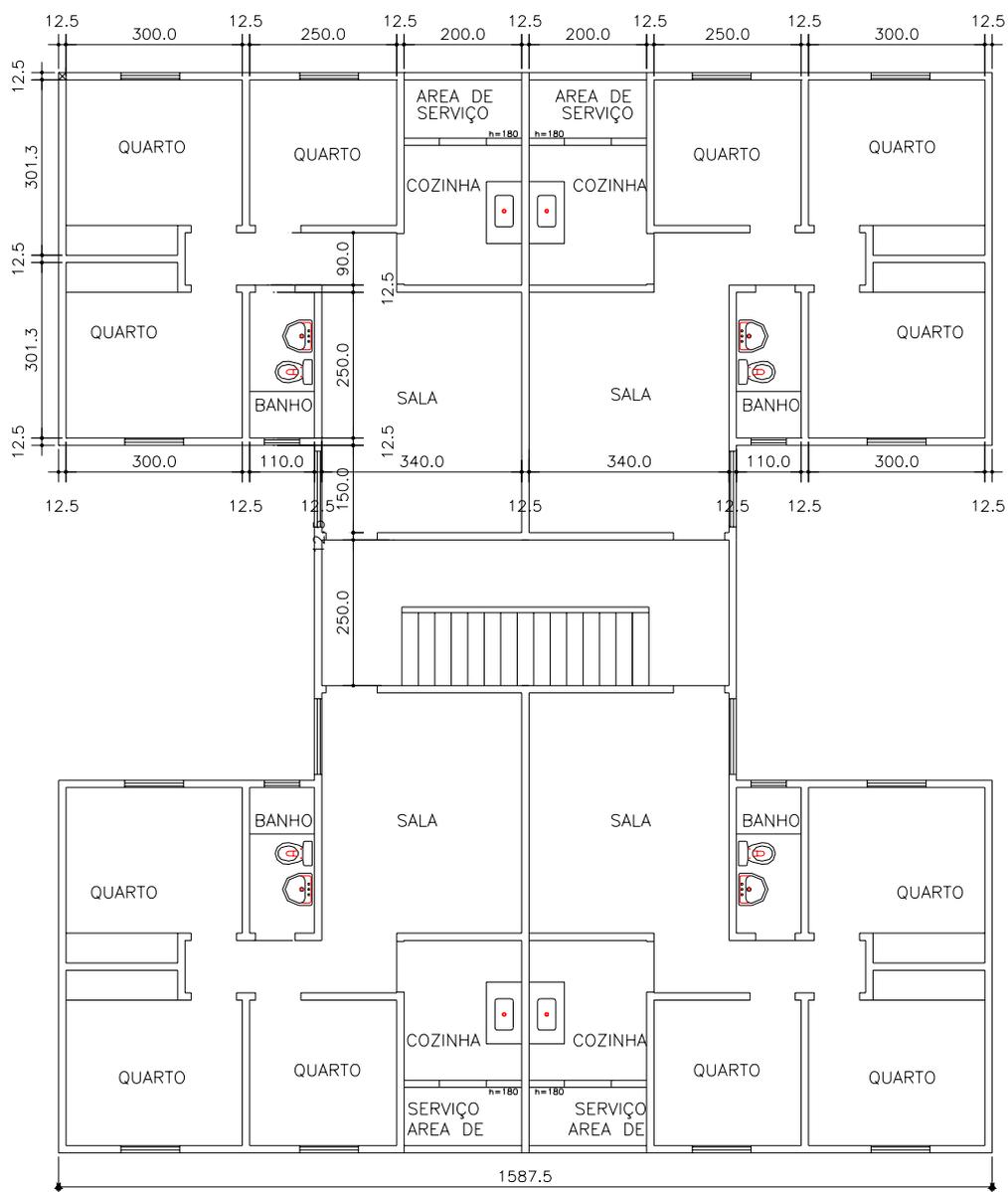


Figura 5.12- Arquitetura

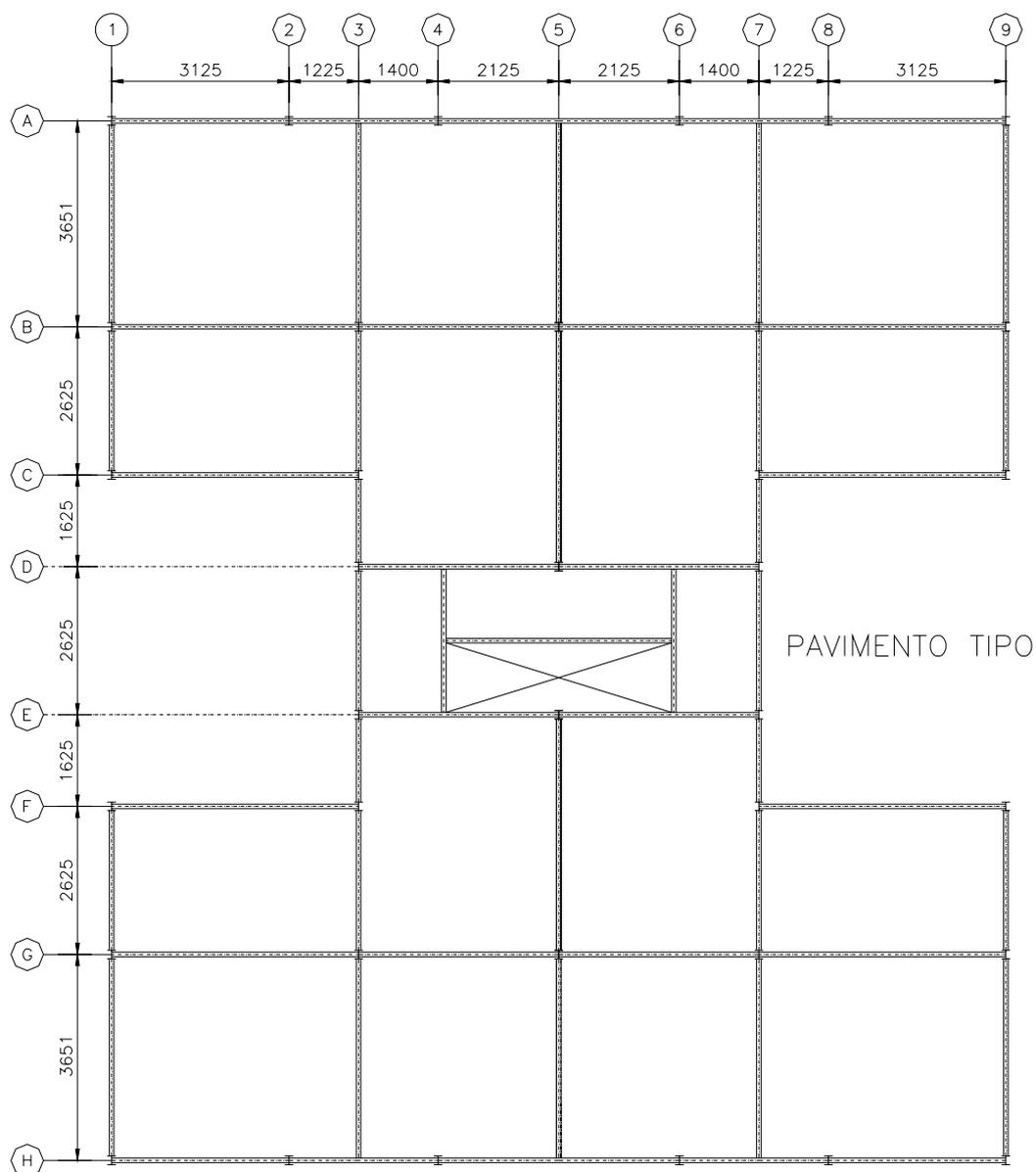


Figura 5.13 – Estrutura

A análise estrutural considerou uma majoração nas cargas permanentes de 20% e 60% [2] para as cargas acidentais. Foram utilizados os seguintes perfis metálicos na estrutura:

- Vigas VE 100x6 4.008 kg
- Pilares CE 150x20 8.060 kg

- Total (12.068 kg + 10%) 13.275 kg
- Taxa (13.275kg/957 m²) **13,9 kg/m²**

Esta taxa representou uma redução de cerca de **30%** sobre a opção convencional, de menor consumo, além das outras vantagens (já citadas) no processo produtivo, que serão convertidas em ganhos financeiros.

Os resultados dos deslocamentos verticais obtidas através da análise numérica são os mostrados na Figura 5.14:

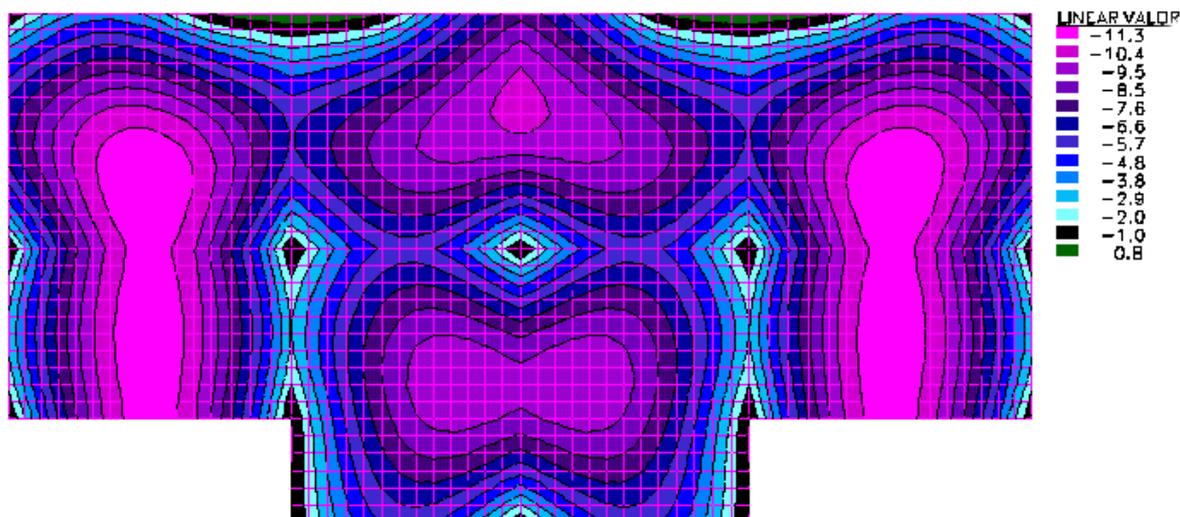


Figura 5.14 – Deslocamentos Verticais (mm)

Foi também realizada através do programa de cálculo a análise dinâmica da estrutura.

Tem-se como referência que, o tráfego de pessoas em uma edificação residencial, cria forças de excitação periódicas com frequência de até 4,0 Hz. Como o valor mínimo

encontrado foi de 7,74 Hz (Tabela 5.3), considera-se aprovada a estrutura dentro deste critério.

Análise Dinâmica Modal

Modo	Frequência Natural (Hz)	Deformação Máxima (mm)
1	7,74	0,26
2	7,79	0,26
3	8,70	0,89
4	9,18	0,89
5	10,94	1,25

Tabela 5.3 - Frequência de vibração da estrutura

5.3 Conclusões Parciais sobre o modelo estrutural proposto

Os principais pontos observados, ao final desta etapa, foram:

- ✓ O consumo de aço para os pilares é relativamente constante, independentemente do vão das vigas. Esta é uma premissa importante na busca por soluções otimizadas do ponto de vista estrutural. Sendo a flexão, nas vigas, determinante para seu dimensionamento e o seu valor variando com o quadrado do vão a ser vencido, há que se procurar uma situação de equilíbrio entre a quantidade de pilares e o vão médio entre eles. Nem sempre a utilização de grandes vão conduz a uma solução econômica para o emprego de estrutura metálica. Este é o primeiro paradigma a ser quebrado, quando se trabalha com HIS.

- ✓ Sendo as vedações externas, geralmente, as mais pesadas, em virtude do desempenho necessário quanto à segurança, estanqueidade, isolamento térmico, dentre outros, o emprego de painéis de fachada que se apóiam diretamente nos pilares, reduz substancialmente os esforços nas vigas periféricas.
- ✓ Confinar as lajes entre as mesas e almas das vigas, propicia uma melhor desempenho da estrutura em situação de incêndio com redução significativa do fator de massividade. A ausência de vigas salientes sob as lajes, reduz o trabalho de recortes nas vedações, permitindo flexibilidade na divisão do ambiente interno. Facilita também a passagem de tubulações hidráulicas pelo teto, não havendo necessidade de se executar furos nas almas, quando aparentes, das vigas. Entretanto ressalta-se um aumento no consumo de concreto e armadura para as lajes, da ordem de 25%, i.e., de uma espessura média de 8cm para 10cm, igual à altura das vigas. O ganho na estrutura tem que ser avaliado contra o consumo maior de concreto armado das lajes.
- ✓ A padronização da altura das vigas facilita tanto o processo industrial de fabricação dos elementos quanto o de montagem.

5.4 Modelo

Com as premissas iniciais estabelecidas, empregou-se a metodologia em desenvolvimento em um prédio HIS, de geometria fechada (Figura 5.15), com 5 pavimentos e 20 unidades residenciais, sendo 4 por pavimento – 2 de 3 quartos e 2 de 2 quartos. O desnível entre lajes (piso a piso) era de 250cm. Neste projeto a ventilação

otimizar as dimensões das lajes. Será visto adiante que os esforços estão mais concentrados na laje que engloba dormitório, cozinha e área de serviço.

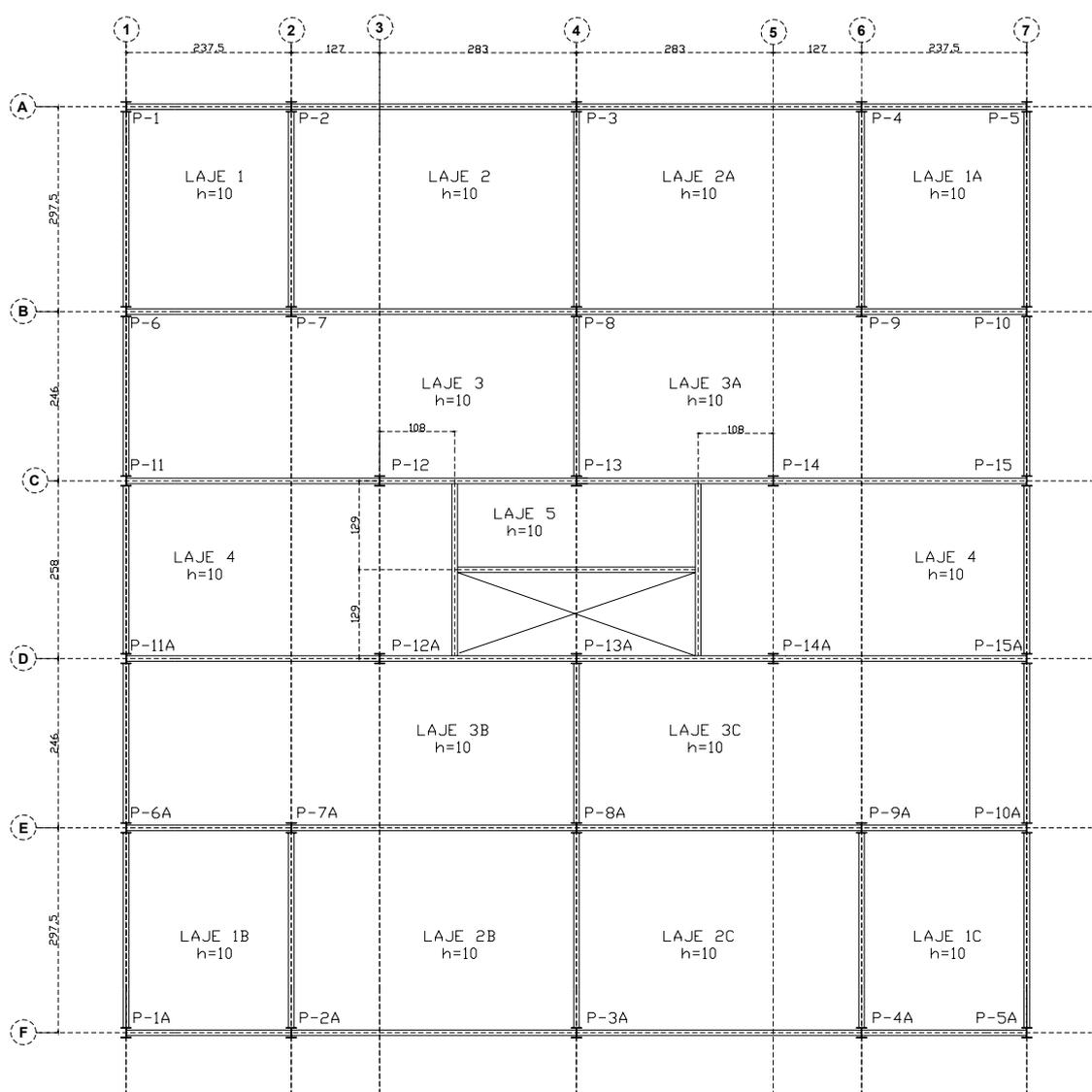


Figura 5.16 – Estrutura

Na estrutura proposta foram considerados os seguintes aspectos:

- Lajes maciças com espessura de 10cm;

- Ligações entre vigas e pilares através de parafusos, sem o emprego de solda de campo. Não há transferência de momento das vigas para os pilares;
- Ligações simples, rotuladas, entre lajes adjacentes, sem possibilidade de transferência de momento fletor.
- Contraventamento realizado por diagonais em uma direção e por painéis pré-moldados, sem aberturas, na direção transversal.

