

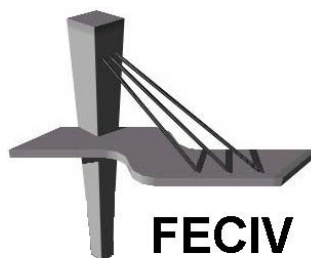
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 010

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PAINÉIS
DE CHAPAS DE AÇO COMO ELEMENTOS
ESTRUTURAIS E DE VEDAÇÃO**

NELMIRA MARIA PAMPLONA

UBERLÂNDIA, 19 DE AGOSTO DE 2005.



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
UBERLÂNDIA**
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil**



Nelmira Maria Pamplona

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PAINÉIS DE CHAPAS DE
AÇO COMO ELEMENTOS ESTRUTURAIS E DE VEDAÇÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia das Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Prudente

UBERLÂNDIA, 19 DE AGOSTO DE 2005.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

P186a Pamplona, Nelmira Maria, 1977-
Análise do comportamento de painéis de chapas de aço como elementos estruturais e de vedação / Nelmira Maria Pamplona. - Uberlândia, 2005.
111f. : il.
Orientador: Mauro Prudente.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.
1. Aço - Estrutura - Teses. 2. Painéis de parede - Teses. 3. Chapas de metal - Teses. I. Prudente, Mauro. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU624.014.2(043.3)

*A vocês que me deram a vida e me ensinaram a
vivê-la com dignidade. Iluminaram os caminhos
obscuros com afeto e dedicação, se doaram
inteiros, renunciando seus próprios sonhos em
favor dos filhos.*

*Pais por natureza, por opção e por
amor...Dedico a vocês este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Talvez eu pudesse simplesmente dizer obrigada a todos que fizeram parte do desenvolvimento deste trabalho, onde tudo foi engrandecedor profissionalmente e pessoalmente. Mas seria muito pouco, pois algumas pessoas foram essenciais, por isso, gostaria de agradecer:

A Deus, por me dar força e coragem para seguir sempre em frente, não permitindo que o cansaço me dominasse.

Aos meus pais, Adelfício e Maria Inês, pelo amor, pelo apoio incondicional e pelo grande incentivo. Esta vitória também é de vocês.

A meus irmãos e irmãs, Antonio, Delmira, Carlos, Wagner e Selmira que sempre me apoiaram ao longo de toda a caminhada da minha vida.

Ao Carlinho, à Rosânia, à Karlinha e ao Juju, por me acolherem durante todos esses anos. Desejo, um dia, poder retribuir a inesgotável dívida que possuo para com vocês.

Ao meu orientador Prof. Dr. Mauro Prudente, pela oportunidade, pelos valiosos ensinamentos, passando-me um pouco de seu imensurável saber e pela paciência, mostrando-me a cada dia que este trabalho seria concretizado.

Aos eternos amigos conquistados na graduação, José Mário, Elisangela, Gustavo, Gisandra e Fernando Brasil, por toda amizade que me deram desde aquela época.

Aos novos amigos conquistados na pós-graduação, em especial à Viviane, ao Felipe Land, à Fernanda, à Cristina, ao Paulinho, à Carol, ao Ricardo e a todos aqueles que, apesar dos próprios problemas, que nem sempre eram poucos, estavam sempre dispostos a ajudar, tornando este período de mestrado menos trabalhoso e cansativo.

Não poderia deixar de agradecer em especial ao Anderson e ao Diego, meus amigos “co-orientadores”. Sem a inestimável ajuda de vocês tudo teria sido bem mais difícil.

Ao Omar pela contribuição fundamental prestada no desenvolvimento da pesquisa,
buscando sempre agilizar a solução dos problemas que surgiram.

Aos colegas do laboratório de informática pelos momentos de descontração, aliviando as
tensões do dia-a-dia, com destaque novamente à amiga Viviane, sempre disposta e bem
humorada nos momentos de estudo, não importando se era manhã, tarde ou até mesmo
madrugada. Sofremos muito, é verdade, mas também nos divertimos muito.

À secretária da pós, Sueli, nunca medindo esforços para nos ajudar. Não sei o que seria dos
mestrados sem você.

A todos os professores da Universidade Federal de Uberlândia pela parcela
importantíssima na construção do meu saber, em especial à Dr^a. Vanessa Cristina de
Castilho, à Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Vidigal de Lima e ao Prof. Dr. Francisco Antonio
Romero Gesualdo, que prestativos esclareceram minhas intermináveis dúvidas durante o
curso de mestrado.

Ao Prof. Dr. Antônio Pedro Clápis e à Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Vidigal de Lima, pela
valiosa contribuição corrigindo este trabalho na fase de qualificação.

A todos os funcionários da Faculdade de Engenharia Civil e da biblioteca da Universidade
Federal de Uberlândia, pela atenção e presteza com que sempre me atenderam. Com
destaque à secretária Maria Nazaréth Teixeira, sempre pronta a ajudar.

À amiga Gisandra, à minha irmã Selmira e ao Prof. Serratini que, desobrigadamente,
auxiliaram nas revisões dos textos.

À CAPES pelo suporte financeiro durante parte do período de mestrado.

Enfim...

...gratificante foi dividir com todos vocês minha alegria e meu esforço. Isto prova que tive
companheiros, amigos, aliados...

Pamplona, N. M. *Análise do Comportamento de Painéis de Chapas de Aço Como Elementos Estruturais e de Vedação.* Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2005. 111p.

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho uma proposta de sistema construtivo em chapas finas de aço dobradas formando painéis pré-fabricados, sendo esses empregados como estrutura e elementos de vedação de edificações populares de pequeno porte, com o objetivo de se obter uma alternativa de construção eficiente e de baixo custo. Para o estudo do comportamento estrutural dos painéis inicialmente é feito um pré-dimensionamento da estrutura conforme NBR 14762 (2001), no qual foram considerados como elementos estruturais os pilares que são criados na união dos painéis, além da verificação da estabilidade de chapas isoladas. Em seguida são desenvolvidos modelos numéricos baseados no método dos elementos finitos, com a utilização do programa ANSYS, utilizando-se o elemento SHELL63, para a análise da estabilidade do sistema proposto. Quanto ao comportamento dos painéis como elemento de vedação é feito um estudo comparativo acerca de diversos materiais empregados como isolantes térmicos em edificações, com relação aos quesitos desempenho e custo. São apresentados ainda comparativos de custo entre o sistema construtivo proposto, o sistema de vedações em alvenaria e o sistema de vedações em pranchas de madeira maciça.

Palavras-chave: estruturas de aço, pré-fabricação, painéis metálicos, sistema construtivo.

Pamplona, N. M. *Analysis of the behavior of steel plate panels as structural and fence elements.* MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2005. 111p.

ABSTRACT

This research presents a proposal of constructive system on folded thin steel plates forming pre-manufactured panels, which are used as structural and fence elements of small popular houses, with the aim of having an efficient construction and low cost alternative. For the study of the behavior structural of panels, it is made initially a structure presizing according to the NBR 14762 (2001), in which columns are taken as structural parts from the joining of panels and the assessment of the stability of isolated plate as well. After that, numerical models were developed based on the finite element methods, using ANSYS software and the SHELL63 element for the analysis of the stability for the proposed system. In relation to the behavior of the panels as fence element it is made a comparative study concerning the diverse thermal materials used as isolation in constructions, with relation to the performance and cost issues. There are still presented a cost comparison among the constructive system proposed, the fence masonry and the whole wood fence systems.

Keywords: steel structures, pre-manufacture, metallic panels, constructive system.

SÍMBOLOS E SIGLAS

SÍMBOLOS

Letras romanas

A	Área
A_{ef}	Área efetiva
A_p	Área bruta da seção transversal do parafuso
a	Comprimento
b	Largura
b_{ef}	Largura efetiva
CC	Centro de cisalhamento
CG	Centro de gravidade
C_e	Coefficiente de forma externo
c_{pi}	Coefficiente de pressão interna
C_T	Capacidade térmica
C_w	Constante de empenamento
c	Calor específico
d	Diâmetro nominal do parafuso
E	Módulo de elasticidade do aço
e	Excentricidade
F_G	Ação permanente
F_Q	Ação variável
$F_{Q,exc}$	Ação excepcional
F_{Rd}	Força resistente de cálculo
F_{Sd}	Força solicitante de cálculo
f_u	Resistência à ruptura do aço na tração
f_{up}	Resistência à ruptura do parafuso na tração
f_y	Resistência ao escoamento do aço
G	Módulo de elasticidade transversal do aço
h	Altura
I	Momento de inércia
i	Contador numérico
j	Contador numérico
k_σ	Coefficiente de flambagem local
KL	Comprimento efetivo de flambagem
$N_{c,Rd}$	Força normal de compressão resistente de cálculo

$N_{c,Sd}$	Força normal de compressão solicitante de cálculo
$N_{t,Rd}$	Força normal de tração resistente de cálculo
$N_{t,Sd}$	Força normal de tração solicitante de cálculo
N_e	Força normal de flambagem elástica
N_{et}	Força normal de flambagem elástica por torção
N_{ex}	Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo x
N_{ext}	Força normal de flambagem elástica por flexo-torção
N_{ey}	Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo y
q	Carga distribuída; Pressão dinâmica do vento
ROTX	Rotação em x
ROTY	Rotação em y
ROTZ	Rotação em z
R_{Se}	Resistência superficial externa
R_{Si}	Resistência superficial interna
R_T	Resistência térmica total
R_t	Resistência térmica de superfície a superfície
r	Raio de giração
S_1	Fator topográfico
S_2	Fator que considera a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e a sua altura sobre o terreno
S_3	Fator baseado em conceitos probabilísticos
t	Espessura
U	Transmitância térmica
UX	Translação em x
UY	Translação em y
UZ	Translação em z
V_0	Velocidade básica do vento
V_k	Velocidade característica do vento
V_{Rd}	Força cortante resistente de cálculo
V_{Sd}	Força cortante solicitante de cálculo

Letras gregas

α	Fator de imperfeição inicial
β	Parâmetro empregado no cálculo do fator de redução (ρ) associado à flambagem
γ	Coefficiente de ponderação
ρ	Fator de redução associada à flambagem; Densidade de massa aparente
λ	Índice de esbeltez; Condutividade térmica
σ	Tensão
δ	Deslocamento
ν	Coefficiente de <i>Poisson</i>
ψ	Fator de combinação de cargas
ϕ	Atraso térmico

SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CEF	Caixa Econômica Federal
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
EPS	Poliestireno Expandido
GRC	<i>Glassfibre Reinforced Cement</i>
IISI	<i>International Iron and Steel Institute</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LWFC	<i>Light Wood Framed Construction</i>
NAHB	<i>National Association of Home Builders</i>
NBR	Norma Brasileira Registrada
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
PCI	<i>Precast/Prestressed Concrete Institute</i>
PVC	Policloreto de Vinila
PSH	Programa de Subsídio Habitacional
SINDUSCON-SP	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
TCPO	Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Aplicação de painel de concreto – Boathouse em Sawyer Point, Cincinnati, Ohio.	7
Figura 1.2 – Aplicação de painel GRC – San Francisco Marriott Hotel,	8
Figura 1.3 – Aplicação de painel de gesso acartonado.....	9
Figura 1.4 – Aplicação de painel metálico.	10
Figura 2.1 – Estação Ferroviária Bananal, São Paulo.	14
Figura 2.2 – Chalé no Campus da UFPA: (a) vista da fachada frontal; (b) detalhe do painel em chapa metálica.....	15
Figura 2.3 – <i>Résidence Bruzzese</i> , Ontário, Canadá: (a) fase de montagem; (b) obra concluída.	17
Figura 2.4 – Casa de conservação de Recursos em Maryland, Estados Unidos: (a) fase de montagem; (b) obra concluída.	18
Figura 2.5 – Constituição dos painéis de parede.	18
Figura 2.6 – Residência Urbana do Século 21, Maryland, EUA: (a) fase de montagem; (b) obra concluída.....	19
Figura 2.7 – Casa de Aço em Rekem, Bélgica.	19
Figura 2.8 – Moradia com Estruturas de Aço Haia, Países Baixos.	20
Figura 2.9 – Montagem dos blocos de apartamentos em Raahe, Finlândia.	20
Figura 2.10 – Esquema de Residência Estudantil na Universidade de Cardiff, Reino Unido: (a) içamento dos módulos; (b) obra concluída.....	21
Figura 2.11 – Esquema de montagem dos painéis <i>Innovative Affordable Housing</i>	22
Figura 2.12 – Montagem de casa da <i>Daedalus Systems</i> : (a) fixação da canaleta à fundação; (b) ligação entre painéis; (c) montagem das paredes de painéis.....	23
Figura 2.13 – Moradia do sistema <i>Daedalus Systems</i>	23
Figura 2.14 – Desenho esquemático do sistema <i>steel framing</i>	25
Figura 2.15 – Construções em <i>steel framing</i> : (a) fase de montagem; (b) obra concluída.....	26

Figura 2.16 – Casa modelo do Sistema Modular CSN.....	27
Figura 2.17 – Seção do módulo básico.....	28
Figura 2.18 – Sistema de montagem dos painéis.....	29
Figura 2.19 – Esquema de fixação dos painéis à fundação.	29
Figura 2.20 – Edificação em dois pavimentos com uso de painéis HI-TECH.	30
Figura 2.21 – Edificação em painéis ICOMA.	32
Figura 2.22 – Fundação do sistema ICOMA.....	32
Figura 2.23 – Edificação em painéis <i>Wall Systems</i>	33
Figura 2.24 – Painéis sendo erguidos sobre a fundação.....	34
Figura 2.25 – Detalhes típicos das paredes.	36
Figura 2.26 – Modelo de pilares com encaixe “macho e fêmea”.....	37
Figura 2.27 – Confecção de painéis de bambu e casa modelo.	38
Figura 3.1 – Planta baixa da residência analisada.	39
Figura 3.2 – Montagem do painel (sem as chapas de fechamento).....	41
Figura 3.3 – Esquema de montagem e fixação dos painéis.	42
Figura 3.4 – Detalhe da ligação entre paredes perpendiculares: (a) canto em L; (b) canto em T.	42
Figura 3.5 – Pilares na união de painéis: (a) em planta; (b) em perspectiva [cm].	44
Figura 3.6 – Perfil U simples com as respectivas dimensões e propriedades geométricas.....	44
Figura 3.7 – Exemplos de flambagem por distorção da seção transversal de perfis formados a frio.	50
Figura 3.8 – Exemplos de flambagem local de perfis formados a frio.....	51
Figura 3.9 – Distribuição de tensões em placa comprimida: (a) carga inferior à carga crítica, (b) carga superior à carga crítica.....	51
Figura 3.10 – Coeficientes de forma externos, para paredes: (a) vento a 0°; (b) vento a 90° [dimensões em cm].....	54
Figura 3.11 – Coeficientes de forma externos, para telhados: (a) vento a 0°; (b) vento a 90° [dimensões em cm].....	55
Figura 3.12 – Forças devidas ao vento no telhado: (a) vento a 0°; (b) vento a 90°.....	55
Figura 3.13 – Reação horizontal das forças devidas ao vento na parede, proveniente do telhado.	56
Figura 3.14 – Perfil U simples.....	58

Figura 3.15 – Esquema de numeração de paredes.....	63
Figura 3.16 – Coeficiente k_{σ} de tensão de flambagem de placas sujeitas a compressão simples.....	64
Figura 3.17 – Elemento de casca SHELL63.....	66
Figura 3.18 – Chapa isolada para análise de flambagem.....	67
Figura 3.19 – Chapa deformada na flambagem não linear.....	68
Figura 3.20 – Curva força x deslocamento da chapa.....	68
Figura 3.21 – Vista dos modelos desenvolvidos: (a) caso 1; (b) caso 2.....	69
Figura 3.22 – Condições de contorno do modelo.....	70
Figura 3.23 – Carregamento nos modelos para análise de flambagem: (a) caso 1; (b) caso 2.....	71
Figura 3.24 – Vista geral do modelo.....	73
Figura 3.25 – Condições de contorno consideradas.....	74
Figura 3.26 – Modo deformado para análise não linear com força axial.....	75
Figura 3.27 – Modo deformado para análise não linear com força axial e esforço de pressão de vento: (a) vista da face que recebe a pressão; (b) vista da face oposta à que recebe a pressão.....	76
Figura 3.28 – Modo deformado para análise não linear com força axial e esforço de sucção de vento: (a) vista da face que recebe a sucção; (b) vista da face oposta à que recebe a sucção.....	77
Figura 3.29 – Curva força x deslocamento – força axial.....	78
Figura 3.30 – Curva força x deslocamento – força axial e pressão: (a) ponto da face que recebe a pressão; (b) ponto da face oposta à que recebe a pressão.....	79
Figura 3.31 – Curva força x deslocamento – força axial e sucção: (a) ponto da face que recebe a sucção; (b) ponto da face oposta à que recebe a sucção.....	80
Figura 3.32 – Parâmetros térmicos das vedações em estudo: (a) resistência térmica; (b) transmitância térmica; (c) atraso térmico.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Vantagens e aspectos condicionantes de utilização de vedações pré-fabricadas.....	5
Tabela 1.2 – Classificação das vedações verticais pré-fabricadas para edifícios com estruturas metálicas.....	6
Tabela 3.1 – Dimensões de bobinas e chapas Usiminas para aplicações na construção civil.....	43
Tabela 3.2 – Peso específico dos materiais de construção.....	52
Tabela 3.3 – Coeficientes de ponderação das ações.....	62
Tabela 3.4 – Fatores de combinação e fatores de utilização.....	62
Tabela 3.5 – Cargas de flambagem – caso 1 e caso 2.....	71
Tabela 3.6 – Cargas de flambagem do painel com U interno.....	72
Tabela 3.7 – Cargas de flambagem do painel sem U interno.....	72
Tabela 3.8 – Resultados teóricos de materiais isolantes.....	87
Tabela 3.9 – Custos dos sistemas construtivos estudados.....	91
Tabela A.1 – Custos do sistema construtivo proposto – fundação em <i>radier</i>	101
Tabela A.2 – Custos do sistema construtivo proposto – fundação em brocas e baldrames.....	103
Tabela A.3 – Custos do sistema construtivo em alvenaria de blocos cerâmicos.....	106
Tabela A.4 – Custos do sistema construtivo pré-fabricado em madeira.....	110