As análises numéricas foram realizadas através de 2 programas computacionais distintos : inicialmente utilizou-se o STRAP® que considerou apenas o regime elástico e ANSYS® que possibilitou a verificação final no regime elasto-plástico.

5.4.1 Análise Elástica

O modelo numérico utilizou elementos de placa (“*shell*”) de concreto posicionados na altura da linha neutra das vigas, i.e., $h/2$, conforme solução real. Previa-se que as ligações entre lajes adjacentes seria realizada por barras de aço através de furos realizados nesta altura das almas, em intervalos regulares a serem definidos ao final do processo de verificação e dimensionamento. Não foi considerado o momento fletor oriundo desta ligação, no processamento numérico.

Foram considerados os mesmos carregamentos já utilizados nos estudos anteriores, uma vez que ambos diferem apenas na geometria e não na função.

As primeiras análises, resultaram nos deslocamentos mostrados na Figura 5.17.

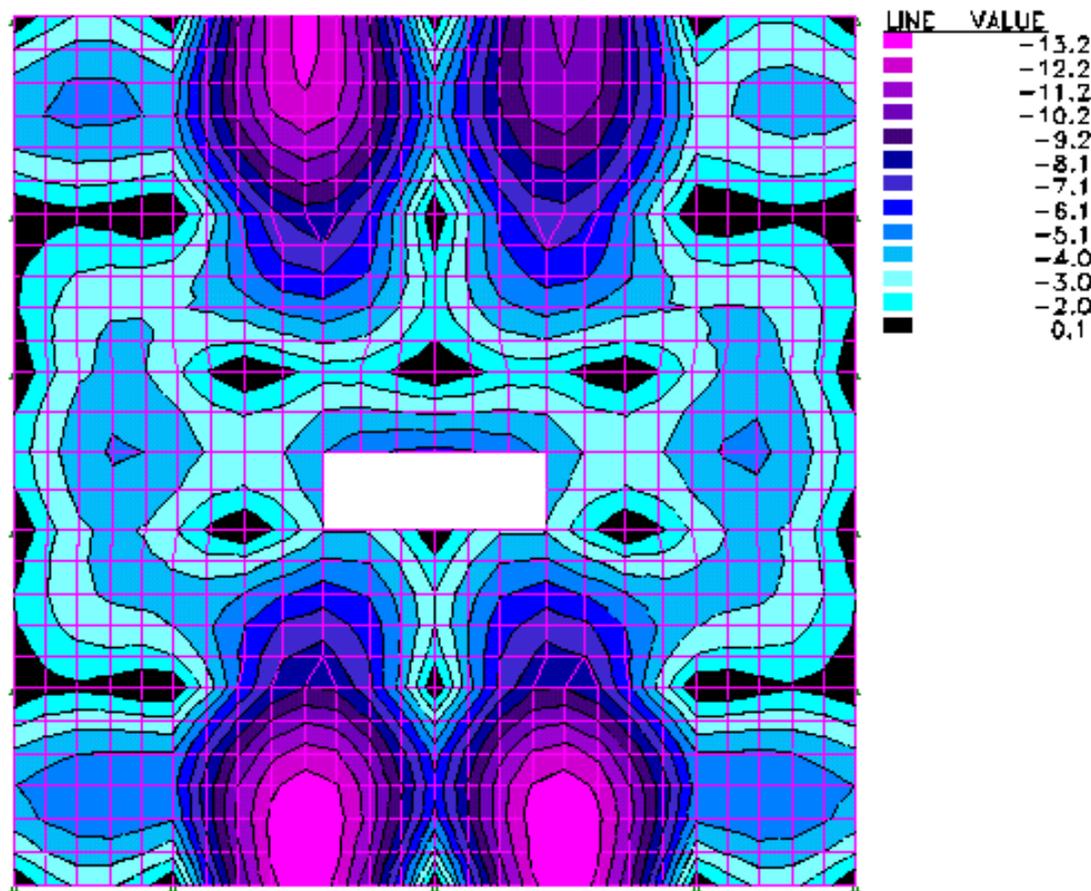


Figura 5.17 - Deslocamentos verticais (mm)

Foram apropriados os seguintes consumos para as vigas e pilares:

- Vigas VE 100x6 3.600 kg
- Pilares CE 150x20 7.200 kg
- Total (10.800 kg + 10%) 11.880 kg
- **Taxa (11.880kg/917 m²) 13,0 kg/m²**

Visando estabelecer parâmetros de deformações versus espessura de laje, para este modelo, calculou-se nova estrutura empregando perfis com altura superior. Constatou-se a ausência de perfis eletrossoldados, de linha, com altura intermediária entre 100mm e 150mm. Esta lacuna dificulta aumentar a eficiência de um modelo do porte do estudado. Foi solicitado ao fabricante dos perfis uma altura intermediária possível de ser produzida industrialmente. Foi sugerida a seção VE 125x10.2, que passou a compor a estrutura da Figura 5.18, a seguir analisada:

Neste estudo foram apropriados os seguintes consumos:

- Vigas VE 125x10.2 7.089 kg
- Pilares CE 150x20 4.800 kg
- Pilares CE 200X34 4.080 kg
- Total (15.969 kg + 10%) 17.566 kg
- Taxa (17.566kg/917 m²) 19.2 kg/m²

Os resultados dos deslocamentos verticais são mostrados na Figura 5.19 e os relativos à vibração na Tabela 5.4.

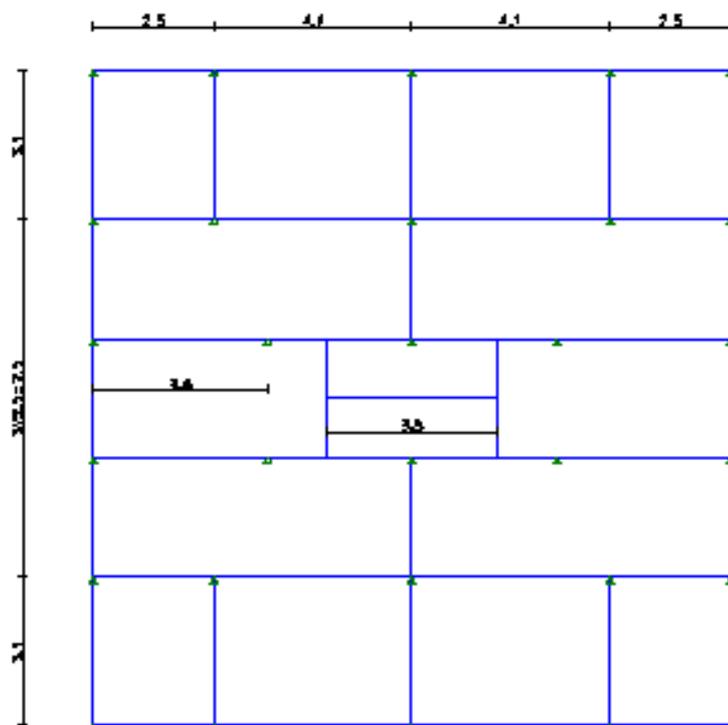


Figura 5.18- Modelo Estrutural

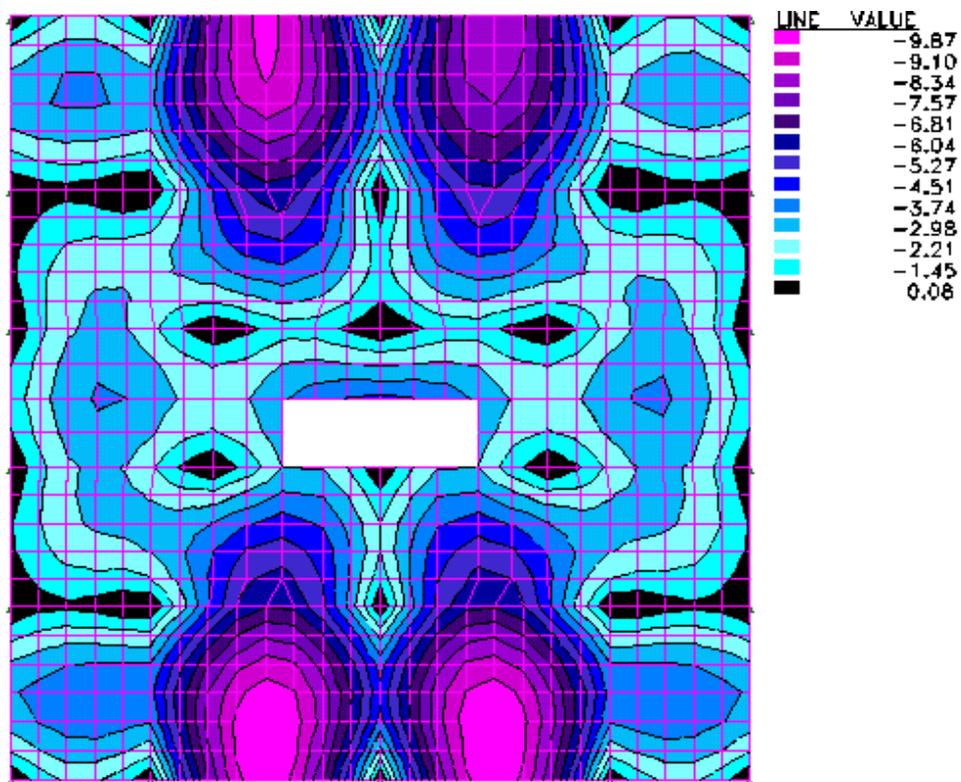


Figura 5.19 – Deslocamentos verticais (mm)

Análise Dinâmica Modal

Modo	Frequência Natural (Hz)	Amplitude (mm)
1	12,03	1,28
2	12,28	0,97
3	12,78	0,95

Tabela 5.4 – Frequência de vibração da estrutura

Foram verificadas as relações entre os esforços (cortante e fletor) atuantes e admissíveis, sendo os valores encontrados inferiores à unidade.

Após uma análise mais rigorosa destas relações verificou-se que os valores dos esforços cortantes estavam abaixo do estimado, indicando provável falha na modelagem.

Concluiu-se que a ligação dos elementos de placa aos pilares produziam esta distorção pois os mesmos absorviam parcela significativa do cortante que deveria ser resistido pelas vigas. A malha dos elementos de laje foi refinada (Figura 5.20), reduzindo a dimensão dos elementos de placa e retirando aqueles que estavam no contorno dos pilares. Foram deixados vazios nesta região, ficando os pilares ligados à estrutura apenas pelas vigas.

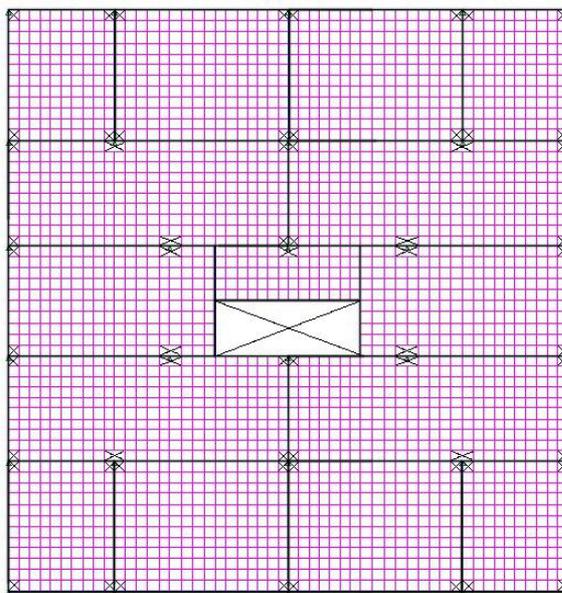


Figura 5.20- Malha sem os elementos no contorno dos pilares

Tendo em vista a necessidade de determinação dos esforços atuantes, com as cargas de serviço, SEM majoração, para posterior dimensionamento das lajes de concreto armado, o modelo foi calculado e apresentou os deslocamentos mostrados na Figura 5.21:

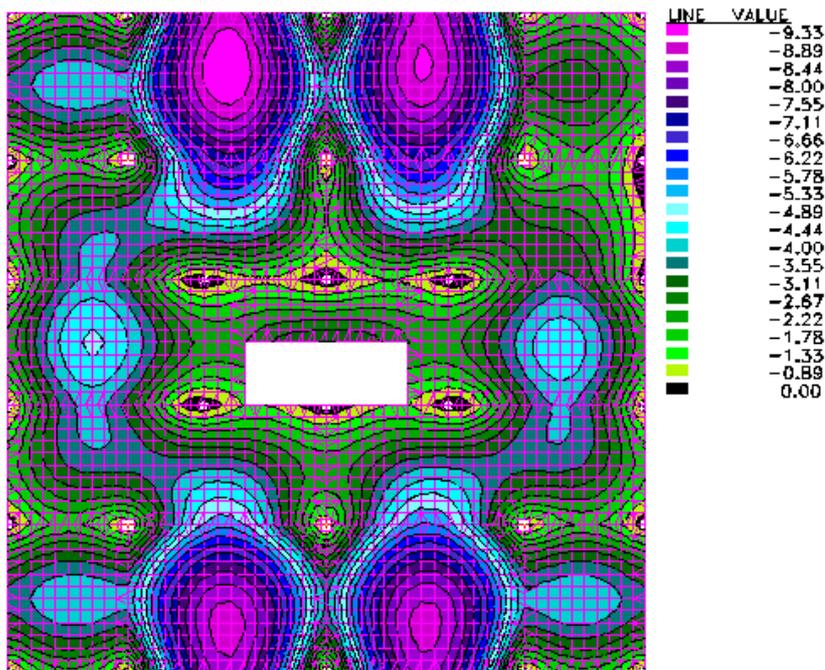


Figura 5.21 – Deslocamentos verticais (mm) SEM majoração das cargas

Foram determinadas faixas ortogonais nas lajes de onde foram extraídos os momentos fletores utilizados no dimensionamento. Para efeito de comparação as lajes foram calculadas no regime elástico considerando as vigas como elementos indeslocáveis verticalmente. Foram utilizadas tabelas [19] para determinação dos esforços cujos resultados constam na Tabela 5.5.