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
1.1 BREVE CONTEXTO HISTÓRICO	1
1.2 OBJETIVO	11
1.3 METODOLOGIA	11
1.4 JUSTIFICATIVA	11
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	12
CAPÍTULO 2	13
2.1 ESTADO DA ARTE	13
2.2 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PRÉ-FABRICADAS EM AÇO	16
2.2.1 <i>Résidence Bruzzese</i>	17
2.2.2 Casa de Conservação de Recursos	17
2.2.3 Residência Urbana do Século 21	18
2.2.4 Casa de Aço em Rekem	19
2.2.5 Moradia com Estruturas de Aço Haia	20
2.2.6 Bloco de Apartamentos em Raahe	20
2.2.7 Residência Estudantil na Universidade de Cardiff	21
2.2.8 <i>Daedalus Systems – Innovative Affordable Housing</i>	21
2.3 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	24
2.3.1 <i>Steel Framing</i>	24
2.3.2 Sistema modular CSN	26
2.3.3 Sistema <i>Quick-House</i>	28
2.3.4 Sistema Construtivo HI-TECH	30
2.3.5 ICOMA – Sistema Comodi	31
2.3.6 Sistema <i>Wall Systems</i>	33
2.3.7 Tecnologia MORISSON	34
2.3.8 Sistema LWFC (<i>Light Wood Framed Construction</i>)	35
2.3.9 Pré-fabricados de bambu com micro-concreto	37

CAPÍTULO 3	39
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	39
3.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO	40
3.2.1 Geometria	40
3.2.2 Elementos Estruturais	43
3.2.3 Ligações	45
3.3 ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO DE PERFIS	49
3.3.1 Ações atuantes	52
3.3.2 Verificação dos Estados Limites Últimos	56
3.4 ESTABILIDADE DE PLACAS ISOLADAS	64
3.5 MODELO NUMÉRICO	66
3.6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	82
3.7 ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS	89
CAPÍTULO 4	92
4.1 CONCLUSÕES	92
4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICE A	103

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 BREVE CONTEXTO HISTÓRICO

No Brasil, tradicionalmente, vêm-se as estruturas de concreto e as vedações em alvenaria como principais alternativas construtivas, sendo o uso das estruturas de aço ainda incipiente. Enquanto nos países desenvolvidos, há muito tempo, se dá preferência ao aço, aqui ainda predomina a utilização do concreto, principalmente porque o país dispõe de uma mão-de-obra barata e abundante. No entanto, a partir da década de 90 intensificou-se o uso de estruturas metálicas na construção civil, sendo esse uso consequência de uma série de fatores sócio-econômicos e em função de diversas características e vantagens do uso das mesmas, podendo-se citar, entre outras, as seguintes:

- **Maior área útil:** A estrutura em aço permite a adoção de seções de pilares e vigas mais esbeltas e em menor número, resultando em um melhor aproveitamento do espaço interno e aumento da área útil, fator de grande importância principalmente nos grandes centros urbanos, onde o espaço é vital e caro.
- **Menor prazo de execução:** Na construção em aço a possibilidade da fabricação da estrutura em paralelo com a execução das fundações permite o trabalho em diversas frentes de serviço simultaneamente, podendo assim ocorrer uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os sistemas convencionais, proporcionando um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e rapidez no retorno do capital investido.
- **Organização e racionalização:** A dispensa de escoramento, a ausência de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeira e ferragens e o pequeno manuseio de

materiais diversos reduzem a área necessária ao canteiro de obras, reduzindo entulhos e oferecendo melhores condições de segurança ao trabalhador. Reduz, com isto, a ocorrência de acidentes na obra, além da possibilidade de adoção de sistemas industrializados, fazendo com que o desperdício seja sensivelmente reduzido.

- **Precisão construtiva e qualidade:** Enquanto nas estruturas em concreto a precisão é medida em centímetros, na estrutura metálica esta precisão é em milímetros, resultando em melhor alinhamento, nivelamento e acabamento da construção.
- **Redução de cargas:** A maior resistência do aço torna as edificações mais leves, aliviando as cargas nas fundações e reduzindo seus custos.

As estruturas metálicas têm se mostrado uma alternativa para a industrialização da construção civil por favorecerem a retirada de uma série de atividades do canteiro de obras, aliando qualidade à racionalização e ao desenvolvimento de novos sistemas construtivos.

O Brasil dispõe de uma siderurgia moderna, capaz de suprir a demanda com produtos de alta qualidade, oferecendo boas soluções para os problemas habitacionais do país.

Hoje as vantagens do concreto estão sendo minimizadas pelo aumento da competitividade do aço e o Brasil está acordando para sua utilização como elemento estrutural. A intenção de fazer mais e melhor levou construtores de todo o Brasil a desenvolver e testar diferentes métodos construtivos.