A grande discrepância entre os valores calculados no modelo estudado e aqueles obtidos pelo sistema convencional, deve-se ao comportamento conjunto laje-viga. No primeiro caso a rigidez vertical das vigas é muito pequena quando comparada com a das lajes. O conjunto tem seu comportamento regido principalmente pelas lajes, com pouca ou nenhuma interferência das vigas.

No sistema convencional ocorre o contrário. A rigidez das vigas é muito superior à das lajes, permitindo que essas trabalhem isoladamente uma das outras, exceto quando são posicionadas armaduras que transmitem esforços de flexão (negativos) de uma laje para outra.

LAJE	ESFORÇO	CONVENCIONAL (kg.m/m)	REAL (kg.m/m)	As (cm ² /m)	DETALHAMENTO
1	m _A	199	641	2,4	Ø 6,3 c. 13
	m _B	129	661	3,4	Ø 6,3 c. 10
	X _A				
	X _B				
2	m _A	333	661	2,9	Ø 6,3 c. 10
	m _B	190	1.080	4,2	Ø 8,0 c. 12
	X _A				
	X _B				
3	m _A	414	505	1,9	Ø 6,3 c. 17
	m _B	0	861	3,3	Ø 6,3 c. 10
	X _A				
	X _B		-586	-1,9	Ø 6,3 c. 15
4	m _A	305	809	3,8	Ø 8,0 c. 13
	m _B	81	608	2,3	Ø 6,3 c. 13
	X _A				
	X _B	0	-586	1,6	Ø 6,3 c. 20
5	m _A	104	217	0,8	Ø 6,3 c. 20
	m _B	0	295	1,1	Ø 5,0 c. 18
	X _A				
	X _B	0	-155	0,6	-0-

Tabela 5.5 – Esforços comparativos nas lajes

5.4.2 Análise Elasto-Plástica

Como os resultados obtidos através da análise no regime elástico estavam muito próximos dos limites admissíveis para o material concreto armado, decidiu-se fazer nova verificação com um programa que utilizasse incrementos de cargas com verificações intermediárias do regime atuante.

Foram considerados dois tipos de carregamento sendo o primeiro sem majoração das cargas atuantes e o segundo com majoração de 20% para as cargas permanentes (G) e 60% para as cargas acidentais (Q) [2].

Os valores dos deslocamentos encontrados são mostrados nas Figuras 5.22 e 5.23.

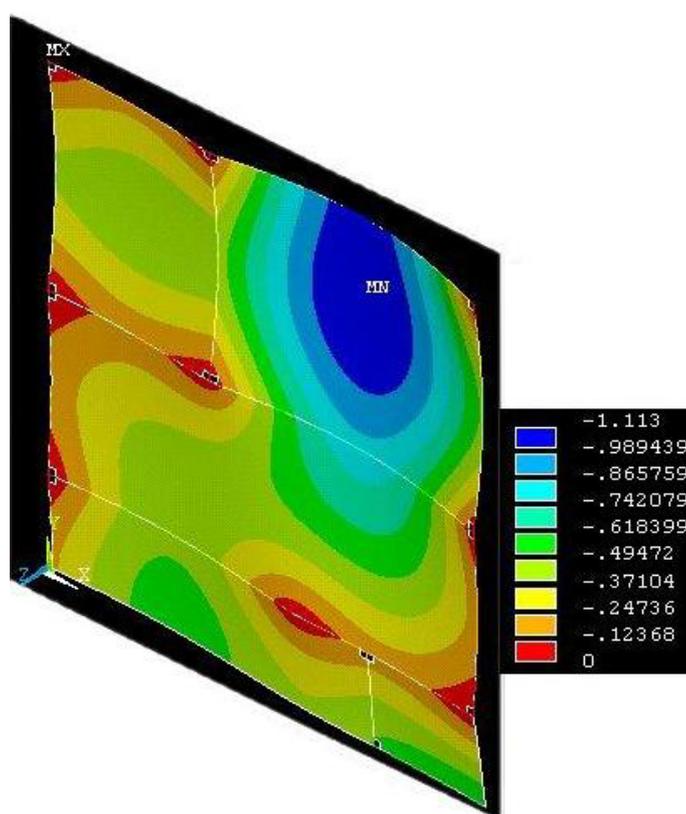


Figura 5.22 – Deslocamentos verticais (cm) para G+Q

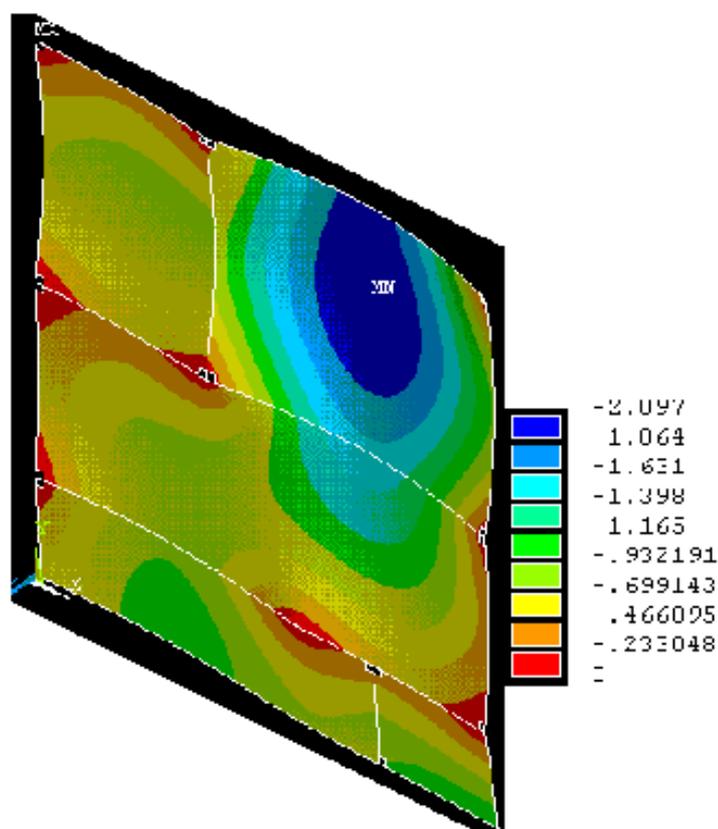


Figura 5.23 – Deslocamentos verticais (cm) para 1.2G+1.6Q [2]

5.5 Lajes em concreto armado

Com os resultados obtidos foi realizado o dimensionamento das lajes [3] conforme mostrado na Tabela 5.5 e nas Figuras 5.24 e 5.25.

No sistema estudado as lajes se comportam de maneira distinta dos sistemas estruturais convencionais, reticulados. Aproxima-se bastante das lajes planas, denominado “cogumelo”. Difere dessas quanto à transferência de esforços para os pilares, tarefa de responsabilidade das vigas e de suas ligações. Assim como nas lajes “cogumelo”, ocorrem pontos de inflexão nas regiões próximas aos apoios que geram momentos

negativos. Quando dois apoios estão próximos mas não estão unidos por vigas, forma-se uma região com maior rigidez nesta direção devido à curvatura das placas no sentido transversal. Deve ser dada especial atenção ao detalhamento [17] das armaduras nestas regiões, geralmente propícias a fissuração com conseqüente redução de rigidez. Neste caso foi necessário detalhar uma faixa com armadura negativa, unindo os pilares mais próximos.

☞ *Este é um aspecto importante e que deve ser evitado na produção de novos projetos, bastando que sejam previstas vigas unindo estes pontos, i.e., segmentando as lajes.*

ARMAÇÃO LAJE

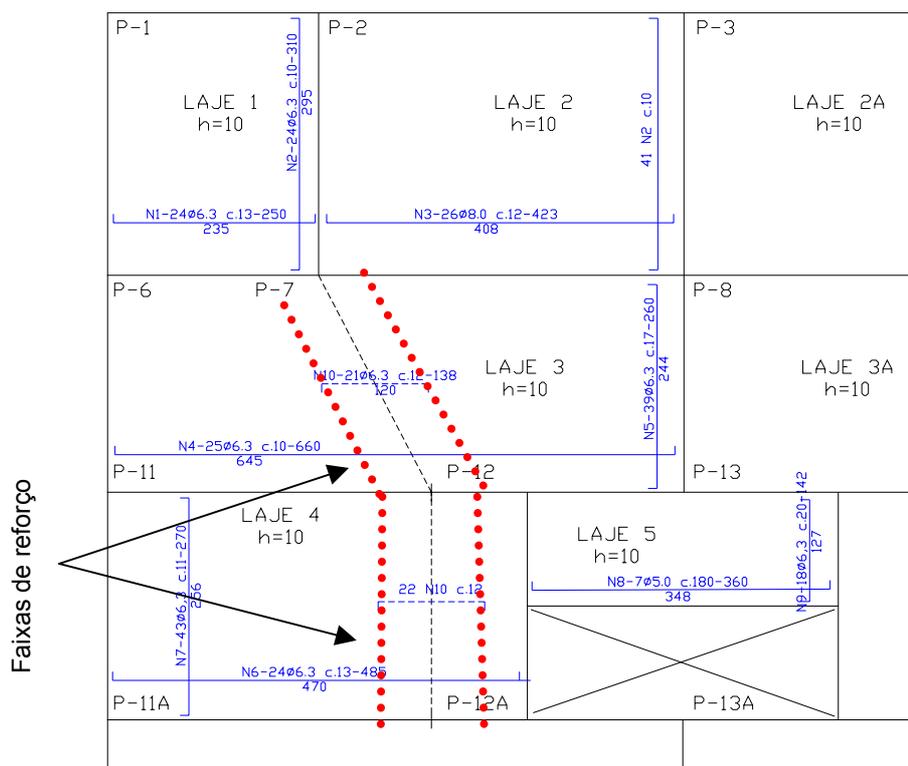


Figura 5.24 – Armadura das lajes

A união entre lajes adjacentes foi realizada por armadura posicionada à altura da linha neutra, espaçadas de no máximo 500mm. Estas barras (Figura 5.25) são responsáveis pela solidarização de todo o conjunto, formando um diafragma contínuo e evitando o colapso progressivo das lajes, por deconfinamento lateral, em caso de deformação vertical excessiva. Sem estas barras não existe continuidade física entre as lajes e uma rotação ou deformação excessiva , permite que a laje se desprenda das vigas.

As barras, trabalhando como conectores de cisalhamento, garantem a transferência de esforços cortante entre as lajes, uniformizando os deslocamentos verticais na interseção laje-viga-laje. Formam ligações semi-rotuladas e transmitem uma parcela de momento fletor negativo/positivo, perpendicularmente ao eixo das vigas, entre as lajes. Nas vigas de periferia estas barras foram fixadas à alma , por meio de pontos de solda. Este é procedimento que deverá ser alterado visando a não utilização de solda de campo, neste sistema construtivo estudado. Estas vigas têm maior liberdade de deslocamento e rotação pela ausência de laje em um dos lados, gerando um menor grau de confinamento lateral.

Com este dimensionamento é possível determinar os valores de alguns insumos que compõe a estrutura (5 pavimentos), a saber:

▪ Vigas, VE 100 x 6 , 695m	4.170 kg	} Total + 10% = 12.507 kg
▪ Pilares, CE 150 x 20, 360m	7.200 kg	
▪ Concreto fck=20MPa	70,6 m ³	
▪ Aço CA 50-A	3.592 kg	

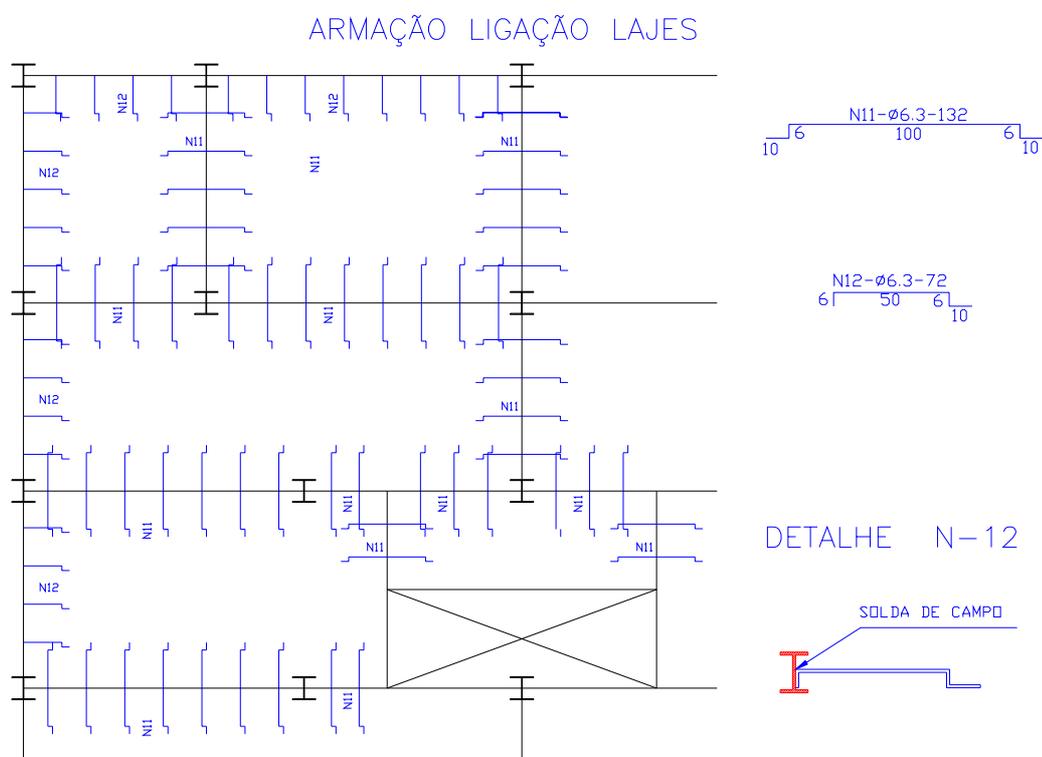


Figura 5.25 – Detalhe das armaduras de ligação das lajes

Considerando uma área de construção de 918 m^2 ($5 \times 13.30 \times 13.80$) atinge-se uma taxa de $13,6 \text{ kg/m}^2$ de estrutura, sem considerar a área da caixa d'água.

Este é um valor 45% abaixo da taxa de 25 kg/m^2 , geralmente encontrada para edificações deste porte.

5.6 Execução do Protótipo

Concluída as fases de estudo do modelo e tendo-se obtido taxas de peso de estrutura por metro quadrado de construção bastante abaixo das usualmente verificadas nas

soluções convencionais, optou-se pela execução em escala real de parte do edifício estudado para fins de comprovação do modelo desenvolvido.

Do ponto de vista estrutural o aspecto mais relevante a ser verificado foi o comportamento conjunto LAJE-ESTRUTURA conforme já demonstrado em situações com alguma semelhança [18], onde foram empregadas lajes com forma metálica incorporada (*steel deck*).

No protótipo foram executados apenas os 2 primeiros pavimentos onde esperava-se poder avaliar, além do comportamento estrutural, os seguintes aspectos:

- Comportamento dos painéis pré-moldados como elemento de contraventamento em substituição às diagonais metálicas tradicionais;
- Comportamento das divisórias de gesso acartonado, quando sujeitas a grandes deformações impostas pelas lajes superiores;
- Detalhes construtivos para as interfaces entre os diversos componentes empregados como por exemplo :
 - Divisórias - Painel pré-moldado;
 - Vedação Laje - Painel e Laje Viga, dentre outros;
- Eficiência e produtividade do sistema de forma para execução das lajes maciças;
- Desempenho da laje maciça para direcionar o desenvolvimento de lajes industrializadas, sem alterar o comportamento global da estrutura;
- Parâmetros gerais de produtividade que permitissem a determinação do custo final da obra, com elevada precisão.