Para que uma edificação tenha o desempenho desejável, é necessário que ela atenda a três requisitos básicos: estabilidade, resistência e habitabilidade. Seus materiais constituintes devem resistir ao fogo, apresentar bom isolamento térmico e acústico, suportar efeitos da degradação pelo uso e manter o desempenho previsto em projeto.

A indústria da construção civil mundial busca a modernização do setor, racionalizando os processos construtivos, sendo o uso de sistemas totais ou parcialmente pré-fabricados as tendências mais notáveis no setor.

A vedação vertical exerce forte influência no processo construtivo do edifício, portanto, sua escolha deve considerar os seguintes parâmetros:

- Adequação dos requisitos funcionais de desempenho às exigências do usuário;
- Facilidade e rapidez na execução.

Devido à carência de alternativas racionalizadas com relação a vedações verticais, tem se buscado o desenvolvimento de novas tecnologias que sanem problemas freqüentes nas obras, tais como desperdício de material, atrasos tecnológicos, despreparo de mão-de-obra e não compatibilidade entre projeto e execução.

Enquanto a Europa, os Estados Unidos e o Canadá fazem uso freqüente de sistemas racionalizados de vedação na construção civil, nacionalmente ainda impera a cultura construtiva da vedação em alvenaria tradicional, dificultando assim a introdução de novos sistemas.

As casas industrializadas de aço, madeira e PVC (Policloreto de vinila) já fazem parte do mercado nacional, indicando que não apenas os sistemas, mas toda uma maneira de construir evoluíram nos últimos anos. Os sistemas industrializados que utilizam o aço têm se mostrado bastante eficientes quando comparados aos sistemas construtivos tradicionais.

Uma grande vantagem desse processo é a rapidez na execução, uma vez que o sistema funciona como uma linha de montagem, na qual as diversas partes da edificação chegam prontas no canteiro, com medidas compatíveis para serem “encaixadas” umas às outras. Outra vantagem está no fato da edificação poder ser construída em módulos.

Na busca de melhores alternativas de vedação, busca-se a modernização no setor, tendo a racionalização construtiva um papel fundamental. Define-se a racionalização construtiva como o conjunto de ações que visam otimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos e financeiros em todas as fases da construção (SABBATINI, 1989 apud OLIVEIRA, 2002).

O uso de vedações verticais pré-fabricadas pode contribuir para a racionalização da construção civil, sendo assim de suma importância a determinação de requisitos e critérios de desempenho necessários para tais vedações.

As vedações verticais devem ser projetadas e construídas para suportarem o carregamento a que estão sujeitas, não permitindo assim colapso ou deformações que possam prejudicar

sua estabilidade e segurança, além de servirem de suporte e proteção às instalações do edifício.

Para o bom desempenho dessas funções, as vedações verticais devem apresentar algumas propriedades, dentre as quais se destacam:

- Desempenho térmico e acústico;
- Estanqueidade à água;
- Desempenho estrutural;
- Controle de iluminação;
- Durabilidade;
- Padrões estéticos.

Sabbatini (1998a, p. 10-11) abordou da seguinte forma a introdução de novos sistemas:

Nos últimos vinte e cinco anos temos assistido toda sorte de tentativas de se alterar esta situação pela introdução de métodos e processos construtivos inovadores. Dos sistemas construtivos pré-fabricados às divisórias leves tipo “dry wall” da década de 70, temos constatado uma sucessão de fracassos. No nosso entender os insucessos ocorrem em grande parte porque tentou-se introduzir as inovações mantendo-se a mesma estrutura organizacional de produção artesanal. Tentou-se evoluir, sem alterações significativas na forma de produzir(...).

Novos métodos construtivos são importantes, mas nada resolvem se não estivermos preparados para tirar deles os resultados pretendidos e prometidos.

A dependência de profissionais habilitados, a comercialização apenas das tecnologias de vedação e não de soluções construtivas, a necessidade de precisão dimensional e a limitação de deformação aceitável da estrutura e dos demais subsistemas são algumas limitações que ainda fazem parte do processo de utilização de vedações pré-fabricadas (BARROS, 1998; FRANCO, 1998; SABBATINI, 1998a).

Considerando, especificamente, o mercado para edifícios com estruturas metálicas, precisa-se investir na racionalização do sistema da produção das vedações verticais, sendo

esse um dos principais gargalos tecnológicos da construção de edifícios, uma vez que a alvenaria tradicional não é a solução mais apropriada, principalmente quando a velocidade da execução é um fator significativo.

A Tabela 1.1 apresenta algumas vantagens e limitações de utilização de vedações pré-fabricadas em edifícios com estruturas metálicas e a Tabela 1.2 mostra algumas opções de vedações verticais racionalizadas.

Tabela 1.1 – Vantagens e aspectos condicionantes de utilização de vedações pré-fabricadas.

Vantagens	Limitações atuais
Maior organização e limpeza no canteiro	Imagem negativa de vedações pré-fabricadas junto aos usuários
Redução do número de atividades realizadas no canteiro	Normalização em desenvolvimento pela ABNT, sobre desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – parte 4: fachadas (ABNT/CB-02)
Facilidade no controle e menor desperdício de materiais	Necessidade de mudanças na qualidade do processo de produção dos demais subsistemas
Diminuição de acidentes	Necessidade de mudanças organizacionais nos processos de gestão de empreendimentos e produção
Aceleração do cronograma, redução de prazos e custo.	Dependência de profissionais habilitados em todos os níveis
Facilidade de utilização de instalações embutidas e de manutenção dessas instalações	Dependência na fabricação de complementos e acessórios no Brasil
Facilidade de introdução de isolamentos	Necessidade de interação com os outros subsistemas construtivos
Eliminação ou diminuição de algumas atividades existentes no processo tradicional como revestimento	Comercialização dos sistemas e não de soluções construtivas
Precisão dimensional e superfícies lisas	Necessidade de precisão dimensional da estrutura metálica e demais subsistemas
Possibilidade de ganho de área construída	Utilização de painéis apenas de vedação
Possibilidade de modificações no <i>layout</i>	Necessidade de juntas e fixações

Adaptado: BARROS (1998); FRANCO (1998); SABBATINI (1998b); PEREIRA (2001).