O primeiro passo para execução do protótipo foi a execução do projeto de fabricação de toda a estrutura (Figura 5.26), considerando-se todos os 5 pavimentos .

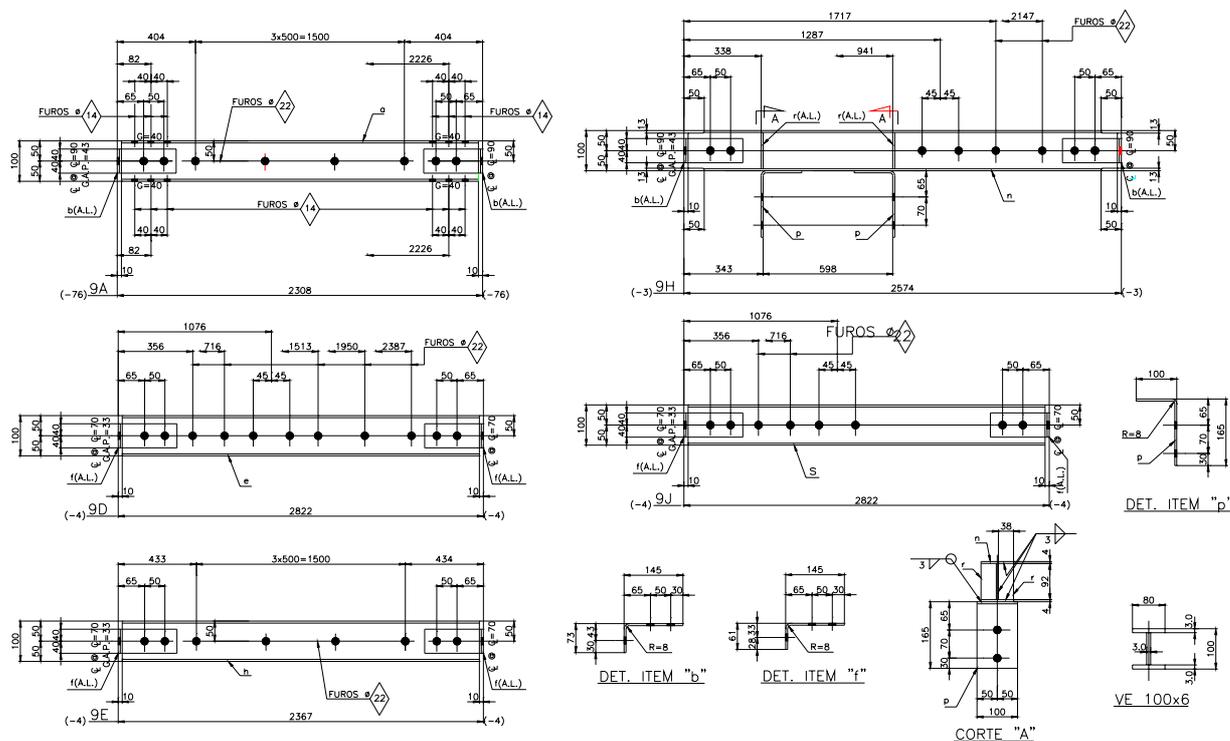


Figura 5.26 – Detalhamento da estrutura metálica

5.7 Testes realizados no Protótipo

Para continuidade dos trabalhos de desenvolvimento de um sistema construtivo integrado, havia a necessidade de se comprovar o comportamento do sistema estrutural proposto. Foi solicitado ao LAEES - Laboratório de Análise Experimental de Estruturas da UFMG, a execução de testes [15] com aplicação de cargas verticais nas lajes para verificação do comportamento laje-viga, e de cargas horizontais para avaliação do comportamento dos painéis de contraventamento.

As cargas verticais foram aplicadas através do enchimento, com água, de piscinas de plástico, apoiadas e distribuídas sobre as lajes.

Os esforços horizontais foram introduzidos por meio de atuadores hidráulicos apoiados em um pórtico de reação existente no local da obra.

O carregamento das lajes foi aplicado obedecendo as seguintes etapas:

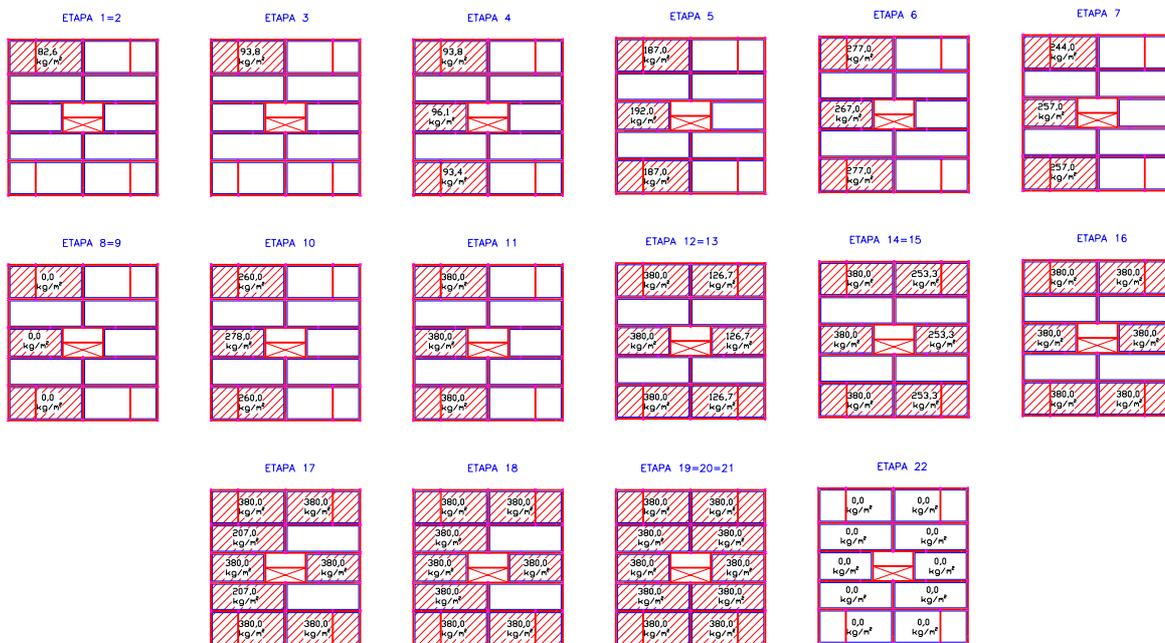


Figura 5.27 – Etapas dos carregamentos

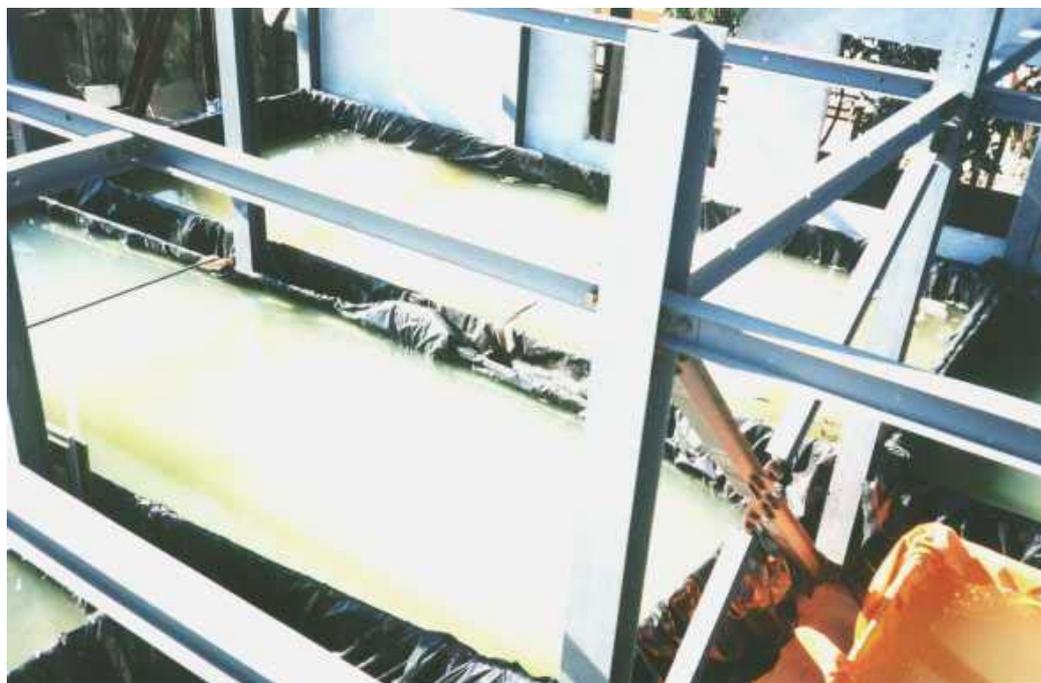


Figura 5.28 – Vista das “piscinas” de carga

A instrumentação das deformações verticais foi avaliada através de relógios comparadores e transdutores de deslocamentos, distribuídos conforme mostrado na figura 5.29.

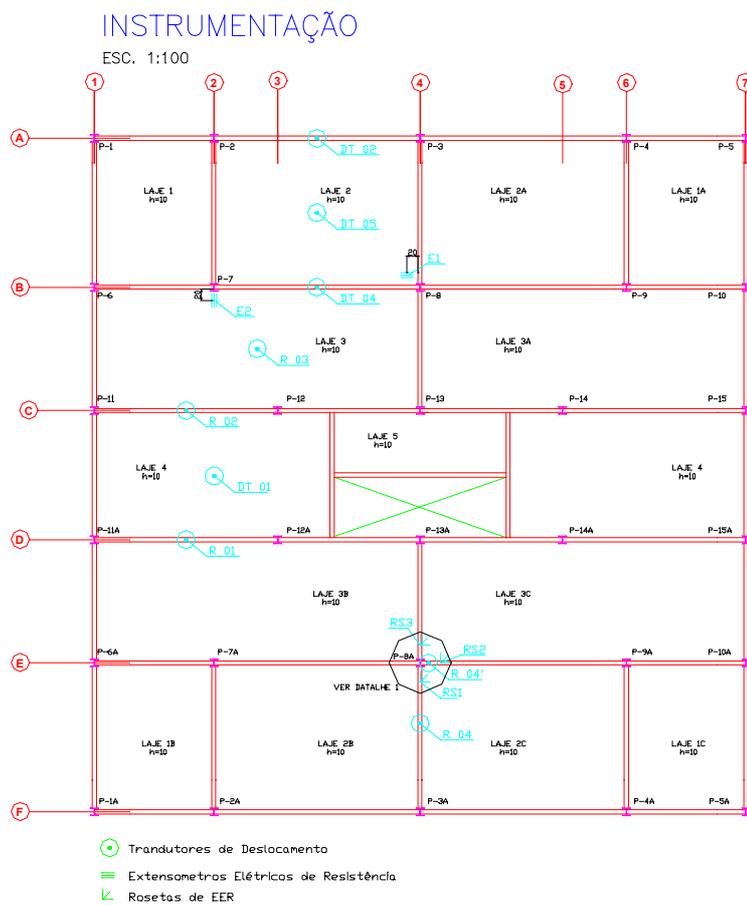


Figura 5.29 – Posicionamento dos instrumentos de medidas



Figura 5.30- Vista dos DT's

Após a realização dos ensaios foram computados os seguintes deslocamentos verticais mais importantes das laje:

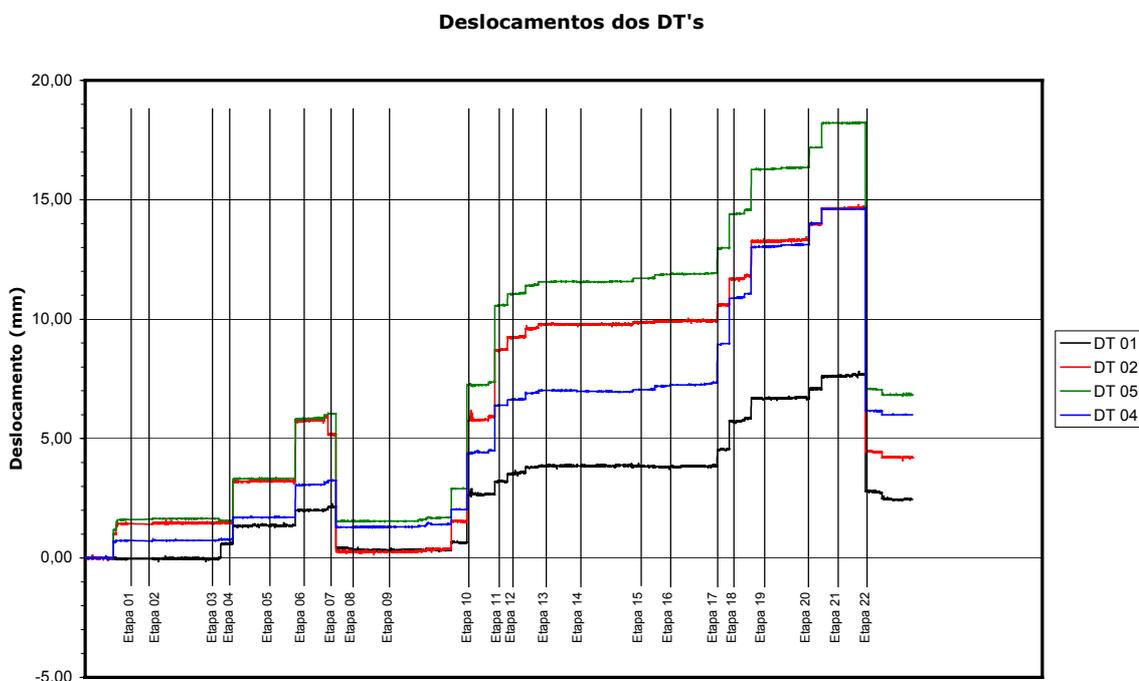


Figura 5.31- Deslocamentos verticais das lajes

A interação entre o painel de contravetnamento e a estrutura foi avaliada através de carregamentos horizontais aplicados no pilar externo no nível eixo da ligação deste com a viga longitudinal, paralela ao painel analisado. A carga de referência de projeto foi de 12,0KN, por pavimento, por eixo, determinada de acordo com a norma técnica brasileira NBR-6123 “Forças devido ao vento em edificações – Procedimento”.

A carga última de ensaio atingiu o valor de 64,8KN, conforme mostram os gráficos das Figuras 5.34 e 5.35. A comparação desses resultados mostram um deslocamento horizontal das extremidades do painel muito superior à sua deformação medida axialmente pelo DT05. Demonstra um movimento de corpo rígido do painel e indica

uma flexibilidade elevada da ligação deste com a coluna ou mesmo uma deformação excessiva das mesas da coluna.

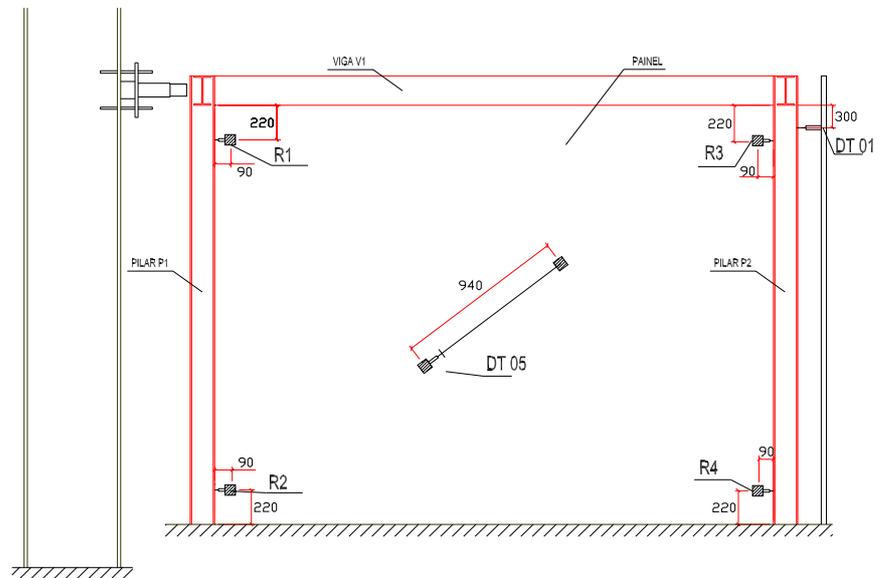


Figura 5.32 – Esquema de medição do painel



Figura 5.33 – Vista do painel ensaiado

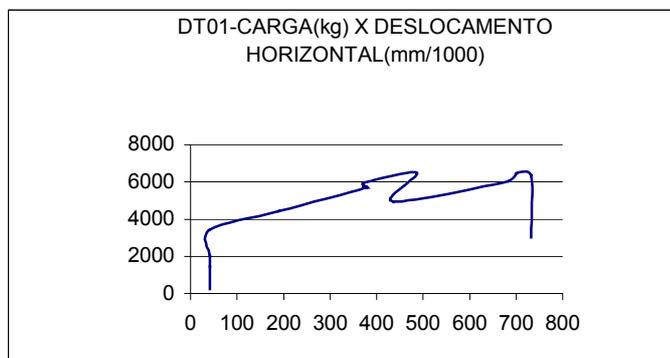


Figura 5.34 – Deslocamento horizontal DT01

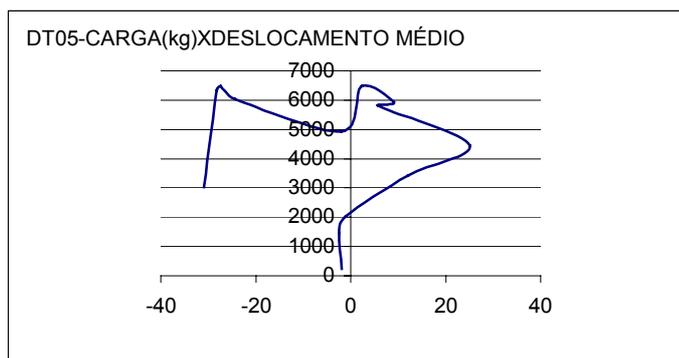


Figura 5.35 – Deslocamento axial DT05

De acordo com o relatório do LAEES [15]:

“A estrutura comportou-se globalmente de forma satisfatória até a etapa 16, quando a carga máxima estava aplicada em faixas alternadas (Figura 5.27). O maior deslocamento medido nesta fase foi de 11,5 mm, que pode ser reduzido para 10 mm devido ao deslocamento residual de 1,5 mm que ficou após o descarregamento na etapa 8” ...

e

“A partir da etapa 17, as flechas medidas da estrutura cresceram substancialmente. Nas etapas 19, 20 e 21, com todo o piso sujeito à carga máxima de ensaio, houve aumento de 2 mm da flecha máxima com o carregamento mantido constante, o que é indício de falha estrutural”.

As lajes apresentaram deslocamentos verticais das lajes superiores ao obtidos nas análises numéricas realizadas, tanto através do regime elástico quanto do elasto-plástico. Iniciou-se, então, o rastreamento da fase executiva do protótipo, utilizando-se principalmente o acervo fotográfico, e também a conferência dos cálculos efetuados.

Podem ser enumerados os seguintes aspectos relevantes:

a)1^a Constatação

- A tipologia das fissuras apresentadas na face inferior das lajes 2 e 2B, era de fissura paralela ao menor vão e concidentes com o posicionamento da armadura secundária segundo esta direção. Estas deveriam, segundo o dimensionamento e detalhamento, estar apoiadas sobre as barras da armadura principal, paralela ao maior vão.
- A análise criteriosa das fotografias obtidas durante as diversas fases de execução do protótipo mostraram que a malha principal ($\varnothing 8,0\text{mm}$) estava posicionada, erroneamente, sobre a secundária ($\varnothing 6,3\text{mm}$).
- A evolução das aberturas das fissuras, durante a fase de ensaio, mostrou que estas evoluíram muito rapidamente na fase inicial de carregamento, seguindo-se um estágio de relativa estabilização. Este fato pode ser imputado ao posicionamento da armadura principal que só foi solicitada após ser atingida pela fissura.

Com estes fatos pode-se concluir que:

- Houve uma falha no posicionamento das ferragens sendo instalada primeiro a armadura secundária ($\varnothing 6,3\text{mm}$), paralela ao menor vão e por sobre esta a armadura principal ($\varnothing 8,0\text{mm}$).
- Ocorreu uma redução da altura útil de dimensionamento, em virtude desta inversão, de 8,6cm para 7,97cm, ou seja, $8,6\text{cm}/7,97\text{cm} = -7,9\%$.
- Como a rigidez das placas é proporcional à altura útil elevada ao cubo, pode-se estimar que ocorreu uma redução de $(8,6\text{cm})^3$ para $(7,97\text{cm})^3$ representando um decréscimo de:

$$636\text{cm}^3/506\text{cm}^3 = -25,7\% \text{ na rigidez final destas lajes.}$$

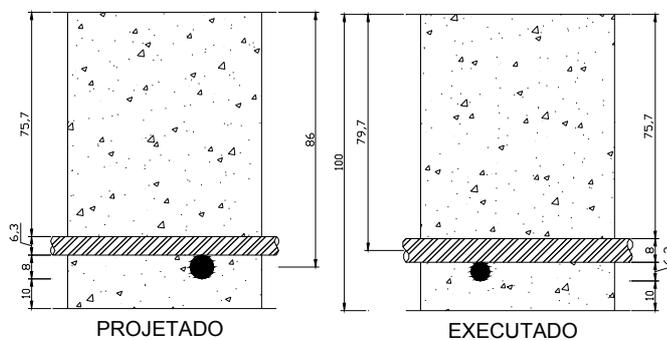


Figura 5.36 - Posição invertida das armaduras das lajes

Para complementar as informações e ratificar as suspeitas, foram retiradas amostras cilíndricas, com 10cm de diâmetro e altura igual à da lajes “in situ”, para obtenção das alturas reais. As extrações foram realizadas de forma a coincidirem com as fissuras existentes no fundo da lajes, onde deveria estar posicionada a ferragem secundária.

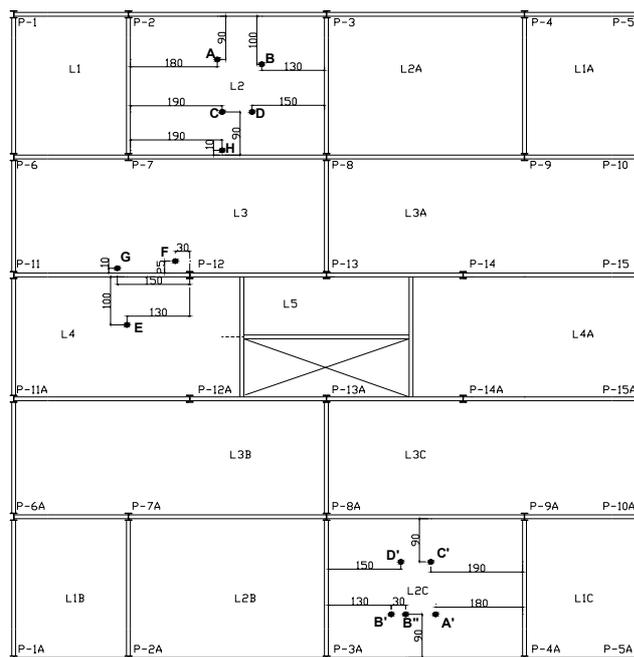


Figura 5.37 – Posicionamento dos corpos de prova extraídos

As amostras retiradas permitiram medir as distâncias reais da armadura principal e secundária em relação ao fundo da laje. Como durante a concretagem, não foi executado o desempenho das lajes, foi descontado 5mm da altura da amostra devido à irregularidade da superfície. O concreto utilizado foi do tipo alto-adensável e foi apenas acertado com enxada.

C.P.	H (mm)	H-5 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	(H-5)-d1 (mm)
A	119,9	114,9	28,0	20,0	86,9
B	115,2	110,2	25,8	18,9	84,4
C	109,9	104,9	26,6	19,3	78,3
D	114,3	109,3	25,0	15,3	84,3
E	105,0	100,0	28,1	21,2	71,9
F	104,0	99,0	17,6	10,8	81,4
G	104,2	99,2	26,7	24,8	72,5
H	104,7	99,7	19,7	11,1	80,0
Média		104,7		17,7	80,0
A1	117,0	112,0	23,3	17,2	88,7
B1	114,0	109,0			
B2	114,8	109,8		11,6	
C1	110,0	105,0	18,7	11,1	86,3
D1	107,1	102,1	21,1	11,6	81,0

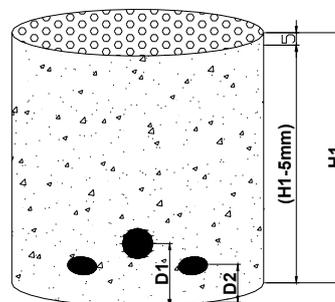


Figura 5.38 – Dimensões dos cp's e posição das armaduras

Verifica-se que a altura média obtida igual a **80mm**, para a laje 2, que acusou a maior deformação, é praticamente igual à deduzida anteriormente, de **79,7mm**.



Figura 5.39 – Corpos de prova extraídos

b) 2ª Constatação

A modelagem numérica que norteou todo o trabalho, utilizou a altura do elemento de concreto (laje) exatamente igual à de projeto, i.e., 100mm. Isto conduziu a uma rigidez superior à de serviço, uma vez que foi desprezada a redução da altura útil devido à fissuração do concreto em serviço.

Para avaliar numericamente o comportamento do modelo com altura dos elementos de concreto igual a 80mm (média dos corpos de prova extraídos na laje 2), foi recalculado todo o pavimento utilizando o programa STRAP®, no regime elástico.

Os resultados encontrados, consideraram três hipótese de carregamento:

- Peso próprio - G - sem majoração.

Esta situação não foi avaliada no ensaio, pois não houve instrumentação durante a desforma das lajes. Neste cálculo foi considerado apenas o peso do elemento de concreto com 80mm de altura (200 kg/m^2), valor abaixo do real (250 kg/m^2). O programa de cálculo utiliza a seção plena, não fissurada, e calcula o peso próprio com a altura real do elemento de concreto. A entrada de dados considerou estes elementos com espessura de 80mm e não foi acrescentada a diferença do peso próprio, na carga permanente atuante;

- Sobrecargas - Q - sem majoração.

Considerados valores de norma, sendo 150 kg/m^2 para carga de utilização, 50 kg/m^2 para o revestimento de piso e teto conjuntamente, e 180 kg/m^2 para as divisórias internas conforme adotado no ensaio, totalizando 380 kg/m^2 . Originalmente foi proposto divisórias com 80 kg/m^2 de laje. O acréscimo deveu-se à necessidade de se utilizarem vedações leves, em blocos de concreto celular autoclavado, uma vez que haviam ainda restrições da Caixa Econômica Federal quanto ao emprego de divisórias leves de gesso acartonado.

- Combinação de G + Q.

Resultante da soma dos valores acima ($250+380 = 630 \text{ kg/m}^2$). Esta última combinação representa a soma das duas primeiras visto que o regime de cálculo é o elástico.



Figura 5.40 - Deslocamentos devido a G (peso próprio)



Figura 5.41 - Deslocamentos devido a Q (sobrecarga)

Os deslocamentos verticais encontrados durante análise apenas para a carga de serviço (Figura 5.41) são semelhantes aos obtidos nesta fase de ensaio. Indicam claramente que a troca de posição das armaduras comprometeu o desempenho esperado para o protótipo.



Figura 5.42 - Deslocamentos Totais (G+Q)

c) 3ª Constatação

Nos modelos numéricos foram empregadas elementos de placa, retangulares com lados médios de 13mm. A ligação “rotulada” entre lajes adjacentes efetuou-se, então, por conectores a cada nó dos elementos de placa, i.e., cada 13 mm em média.

No protótipo foram utilizadas barras de ligação a cada 500mm no máximo, sendo que próximo aos apoios este valor era um pouco inferior.

Verifica-se então que o modelo teórico permite uma melhor interação entre as lajes do que aquela oferecida pelo detalhamento, na situação real.

a) 4ª Constatação

As deformações mais excessivas ocorreram nas lajes tipo 2, com maior área e bordo livre de 4,10m. Esta dimensão para uma altura de 10cm conduz a deformações muito elevadas.

5.8 Conclusões sobre o Sistema Estrutural

Considerando as evidências tanto numéricas quanto experimentais e também aquelas decorrentes das falhas na execução do protótipo, pode-se afirmar:

- Dentro das características do modelo proposto, utilizando vigas e lajes com 100mm de altura, para o carregamento considerado, o lado máximo de laje, sem apoio intermediário, deve situar-se na faixa de 3,00m-3,50m. Este valor poderá ser acrescido desde que não seja um bordo livre, i.e., não seja uma viga de perímetro externo. Estes valores deverão ser utilizados para determinação da malha de pilares. Verificou-se que a laje 2, com dimensões de 4,10m x 2,97m atingiu deformações incompatíveis com as demais, com vãos menores. Apesar de não instrumentadas estas lajes não apresentaram o mesmo nível de fissuração. Este é um parâmetro importante para nortamento dos projetos futuros, empregando esta altura de laje.

Neste caso a maior dimensão (4,10m) pertencia a um lado da laje sem continuidade (fachada).

- Deverá ser reduzido o espaçamento entre as barras de conexão de lajes, visando uma melhor aproximação do modelo numérico, por exemplo para 250 a 300mm, no máximo.

- Sempre que possível deverá ser empregada uma altura de laje superiora no mínimo 20mm à do perfil, ambos nivelados pela parte inferior. Nesta pequena altura de faixa de concreto a ser criada sobre o flange superior da viga, deverá ser posicionada uma faixa de malha eletrossoldada, com a mesma largura abrangida pelas barras de conexão. Este procedimento visa, além de melhorar a transferência de esforços entre lajes, reduzir/eliminar a fissura superior junto às bordas das mesas das vigas. Esta é decorrente da retração química do concreto e da rotação da laje em relação ao ponto de apoio da barra de conexão.

- Para efeito de cálculo poderá ser empregado o regime elástico, verificando todo um pavimento em conjunto. No entorno dos pilares deverá ser eliminado o elemento de concreto e a carga equivalente à sua exclusão será acrescida à de cálculo. A altura útil a ser considerada será aquela utilizada no dimensionamento do concreto, i.e., considerando-se o elemento fissurado até o eixo da barra principal.

6

FACHADA – PAINEL

A vedação externa dos edifícios pode ser realizada com elementos estruturais, fechando todo o vão ou apenas parte. Podem conter aberturas e esquadrias. São posicionados externamente à estrutura, como uma “pele”. São denominados painéis e não necessitam de uma estrutura auxiliar de apoio, o que é provido apenas pela sua própria geometria e resistência. Todos aqueles que necessitam de sistema auxiliar como os “painéis” reforçados com fibra de vidro, denominados GRFC, devem ser classificados como placas, cuja análise não faz parte deste escopo.

Os painéis requerem um correto e preciso dimensionamento visto que estarão sujeitos a diversas solicitações, diferentemente das vedações internas. Por se situarem

externamente à estrutura, qualquer falha que conduza ao colapso das conexões, colocará em risco não só os usuários da edificação como os que estiverem presentes nas suas imediações. Esta responsabilidade é do fornecedor não sendo usual a produção pelo próprio construtor. A produção está concentrada em empresas especializadas que detêm a tecnologia de fabricação e montagem.