Tabela 1.2 – Classificação das vedações verticais pré-fabricadas para edifícios com estruturas metálicas.

Modalidade	Classificação	Descrição
Função	Envoltória externa	Proteção lateral contra ação de agentes externos.
	Compartimentação interna	Divisão entre ambientes internos em uma mesma edificação.
	Separação	Divisória entre unidades e área comum.
Técnica de execução	Conformação	Vedações moldadas ou elevadas no próprio local, com o emprego de água. Trata-se das alvenarias ou painéis moldados no local.
	Acoplamento a seco	Vedações montadas a seco, sem a necessidade do emprego de água. Trata-se dos painéis leves.
	Acoplamento úmido	Vedações montadas com solidarização com argamassa. Trata-se de elementos pré-fabricados de concreto.
Mobilidade	Fixas	Necessitam receber os acabamentos no local. Os elementos constituintes dificilmente são recuperáveis.
	Desmontáveis	Passíveis de serem desmontadas com pouca degradação.
	Removíveis	Passíveis de serem montadas e desmontadas facilmente, sem degradação dos elementos constituintes. Elementos totalmente modulares.
	Móveis	Empregadas na simples compartimentação dos ambientes.
Densidade superficial	Leves	Não estruturais, de densidade superficial baixa, sendo o limite de aproximadamente 100 kg/m ² .
	Pesadas	Podem ser estruturais ou não.
Estruturação	Estruturadas	Necessitam de uma estrutura reticular de suporte. (Ex: painéis de gesso)
	Auto-portantes	Não necessitam de uma estrutura de suporte. (Ex: alvenaria)
	Pneumáticas	Sustentadas a partir da injeção de ar comprimido. (Ex: galpões em lona)
Continuidade do plano	Monolíticas	A absorção dos esforços transmitidos à vedação é feita por todo o conjunto dos elementos solidariamente.
	Modulares	A absorção dos esforços transmitidos à vedação é feita pelos componentes de modo individual, em função da existência de elementos de juntas.
Continuidade superficial	Descontínuas	As juntas entre componentes ficam aparentes.
	Contínuas	As juntas não são aparentes.
Acabamento	Revestimento incorporado	Vedações posicionadas e acabadas em seus lugares definitivos, sem a necessidade de revestimento posterior.
	Revestimento <i>a posteriori</i>	Vedações executadas em seus lugares definitivos, sem a aplicação prévia de revestimentos.
	Sem revestimento	São utilizadas aparentes ou recebem unicamente uma pintura.

Adaptado: SOUZA, U. (1998); PEREIRA (2001).

Principais alternativas disponíveis de vedações racionalizadas, nos mercados nacional e internacional:

I) Painéis de concreto.

A utilização dos painéis de concreto teve início na década de 50 no mercado internacional, vivendo seu auge na década de 60, apresentando, em seguida, um declínio devido à limitação estética resultante do rigor imposto pela padronização dos componentes.

A Figura 1.1 mostra um exemplo de edificação em painéis de concreto, que podem ser utilizados como elemento estrutural ou como vedação, apresentando vantagens econômicas devidas à possibilidade de padronização, no entanto, quando tal padronização não ocorre, o custo se torna alto (SILVA, M. G.; SILVA, V. G., 200-).



Figura 1.1 – Aplicação de painel de concreto – Boathouse em Sawyer Point, Cincinnati, Ohio.

Fonte: PCI (1998).

II) Painéis de GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*).

Os painéis de GRC têm sido utilizados nos Estados Unidos, Europa e Japão como uma alternativa de vedação capaz de ampliar consideravelmente o potencial arquitetônico de painéis pré-fabricados, sendo mostrado na Figura 1.2 um exemplo de aplicação dos referidos painéis.

Foi primeiramente utilizado na Inglaterra como extensão de pesquisa para o desenvolvimento das fibras de vidros resistentes a álcalis.

Professores e estudantes do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em parceria com a empresa Verdicon, desenvolveram um projeto de penitenciária modular onde cada unidade prisional é formada por painéis pré-fabricados feitos de GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*). Estes painéis são montados, soldados e concretados entre si, havendo ainda um reforço adicional de uma barra de aço entre cada um deles.

Devido à pequena espessura e leveza dos painéis ocorre ganho de área útil e alívio de carga para a estrutura. No entanto, a incompatibilidade química do cimento com as fibras de vidro pode prejudicar o aumento da resistência mecânica ao longo do tempo (SILVA, M. G.; SILVA, V. G., 200-).



Figura 1.2 – Aplicação de painel GRC – San Francisco Marriott Hotel, Califórnia, EUA.

Fonte: PCI (1995) apud PEREIRA (2001).

III) Painéis de gesso acartonado.

As chapas de gesso acartonado foram utilizadas em divisórias internas nos Estados Unidos a partir da década de 40, no entanto, somente na década de 70 deu-se início à produção destas chapas no Brasil, em Petrolina, sendo mostrado na Figura 1.3 um exemplo de aplicação dos painéis de gesso acartonado no interior de edificações.

Os painéis em gesso acartonado são desmontáveis, leves e com baixo volume de material, no entanto, são sensíveis à umidade e praticamente não contraventam a estrutura (SABBATINI, 1998a).



Figura 1.3 – Aplicação de painel de gesso acartonado.

Fonte: LAFARGE GYPSUM (CD-ROM).

IV) Painéis metálicos.