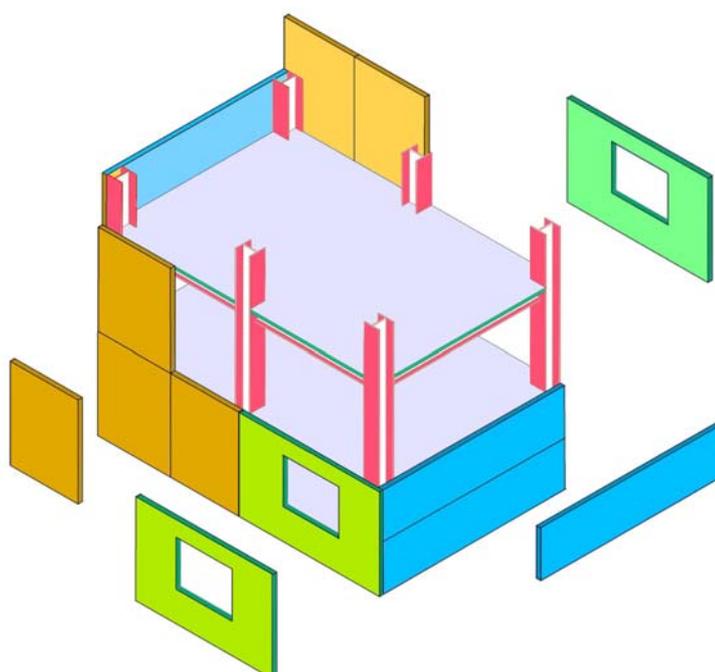


Figura 6.1 - Tipos de painéis

Os painéis executados em concreto armado, analisado neste estudo, podem ser divididos em 5 famílias [5]:

- Painéis tipo “*sandwich*” onde duas placas de concreto envolvem um material isolante de alta qualidade. Estas placas são interligadas entre si por meio de nervuras de concreto ou outros elementos que possibilitem perfeita união e

trabalho conjunto. Devem ser evitadas as formações de pontes térmicas que reduzem a eficiência quanto às propriedades de isolamento.

- Painéis mistos de concreto e blocos cerâmicos, formando um elemento único, tipo parede, onde os blocos são interligados por meio de concreto que também cumpre o papel do emboço. Este processo perde em eficiência tanto térmica quanto industrial, para o primeiro, sendo menos utilizado.
- Painéis de concreto maciço, tipo casca, de pequena espessura, planos ou conformados. Necessitam de complementação, na parte interna da edificação, através da aplicação de uma camada isolante e uma de acabamento, esta última geralmente executada com placas de gesso acartonado.
- Painéis de concreto maciço, de baixa densidade, produzidos com agregado leve e isolante, tipo argila expandida. O elevado preço do agregado restringe o seu uso. Necessita também de uma camada externa, sem agregado, para melhor proteção e durabilidade, visto que o agregado tem baixa resistência à abrasão.
- Painéis de concreto maciço, planos, complementados externamente por uma camada de material isolante e o revestimento final. São utilizados basicamente como suporte para o revestimento final, específico.

Os painéis pré-moldados de concreto armado, maciços ou não, são a forma mais largamente utilizada. As opções atuais são os maciços, tipo placas, e os com isolante térmico, tipo grelha espacial, as quais, apesar de mais resistentes e de poderem assumir diversas formas volumétricas, são pesados e têm baixo desempenho como isolante

térmico. Apoiam-se nas vigas, lajes ou pilares. Necessitam geralmente de uma vedação adicional interna que propiciará o acabamento e desempenho térmico desejados.



Figura 6.2 - Pannel maciço, sem isolamento

Os painéis com isolamento térmico (mistos) são, preferencialmente, executados com formas retas. Quando fixados rentes à estrutura não necessitam acabamento interno extra além da pintura com emassamento. Sendo mais leves que os maciços podem ser produzidos com maiores dimensões possibilitando o apoio diretamente nos pilares, reduzindo a carga permanente (G) nas vigas.



Figura 6.3 - Pannel misto com isolamento

Os acabamentos, em ambos os casos, variam desde o concreto liso, pintado, lavado ou jateado até o revestido com cerâmicas ou pedras. Podem ainda conter baixos ou altos relevos, aberturas ou outros detalhes específicos.

Para o arquiteto ou construtor, os pontos importantes são aqueles que visam racionalizar o seu emprego através de formas repetitivas, reduzindo o custo final de produção. Sob este ponto de vista os aspectos mais importantes são:

- Os painéis devem ser posicionados, preferencialmente, faceando externamente a estrutura (laje, viga ou pilar), com uma folga da estrutura. O valor desta distância é estabelecido, de comum acordo entre o produtor dos painéis e o da estrutura, para cobrir as tolerâncias de prumo e alinhamento, de ambos os sistemas. Os valores mais comuns adotados são 3cm para estrutura de aço e 5cm para a de concreto armado moldada no local. Devem ser apoiados na parte inferior com sistemas que absorvam todo o peso próprio e permitam um fácil ajuste do nível. Na parte superior situam-se os elementos de fixação contra o tombamento e que permitem o ajuste de prumo. Desta forma as juntas horizontais serão posicionadas sobre as vigas ou lajes não sendo visíveis do lado interno. Sempre que possível a mesma solução deve ser adotada para as juntas verticais, posicionando-as sobre os pilares. O exemplo abaixo exemplifica estes casos:

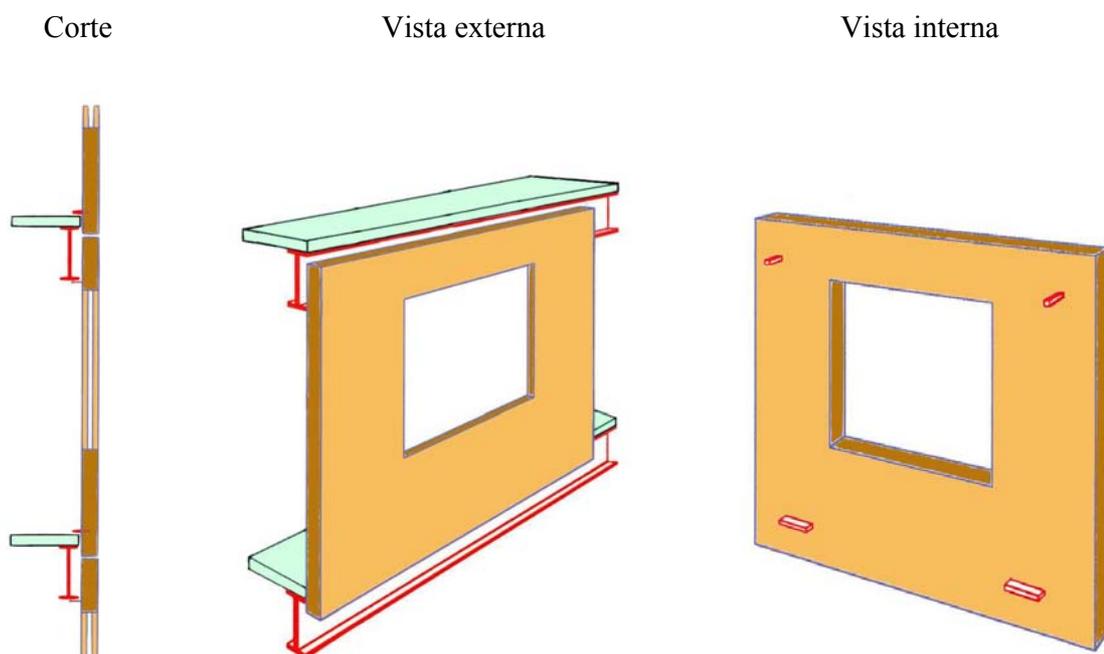


Figura 6.4 - Apoios dos painéis

A transferência do seu peso próprio para a estrutura, através de apoios na parte inferior, aumenta a durabilidade das peças. Isto se dá pela presença de forças de compressão geradas pelo efeito arco. A fixação no topo, apesar de facilitar a montagem, tem o inconveniente de gerar tensões de tração em grande parte do painel, facilitando o surgimento de micro-fissuras. Nessa situação, a fixação de revestimentos sobre a superfície tracionada merece atenção especial.

Os sistemas de fixação dos painéis à estrutura variam para cada fornecedor. Geralmente utilizam um com liberdade de movimento horizontal, segundo o plano que contem o painel, e outro fixo, sem possibilidade de deslocamento neste mesmo plano. Podem ser soldados ou aparafusados à estrutura.

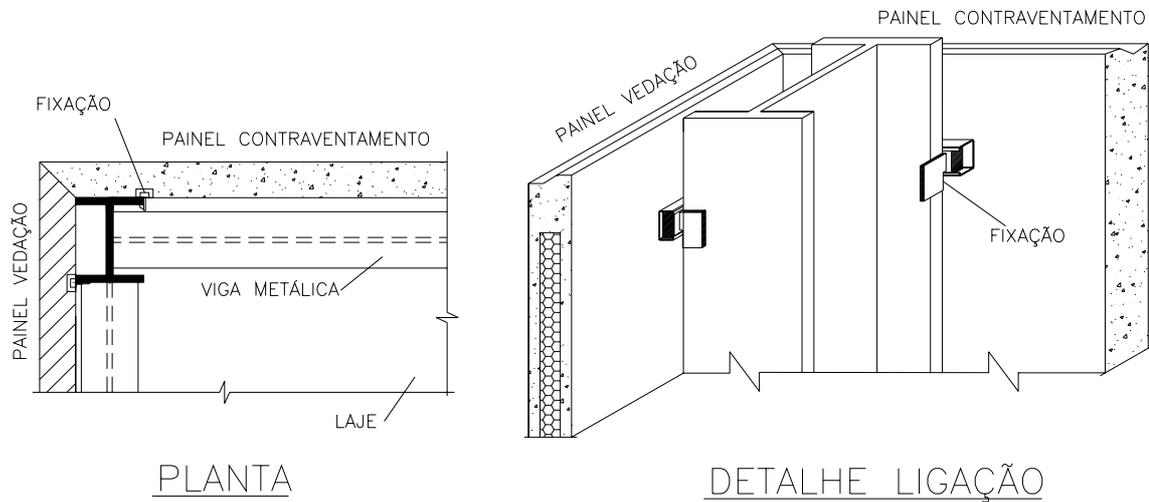


Figura 6.5 – Fixação dos painéis

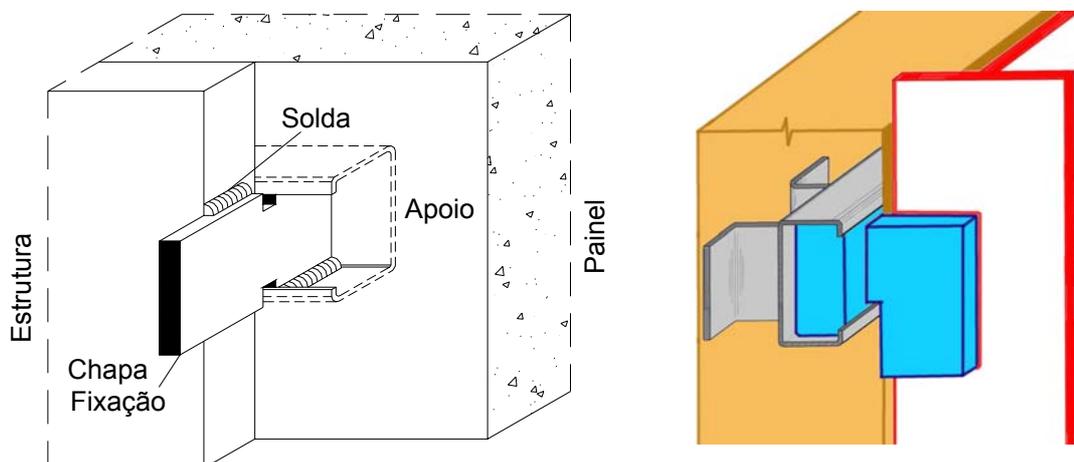


Figura 6.6 - Detalhe das fixações

- A coordenação modular [9] da fachada tanto horizontal quanto vertical é um aspecto importante na viabilidade econômica do sistema. Quanto maior for o número de repetição de um formato de painel menor será o seu custo de

fabricação. Para cada prumada teremos pelo menos 3 tipos de painéis: o da cobertura incluindo a platibanda, o tipo que se repetirá nos andares intermediários e por fim o do primeiro pavimento que terá sua altura estendida até compor com o teto de transição conforme mostra a Figura 6.7:

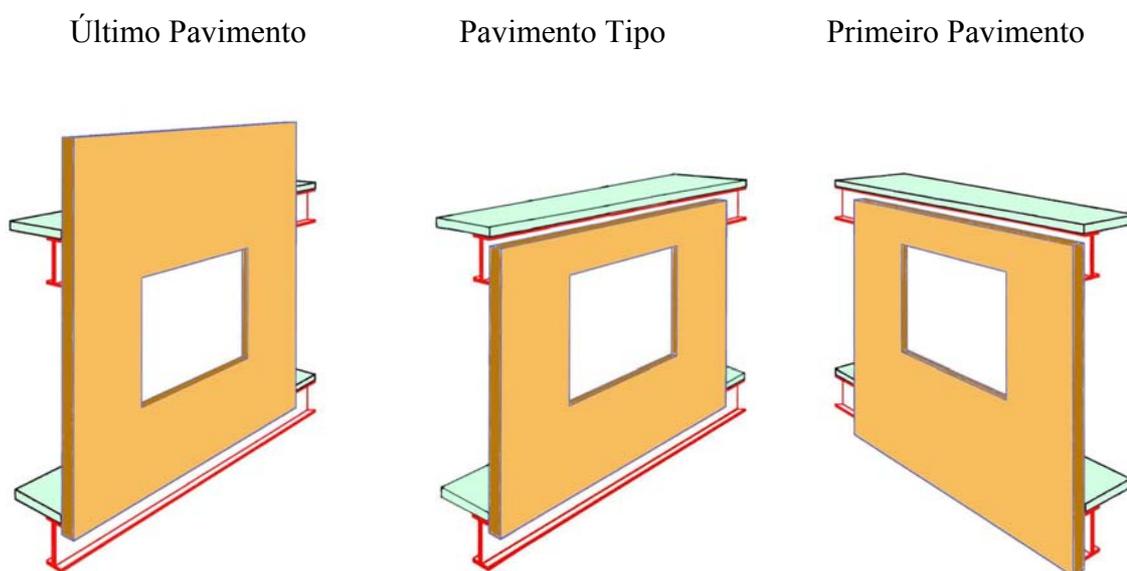


Figura 6.7 - Tipologia

- As juntas entre painéis, tanto horizontais quanto verticais, devem ser projetadas de forma a impedir a passagem de água para o interior do edifício (Figura 6.8). Devem ter uma vedação adicional, à base de materiais elastoméricos, resistentes à ação dos raios solares, de forma a promoverem a completa vedação mesmo sob os efeitos cíclicos de contração e dilatação térmica dos painéis e dos movimentos da estrutura de suporte.

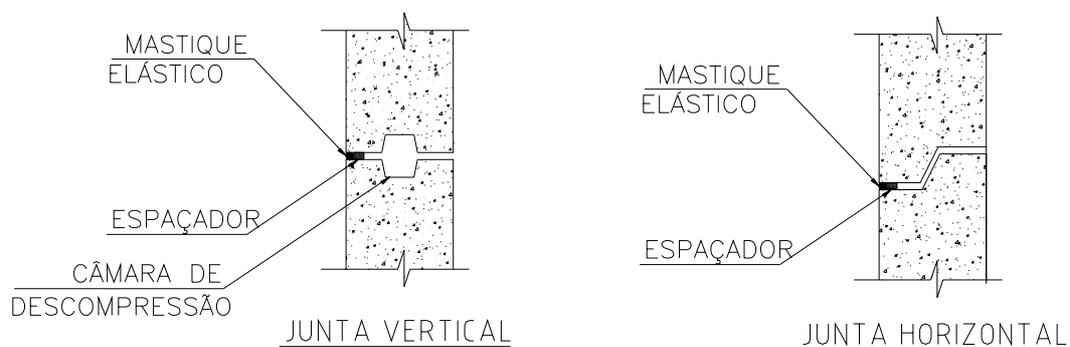


Figura 6.8 – Juntas entre painéis

São diversas as possibilidades de modulação dos painéis (figura 6.9), desde que seja observado um padrão de repetição, baseado principalmente no sistema de apoio e fixação. Esta modulação deve, obrigatoriamente, ser adotada para todos os projetos : arquitetônico, estrutural, etc.