Os painéis metálicos, principalmente o painel sanduíche de aço ou de alumínio, constituem uma alternativa de vedação pré-fabricada bastante utilizada no exterior, possibilitando a construção de edifícios com padrão arquitetônico, linhas e formatos que fogem do usual.

Os painéis são compostos por lâminas metálicas, isolamento térmico e revestimento interno. As chapas de aço são as mais utilizadas, devido ao seu menor custo, e são protegidas por uma cobertura de PVC ou pintura, recebendo acabamento interno, como por exemplo, painéis de gesso acartonado.

A Figura 1.4 mostra um exemplo de aplicação de painéis metálicos, estando este tipo de vedação encaixada no grupo das fachadas leves, sendo suportada pela estrutura de armação, geralmente metálica, que é apoiada na estrutura principal.

É possível incorporar a esses painéis um material de isolamento, proporcionando assim uma melhor exposição a altas temperaturas. Geralmente os materiais de isolamento utilizados são: lã mineral, colméia de papel, lâminas de poliestireno e espuma de poliuretano (SILVA, M. G.; SILVA, V. G., 200-).



Figura 1.4 – Aplicação de painel metálico.

Fonte: DAEDALUS SYSTEMS (2005).

Indústrias como Cosipa, Gerdau, Barra Mansa, Acesita, Belgo-Mineira e Usiminas investem em pesquisas e tecnologia em aço desenvolvidas para a construção civil, por acreditarem na expansão deste setor no Brasil.

A metodologia construtiva das referidas empresas segue o mesmo processo. Cada unidade habitacional é apoiada em um *radier* de concreto convencional, onde são feitas marcações para a colocação dos perfis estruturais que, por sua vez, podem ser montados previamente isolados ou já compostos.

1.2 OBJETIVO

Propor um sistema construtivo industrializado para casas populares utilizando painéis pré-fabricados, formados por chapas de aço, que irão trabalhar como elementos estruturais e de vedação.

1.3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho a metodologia adotada será composta das seguintes etapas:

- Discussão dos conceitos básicos relativos ao desenvolvimento de técnicas, métodos, processos e sistemas construtivos;
- Definição e apresentação dos detalhes de aplicação para o sistema construtivo proposto;
- Simulação numérica do comportamento estrutural dos painéis metálicos pelo método dos elementos finitos, no programa computacional ANSYS;
- Análise do comportamento térmico dos painéis;
- Análise comparativa de custos do sistema construtivo proposto com sistemas tradicionais.

1.4 JUSTIFICATIVA

A adaptabilidade de uma construção depende da facilidade com que ela possa ser expandida e modificada para atender a novos requisitos. A construção metálica permite essas adaptações sem maiores perdas.

Os sistemas construtivos industrializados apresentam vantagens relativas à racionalização dos processos, podendo-se citar, entre outras, as seguintes:

- Execução da obra em menor prazo e com maior eficiência, proporcionando ganhos pela rapidez de sua conclusão e do retorno do capital investido;
- Racionalização de materiais e mão-de-obra, reduzindo o desperdício;
- A estrutura pode ser desmontada e reaproveitada;
- Redução dos custos em função da padronização;
- Com a utilização de materiais de enchimento isolantes nesses painéis, pode haver uma redução na transmissão de calor e ruído, proporcionando assim um melhor conforto térmico e acústico dentro da edificação.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para o cumprimento dos objetivos propostos, o presente trabalho foi estruturado em quatro capítulos, sendo este primeiro o relativo à introdução, contendo um breve histórico da construção racionalizada, os objetivos, a metodologia utilizada e a justificativa do tema.

O Capítulo 2 contém a revisão bibliográfica do tema, apresentando técnicas construtivas pré-fabricadas em aço e soluções construtivas com painéis estruturais.

No Capítulo 3 é apresentado o sistema construtivo proposto com uma breve avaliação de desempenho deste e um comparativo de custos com outros sistemas construtivos existentes, bem como os resultados numéricos obtidos na análise estrutural do modelo.

O Capítulo 4 mostra as principais conclusões do trabalho e as sugestões para pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESTADO DA ARTE

A necessidade básica humana de proteção contra o mundo exterior fez com que a construção residencial evoluísse, refletindo a maneira como seu povo deseja viver, tornando-se a forma de construção mais diversificada no mundo.

No intuito de promover cada vez mais essa evolução da construção residencial surge o termo pré-fabricação, em consequência do surgimento de técnicas construtivas que tinham o ferro como elemento principal, surgindo na Europa, na década de 1840, painéis de ferro, comprovando a versatilidade do material.

Datam desta época casas nos arredores de Londres com paredes ocas em ferro fundido, podendo ser aquecidas no inverno com o calor emanado de um fogão situado na cozinha. Tal método foi desenvolvido não apenas pela Inglaterra, mas também pela França, Alemanha e Bélgica. Entretanto, o problema persistia na questão do isolamento térmico, não tendo comprovação do método utilizado para resolver o problema de aquecimento das casas no verão. (VON KRÜGER, 2000; SILVA, 1988).

No entanto, as experiências com o uso do ferro fundido na execução de paredes não apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que a junção longitudinal de painéis só se podia fazer a espaços regulares, determinados pela largura das chapas. Esse problema ficou, a princípio, resolvido com a descoberta do processo de ondular as chapas, além das ondulações servirem como elemento decorativo e enrijecedor.

Uma nova técnica de pré-fabricação patenteada pelo belga Joseph Danly em fins do século XIX apresentava a solução para os problemas das vedações dos edifícios no que se refere a problemas estéticos e de isolamento térmico. O sistema Danly era formado por painéis de chapas metálicas duplas, formando um colchão de ar entre si, fixadas a perfis metálicos através de parafusos, formando uma estrutura resistente e rígida. Nesse processo, as chapas deixam de ser elementos de vedação independentes da estrutura e se tornam elementos essencialmente estruturais. O ponto mais curioso do sistema está no processo de isolamento térmico; no rodapé e próximo ao forro eram feitos furos nas chapas dos painéis, sendo colocadas nestes locais, faixas de metal também perfurado que se movimentavam e, de acordo com o movimento, os orifícios se coincidiavam ou não, fazendo com que o ar circulasse livremente, arejando o ambiente interno no verão, ou quando fechados, no inverno, diminuía a quantidade de calor que escapava pela parede oca, quantidade essa que se compara à de uma parede de alvenaria de 40 cm (SILVA, 1988).