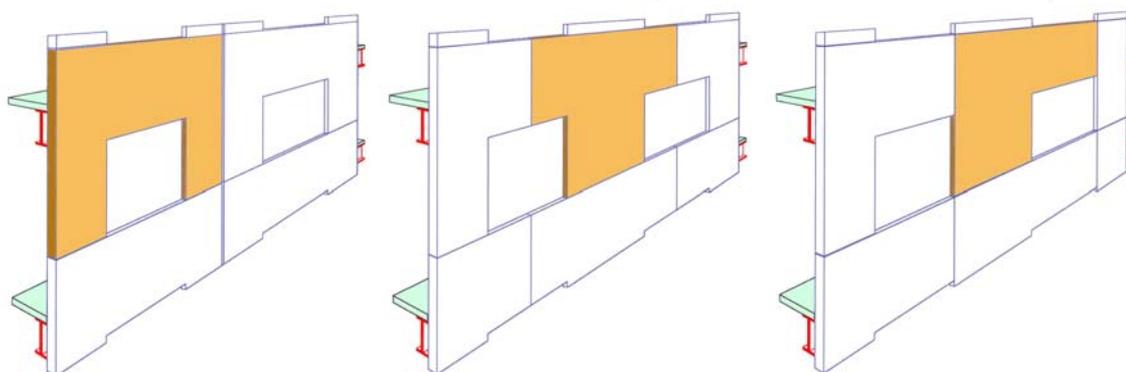


Figura 6.9 – Variações nas modulações

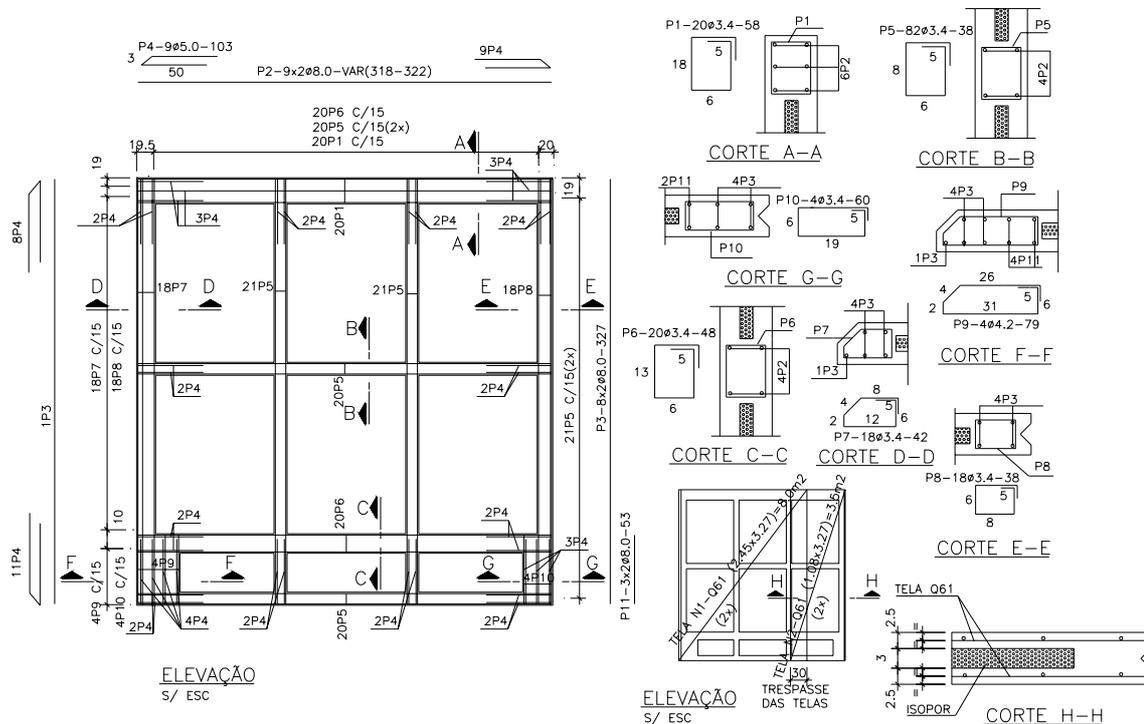


Figura 6.10 – Exemplo do detalhamento de armação de um painel com isolamento térmico em EPS (poliestireno expandido)

Os painéis devem atender, ainda, a critérios mínimos de desempenho [5]:

- Isolamento térmico com condutância térmica (k) variando de 1,05 a 1,35. Onde " k " é a perda de calor através de 1 m^2 de superfície, durante 1 hora, para uma diferença de temperatura de 1°C , em $\text{Watt}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- Índice de amortecimento acústico de 42 dB em zona de muito ruído e 35dB em zona de ruído (centros urbanos).
- Estanqueidade.
- Impermeabilidade.
- Estabilidade estrutural.

- Resistência ao fogo propiciada pelas características do concreto e pelo recobrimento da armadura, sendo de 1/2 hora para recobrimento de 1cm, 1 hora para 2cm e 2 horas para 4cm.
- Qualidade visual e estética.
- Durabilidade propiciada por:
 - Proteção da armadura : mínimo de 3 cm na face externa e 2 cm na interna.
 - Ausência de patologias nos revestimentos.
 - Durabilidade dos selantes das juntas.
 - Prevenção da corrosão das fixações e dos mecanismos de enfraquecimento do material por fadiga. Excluindo outras ações, os conectores sofrem pelo menos um ciclo diário de alternância de tensões, propiciado pelo aquecimento e resfriamento.
 - Variações volumétricas devidas à temperatura e umidade. A retração é da ordem de 40×10^{-5} m/m. Devido à temperatura, em relação a 20°C, é de +40 a -40×10^{-5} m/m. A variação por conteúdo de umidade é de 0 a 20×10^{-5} m/m. Todos estes itens juntos propiciam uma variação de 60 a -80×10^{-5} m/m. Para um painel com 4m de vão equivale a dimensionar uma junta para uma variação de abertura de 2,5 a 3,2mm.

Antes de se projetar utilizando os sistemas de painéis para fachadas, deve ser realizada uma pesquisa de mercado, identificando os potenciais fornecedores e quais as características de cada sistema. A filosofia de projeto não é desenvolver um novo

painel, mas utilizar toda a potencialidade do sistema previamente escolhido para ser empregado na obra.

7

DIVISÓRIAS DE GESSO ACARTONADO

As divisórias de gesso acartonado são o tipo de vedação industrializada, interna, mais difundido. Empregam placas de gesso acartonado revestida em ambas as faces por uma folha de papel acartonado. A baixa resistência à tração do gesso é suprida pelo papel cartão aderido que atua como uma malha de tração e confere um melhor acabamento final.

As placas são fixadas, através de parafusos auto-brocantes (não necessitam de pré-furo), nas partes externas de uma estrutura composta por perfis verticais em chapa

galvanizada, dobrada, em forma de “U” enrijecido. Estes perfis são fixados no topo e na base em guias, tipo canaleta ou perfil “U” não enrijecido, do mesmo material, podendo ser aparafusados ou apenas fixados através de uma mocha produzida por um alicate especial. O espaço entre estes montantes corresponde, sempre que possível, à metade da largura de uma chapa de gesso, i.e, 600mm, para se obter um grau maior de racionalização e economia.

O vazio formado entre as placas é utilizado para distribuir as instalações e, quando necessário, preenchido com material isolante , oferecendo melhor índice de amortecimento acústico. Os montantes contêm furos regularmente espaçados em sua alma, possibilitando a passagem de tubulações através dos mesmos, sem comprometer a sua estabilidade.

As placas possuem um pequeno rebaixo em suas extremidades maiores (altura) que permite a aplicação de uma tela de reforço, que tem como função evitar o surgimento de fissuras nesta junção. O acabamento final pode ser através da aplicação direta de pintura oferecendo uma textura mais rugosa ou da aplicação prévia de uma demão de massa corrida, resultando em uma superfície mais lisa e melhor acabada.

Para as áreas de alta umidade ou molháveis, são empregadas placas especiais, com maior resistência à umidade ou placas à base de cimento e fibras, denominadas “cimentícias”.

A espessura final da divisória depende do tipo de montante/calha utilizado , da quantidade e espessura de placas aplicadas em cada face.

Estes aspectos são função do desempenho termo-acústico e resistência ao fogo desejados.

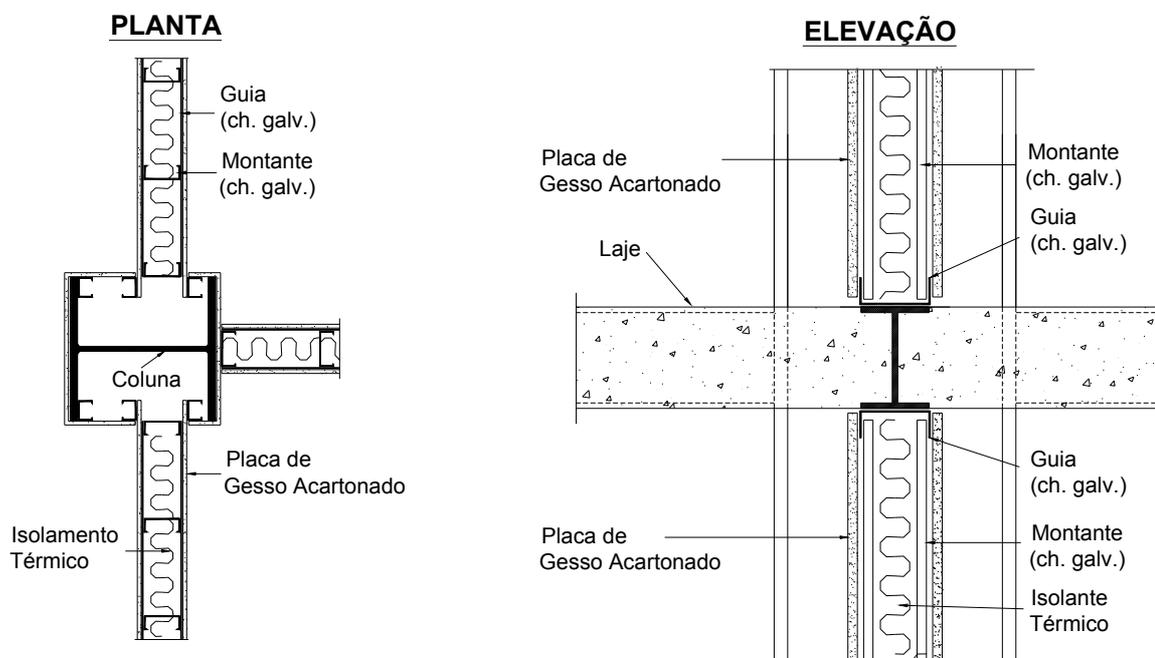


Figura 7.1 – Detalhe divisória gesso acartonado, adaptado de [8]



Figura 7.2 – Vista das divisórias do protótipo



Figura 7.3 – Vista interna de uma obra

O “dry-wall” é um sistema largamente difundido e testado em todo o mundo industrializado, não causando grandes surpresas se corretamente empregado, conforme indicação dos catálogos dos fornecedores.

Requer uma ampla gama de acessórios e ferramentas [13] específicas fornecidas juntamente com as placas:

- ✓ Puncionador – produz a mocha na ligação guia-montante
- ✓ Tesoura para chapas – cortar as guias e montantes
- ✓ Serra-copo – furar as chapas para instalar caixas ou passa instalações
- ✓ Misturador de massas – misturar e homogeneizar as pastas
- ✓ Furadeira e parafusadeira – furar e fixar as chapas aos montantes
- ✓ Elevador e pedal elevador de chapas – manusear/levantar as chapas
- ✓ Desempenadeira/espátulas – aplicar as pastas corretivas
- ✓ Estiletos/serrotes – cortar as chapas de gesso
- ✓ Nível – nivelamento/posicionamento da estrutura
- ✓ Etc.

É um sistema com alto grau de rigidez e, devido ao tamanho e comportamento das placas, todos os detalhes de união com a estrutura ou outro elemento devem ser rigorosamente estudados, compreendidos e detalhados.

Permite uma grande flexibilidade de soluções e de desempenho.

Pode-se verificar todo o comportamento e estanqueidade das tubulações das instalações antes de fechar definitivamente a parede.

Facilita alterações rápidas de ambiente, sem grandes traumas e sem provocar grande volume de entulho pois as placas podem ser reaproveitadas, desde que estejam em bom estado.



Figura 7.4 – Detalhe chapas especiais para banheiro

A compartimentação do fogo em áreas divididas com este sistema deve ser cuidadosamente estudada para garantir a integridade dos elementos e para não permitir que atuem como mecanismo de disseminação do incêndio [6]. É importante utilizar somente materiais e instalações cujo desempenho ao fogo tenham sido testados e que estejam de acordo com a resistência esperada do conjunto.

Os fornecedores [16] garantem que um divisória com espessura final de 100mm, com uma chapa de gesso de 12,5mm em cada face, propicia 30 minutos de resistência ao fogo e 39 dB de isolamento acústico. Estes valores podem ser aumentados se inseridos materiais isolantes entre as chapas ou acrescentadas mais chapas de gesso. No primeiro caso não é alterada a espessura final, o que ocorre na segunda opção.

São previstos dispositivos especiais para fixação de cargas de maior responsabilidade como louças, vasos sanitários e prateleiras. Existe uma grande variedade de insertes, buchas de fixação e parafusos especiais, bem como suportes próprios para este fim.

É prevista uma junta entre o topo do montante e o fundo da guia superior de forma a compensar as flechas das vigas/lajes, evitando sobrecargas nestas peças.

Em suma este sistema merece atenção especial quanto aos detalhes, que por fim, serão os responsáveis pelo bom desempenho de todo o conjunto face às solicitações impostas.

8

CONCLUSÕES

Desenvolver um sistema construtivo completo para um edifício padrão HIS é uma tarefa de grande amplitude, que extrapola o objetivo proposto nesta dissertação. Frente ao prazo disponível, o desenvolvimento completo do sistema construtivo mostrou-se inviável por dois motivos básicos:

- Primeiro a necessidade de desenvolvimento de um sistema estrutural extremamente racionalizado que reduzisse, de forma significativa, a sua parcela no custo final da edificação. Esta etapa centralizou o foco de todas as discussões, demandando um tempo de pesquisa e consolidação dos conhecimentos, consumindo parcela significativa do tempo disponível.

- No tempo disponível para a pesquisa foi possível elaborar a conceituação geral a ser empregada nos sistemas de vedação vertical interna e externa do edifício, incluindo a sua avaliação no edifício protótipo, sem entretanto serem detalhadas, analisadas e resolvidas a compatibilidade destes elementos com os demais subsistemas do edifício.

As principais conclusões obtidas nesta etapa e que nortearam os rumos para as restantes, são expostas a seguir:

8.1 Estrutura

A obtenção de uma solução estrutural com menor taxa possível de aço, em relação às soluções disponíveis, representou a possibilidade de viabilização do sistema, sob o ponto de vista comercial. A grande diferença entre o peso da estrutura desenvolvida, 16 kg/m², em relação às convencionais de 25 a 30 kg/m², aumentou a margem de competitividade do sistema.

Foram percorridas diversas etapas do desenvolvimento de um novo sistema, incluindo ensaios mais recentes com aplicação de lajes pré-moldadas em 50% da estrutura do segundo pavimento e maciça no restante. Estes trabalhos foram conduzidos pelo LAEES, sem a interferência do autor. Vale todavia ressaltar:

- As lajes pré-moldadas obtiveram um desempenho compatível com as lajes maciças, demonstrando a possibilidade de substituição de um processo tradicional por um sistema mais racionalizado.

- A deformabilidade das lajes maciças, absolutamente, atingiram valores compatíveis com as estruturas tradicionais. As alterações a seguir descritas, modificaram a concepção inicial, impossibilitando uma análise comparativa mais profunda e profícua com o sistema originalmente proposto. Foram realizadas as seguintes alterações na concepção durante a segunda fase de ensaios:

1. Fixação das mesas superior e inferior das vigas, com continuidade, aos pilares, através de cordão de solda de campo.
2. Alteração do cálculo e dimensionamento das lajes, considerando transferência de momentos fletores entre panos adjacentes.
3. Alteração das armaduras de ligação entre lajes, tanto no diâmetro da ferragem quanto na sua posição geométrica.

Os resultados não foram disponibilizados até a data de encerramento deste trabalho.

Os conceitos estabelecidos no projeto original foram empregados no estudo do Hospital Infantil do Câncer, a ser construído em Juatuba, MG, obtendo performance superior ao sistema convencional com vigas mistas e laje com forma metálica incorporada. A solução em laje embutida foi o grande diferencial defendido pelos autores do projeto arquitetônico, em virtude da liberdade de divisão do ambiente interno e da distribuição de dutos de ar condicionado e calhas elétricas. O módulo empregado foi de 120cm com malha estrutural de 480cm por 720cm.

8.2 Vedação Externa

Os painéis empregados na produção do protótipo foram de dois tipos distintos: misto com miolo de EPS e maciço com agregado leve de argila expandida. Este último, com espessura de 8cm, não apresentou um bom desempenho como isolante térmico quando comparado com os demais. A sua superfície interna estava mais aquecida que a daqueles executados com EPS. Esta verificação ocorreu através do toque, no local, em período de grande incidência dos raios solares. Todavia sob o ponto de vista estrutural, ultrapassou as exigências de projeto como foi comprovado através de ensaio de carga horizontal. Sugere-se que sua espessura seja alterada para o mínimo de 10cm.

As vedações entre painéis, fixação à estrutura, revestimento externo e qualidade formal, são de domínio do produtor, com experiência comprovada através da execução de diversas obras, não sendo necessária a execução de testes adicionais, para os sistemas empregados no protótipo. As fixações devem ser melhor estudadas, principalmente aquelas utilizadas nos painéis com função de contraventamento da estrutura.

As interfaces entre a superfície interna do painel e as divisórias de gesso acartonado devem ser tratadas como juntas de movimento, com as técnicas inerentes a esse sistema. A unidade montada no pavimento térreo, após a grande movimentação promovida pelo ensaios e exposição das lajes ao sol, acusaram pequenas fissuras na junção das placas de

gesso com os painéis, mesmo tendo sido executado o tratamento convencional com fita fornecida pelo fabricante. As deformações verticais impostas pelas lajes, em situação de teste, foram absorvidas pela flexão, fora do plano, das placas de gesso acartonado, acompanhada pela estrutura de apoio em perfis de chapa galvanizada. A deformação imposta superou a folga existente no topo dos montante e as placas foram fixadas rente ao funda das lajes/vigas.

As juntas entre lajes e painéis das fachadas, nas áreas molhadas, especialmente o "box" do banho, deverão ser projetadas e testadas em ambiente controlado, para aferir sua eficiência. Este poderá tornar-se o ponto crítico de todo o sistema se não for detalhado e analisado corretamente.

As juntas entre as lajes e as vigas poderão ser solucionadas com a elevação da altura da laje, ultrapassando em 2 cm a mesa superior. Neste espaço, e sobre as vigas, deverá ser inserida uma malha de aço formada por tela eletrossoldada, com a função de transferir momentos fletores entre lajes adjacentes e reduzir a rotação da laje, em um plano perpendicular ao eixo da viga.

8.3 Vedação Interna

Os testes realizados não contemplaram a situação com deformação também da estrutura de base (inferior) uma vez que as divisórias foram executadas no primeiro pavimento, apoiadas sobre um contrapiso de concreto sobre as cintas de fundação.

As divisórias de gesso acartonado têm sua técnica de aplicação largamente pesquisada, testada e difundida. Para um bom desempenho deve-se aplicar corretamente todos os princípios, evitando as soluções improvisada e decorrentes de falta de acessórios específicos. A concepção estrutural desenvolvida neste trabalho favorece o emprego deste tipo de vedação. Os principais fatores são:

1. Superfície lisa, tanto piso quanto teto, sem obstruções de vigas, reduzindo os arremates e favorecendo o aumento da produtividade.
2. Deformações estruturais apropriadas com precisão, definindo corretamente os parâmetros para dimensionamento de juntas.
3. Valorização da velocidade de execução, compatível com os demais sistemas empregados.

Os demais subsistemas como instalações, esquadrias, revestimentos, cobertura, impermeabilização, dentre outros, têm suas técnicas difundidas e seu uso já é corrente no segmento da construção civil. Vale salientar a observância dos procedimentos e detalhes executivos de cada um.

8.4 Custos estimados

Em setembro de 2001, durante a fase complementar dos ensaios de campo, foi elaborado um estudo para um conjunto habitacional composto por 10 edifícios de 4 andares e 16 apartamentos de 42m² por unidade. Foram orçadas duas soluções em estrutura metálica:

- Estrutura em perfis cartola, em chapa dobrada, com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos, convencional;
- Estrutura em perfis eletrossoldados e vedações em painéis de concreto maciço, pré-moldados, conforme desenvolvido neste trabalho.

Foram estimados os seguintes custos:

	Estrutura em chapa dobrada (perfil cartola)	Estrutura em estudo (laje plana)
Estrutura montada incluindo escadas	R\$48.500,00	R\$39.500,00
Lajes em concreto armado	R\$27.200,00	R\$29.300,00
Alvenaria externa	R\$ 9.200,00	
Reboco externo	R\$ 7.300,00	
Vergas + contra-vergas	R\$ 3.700,00	
Pintura externa	R\$ 4.900,00	
Andaime fachadeiro	R\$ 3.200,00	
Painel pré-moldado		R\$76.500,00
Total estimado	R\$104.000,00	R\$145.300,00

Os preços foram obtidos dos fornecedores de estrutura metálica, de painéis pré-moldados e pelo construtor, detentor da obra analisada.

A grande discrepância entre o preço da fachada industrializada e a executada em alvenaria convencional deve-se aos seguintes fatores;

- Os painéis NÃO foram desenvolvidos especificamente para utilização em habitações padrão HIS, sendo usualmente empregados em edificações de custo unitário muito mais elevado que o estudado.

- O custo deste tipo de sistema está relacionado diretamente com o preço do cimento e do aço, ambos referenciados pela cotação do "dólar".

No processo em alvenaria estrutural estas etapas seriam executadas ao custo estimado, pelo construtor, de R\$85.200,00. Neste caso o custo administrativo, para um período de construção de 10 meses, é estimado em R\$25.000,00/mês, conforme informado pelo diretor da construtora consultada. Segundo ele, caso a solução, objeto deste estudo, atingisse o valor da estrutura convencional, a redução prevista no tempo total de obra, de 12 para 6 meses, justificaria a opção pelo sistema industrializado.

Observa-se que o preço dos painéis, à data do estudo, inviabiliza o sistema proposto, a menos que sejam desenvolvidas soluções específicas para este tipo de empreendimento.

Algumas diretrizes podem ser estipuladas para se atingir este objetivo:

- Padronização dos módulos a serem empregados nas construções HIS;
- Utilização de revestimentos obtidos através do próprio concreto, como por exemplo a textura através do jateamento, com água pressurizada, da superfície do painel;
- Produção das peças através do sistema "tilt-up", sem necessidade de flexão do painel, durante a desforma. Este procedimento é possível com formas basculantes, reduzindo, consideravelmente, a taxa de armadura dos painéis;
- Simplificação dos sistemas de fixação das peças à estrutura;
- Montagem dos painéis utilizando equipamentos de menor custo do que o dos guindastes orçados neste estudo - estimado em R\$8.000,00/prédio;

8.5 Considerações finais

Alguns aspectos importantes, do sistema como um todo, devem ser melhor analisados, para uma adequação correta ao emprego da estrutura metálica, painéis e lajes:

1. Ligação das vigas com os pilares utilizando-se de sistemas que reduzam as rotações nos apoios e evitem o emprego de solda de campo. A fixação das mesas superiores aos pilares por meio de solda de campo, tem um comportamento mais eficiente que o sistema de parafusos empregado. Todavia o emprego de solda no canteiro de obra contraria as premissas iniciais deste trabalho.
2. As ligações entre lajes adjacentes, se pesquisada isoladamente, fornecerá parâmetros mais eficientes e econômicos para o detalhamento dessas uniões. Como não foram encontrados estudos similares, devem ser realizados ensaios comparativos visando medir a eficiência de cada detalhamento.
3. A utilização de uma altura maior da seção transversal das lajes, ultrapassando em cerca de 2cm a altura das vigas, deverá ser avaliada pela relação de aumento de custo com a eficiência estrutural e estanqueidade do pavimento. Devem ser também analisados os efeitos decorrentes do acréscimo da carga permanente tanto no comportamento das lajes e vigas quanto no custo das fundações.
4. A utilização de lajes mistas, cujos resultados são objetos da segunda fase de ensaios já realizada, deve ser aprimorada quanto a modulação e ligações entre placas de lajes. Do que foi observado há um longo caminho para melhoria a qualidade deste produto, cujo resultado concentra-se no fornecedor, não havendo justificativa para pesquisas mais elaboradas, neste primeiro momento.

5. A vedação entre os painéis e as lajes, especialmente nas áreas molhadas, é um fator determinante para o sucesso desta proposição. O estudo exaustivo de soluções duráveis, econômicas e de fácil execução, merece um trabalho à parte de pesquisa científica.
6. Desenvolvimento de painéis específicos para este tipo de empreendimento, conforme já citado no item anterior.
7. O mecanismo de transferência de carga dos painéis de contraventamento para os pilares dever ser avaliado e testado isoladamente de forma a se obter uma maior rigidez e eficiência do sistema. Os ensaios indicaram deformações ou na chapa de ligação ou nas mesas dos pilares.

Quaisquer que sejam os caminhos derivados deste trabalho inicial, contendo conceitos inovadores, devem centrar-se no objeto final que é a produção industrializada de moradias verticais, de interesse social, que ofereçam qualidade nos diversos aspectos;

- Estrutural;
- Isolamento térmico;
- Isolamento acústico;
- Estanqueidade;
- Durabilidade;
- Baixo custo;
- Estética formal.

As pesquisas devem contemplar sempre a visão universal do edifício, em todas as suas etapas, tendo como elementos balizadores o custo final compatível com o mercado e o atendimento aos anseios dos usuários.

De forma geral a estrutura mostrou-se eficiente e adequada para o tipo de edificação estudado com custo final bastante competitivo. Quanto às vedações, são poucos os sistemas disponíveis no mercado brasileiro gerando uma oferta inferior à demanda e conseqüentemente um preço mais elevado. A oferta de outros sistemas acarretará, sem dúvida, uma redução no preço das vedações industrializadas e a sua representatividade no custo final da obra, fortalecendo a solução proposta neste trabalho.

Acredita-se que este trabalho trouxe uma contribuição à construção civil, ao mostrar a viabilidade do desenvolvimento de um processo construtivo industrializado em estrutura de aço e vedações racionalizadas. Apresenta-se como alternativa eficaz e de rápida implantação, para a resolução dos grandes problemas sociais gerados pela caótica política habitacional implementada nas últimas décadas.

9

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALLEN, E. – “Fundamentals of building construction - Materials and Methods”, 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., EUA, 1999.
- [2] AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION –LRFD. “Load and resistance factor design especification for steel buildings, Manual of Steel Construction – Loads and Faactor Design”, 3rd Ed., AISC, Chicago, IL, 1999.

- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - “Projeto e Execução de obras de concreto armado”, NBRR 6118. Rio de Janeiro, 1978.
- [4] BENDER, R.. – “Una visión de la construcción industrializada”, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, Espanha, 1976.
- [5] BLACHÈRE, G. – “Tecnologías de la constucción industrializada”, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, Espanha, 1977.
- [6] BRITISH GYPSUM – “The Compendium of dry lining systems and plastering products”, The White Book, England, 1991.
- [7] CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR, COMENTÁRIOS – Saad, E.G., 3ª Ed., LTr, São Paulo, 1998.
- [8] COELHO, R. de A. – “Interface entre perfis estruturais laminados e sistemas complementares”, Coletânea do Uso do Aço, Açominas, 1ª. Ed., 2002.
- [9] COELHO, R. de A.- “Sistemas Complementares para Edifícios em Estrutura Metálica” - Notas de Aula, III Seminário Internacional do Uso do Aço na Construção Metálica, Belo Horizonte, MG, 2000.
- [10] DIAS, L. A.de M. – “Edificações de Aço no Brasil”, Zigurate Editora, São Paulo, SP, 1993.
- [11] INPAR, Construtora - Edifício Comercial construído em Guarulhos, 2002.
- [12] INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE –“Revista Construções Residenciais em todo o mundo”, Editada pela USIMINAS, 1996.
- [13] KNAUF DO BRASIL – “Sistemas de Construção a Seco”, Catálogo técnico, Queimados, RJ.

- [14] KPFF CONSULTING ENGINEERS – “Design Guide for Structural Brick Veneer”, Western States Clay Products Association, Los Angeles, CA, 1998.
- [15] LAEES-UFMG - “Verificação da resistência estrutural do sistema construtivo slim floor em vigas de perfis Usilight e painéis Precon”, Relatório Técnico, Belo Horizonte, 2001.
- [16] LAFARGE GYPSUM - “Sistemas Lafarge Gypsum”, Catálogo técnico, São Paulo.
- [17] LEONHARDT, F. Et E.M. – “Construções de Concreto” - Volume I, Editora Interciência Ltda., Rio de Janeiro, RJ, 1979.
- [18] QUEIROZ, G., PAULA, F. A. de, “*Calibration of a F E MODEL for the Analysis of slim composite floor*”, 2000 Annual Technical Session & Meeting, Memphis, Tennessee, USA, 2000.
- [19] ROCHA, A. M. da – “Concreto Armado”, V.1, 18^o. Ed. ,Livraria Nobel S.A., Rio de Janeiro, 1981.
- [20] SABBATINI, F.H. – “Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – Formulação e Aplicação de uma Metodologia”, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1989.
- [21] SCHLEICH, J. B., “*Slim floor Construction : Why?*”, Composite Construction – Conventional and Inovative – International Conference. Innsbruck, Austria, 1997.
- [22] SH Formas - “Projeto de cimbramento para o protótipo Usiminas”, Belo Horizonte, 2000.

- [23] SILVA, V. P. e S. – “Estruturas de Aço em situação de incêndio”, Ziguarte Editora, São Paulo, SP, 2001.
- [24] TSCHEMMERNEGG, F. - “Innsbrucker Mischbautechnologie im Wiener Millennium Tower”, Stahlbau, August, Ernst & Sohn, Alemanha, 1999.
- [25] USIMINAS, PÓRTICO Construções Metálicas e LAEES-UFMG, “Convênio de pesquisa e desenvolvimento”, Belo Horizonte.
- [26] USIMINAS - “Revista USITETO”, Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço – DGA, Usiminas.
- [27] VIOTTO, D. e DI MATTOS, C. – “Aço – solução para habitações populares”, Construção Metálica, nº 46, São Paulo, SP, 2001.