Neste período, o Brasil começa a importar sistemas construtivos industrializados que utilizam esses painéis de ferro. Segundo Silva (1988), a primeira edificação que se tem notícia do uso desses painéis no Brasil é a Estação Ferroviária de Bananal, São Paulo, construída entre 1880 e 1888 (Figura 2.1). A Figura 2.2 ilustra um chalé edificado no Campus da Universidade Federal do Pará (UFPA), onde se utilizou painéis em chapa de ferro. Em ambos os casos, a técnica utilizada possuía características que conduzem à conclusão que seria o Sistema Danly.



Figura 2.1 – Estação Ferroviária Bananal, São Paulo.

Fonte: VON KRÜGER (2000).



Figura 2.2 – Chalé no Campus da UFPA: (a) vista da fachada frontal; (b) detalhe do painel em chapa metálica.

Fonte: VON KRÜGER (2000).

Em todo o mundo, arquitetos e engenheiros estão promovendo a entrada do aço nesse mercado residencial. O clima intensamente ensolarado da Austrália adotou o telhado de aço como padrão; Reino Unido e continente europeu estão substituindo o tijolo e a alvenaria pela estrutura de aço; América do Norte, Escandinávia e Austrália utilizam o aço em substituição à estrutura de madeira para telhado; projetos residenciais de múltiplos andares estruturados em aço são amplamente utilizados na Suécia; o Japão vem utilizando o aço devido à sua possibilidade de pré-fabricação automatizada, resistência a abalos sísmicos e estabilidade (IISI, 1996).

Na busca pela racionalização construtiva, surgem no mercado, diversos estudos e propostas de sistemas construtivos, apresentando-se a seguir referências bibliográficas sobre a mesma e sobre a utilização de painéis submetidos a cargas verticais e/ou horizontais.

Krüger (2000) apresenta uma análise comparativa quanto ao desempenho dos painéis de vedação mais utilizados no mercado brasileiro, análise essa, fruto da necessidade de reunir, sistematizar e avaliar informações quanto ao desempenho de painéis. As avaliações

qualitativas consideram o conforto e segurança do usuário de uma edificação para as características ambientais e culturais brasileiras.

Oliveira (2002) apresenta um estudo sistematizado sobre a tecnologia construtiva de painéis pré-fabricados para efeito arquitetônico em concreto armado empregados em fachadas de edifícios.

Davies e Fragos (2003, 2004) apresentam um estudo experimental e numérico de painéis com funções de vedação e estrutura, conhecidos como painéis diafragmas ou painéis *cassettes*, submetidos à carga horizontal, com ou sem isolante térmico embutido. Foi apresentada a importância das condições de contorno e tipo de restrições nos nós adotadas na análise numérica para obter os resultados aproximados com os experimentos.

Pereira Júnior (2004) sugere um novo sistema construtivo para edifícios verticais de pequeno porte, residenciais ou comerciais, apresentando um estudo de caso para a análise de pequenas edificações em aço, contraventadas por paredes estruturais constituídas em perfis de chapas finas formadas a frio. A proposta do trabalho consiste em substituir as paredes de alvenaria por paredes estruturais do tipo *steel frame*, que funcionem como elementos de vedação e separação dos ambientes, além da função de contraventar a estrutura principal.

Inoue (2004) apresenta uma análise estrutural de painéis formados a frio por chapa de aço servindo como elemento diafragma em edificações de múltiplos andares. Para tal, foi feita a análise da estabilidade linear desses painéis, via Método dos Elementos Finitos, quando o painel é submetido a cargas verticais, horizontais e à combinação destas.

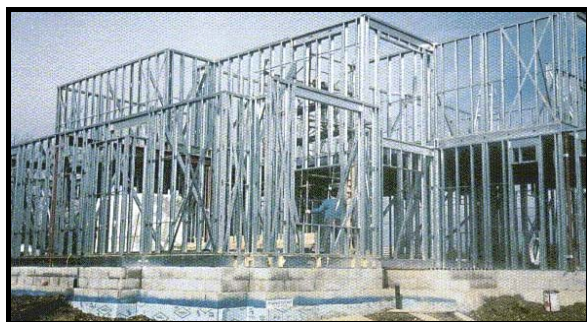
Silva (2004) apresenta um estudo do comportamento de paredes diafragma por meio de modelos numéricos em elementos finitos, analisando o posicionamento do painel, as condições de contorno, a ruptura, alguns materiais, as ligações com pinos e os elementos de borda.

2.2 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PRÉ-FABRICADAS EM AÇO

Apresenta-se neste item técnicas construtivas no mundo, onde o aço e a pré-fabricação são elementos essenciais na construção.

2.2.1 *Résidence Bruzzese*

No Canadá, a arquitetura de *DeFillipis Design* projetou a *Résidence Bruzzese* (Figura 2.3), substituindo a estrutura de madeira nas paredes e pisos por aço, com exceção das treliças do telhado, onde a madeira foi mantida. As paredes são pré-fabricadas em painéis e montadas no local.



(a)



(b)

Figura 2.3 – *Résidence Bruzzese*, Ontário, Canadá: (a) fase de montagem; (b) obra concluída.

Fonte: IISI (1996).

2.2.2 Casa de Conservação de Recursos

O Centro de Pesquisas NAHB (*National Association of Home Builders*), em Maryland, Estados Unidos, construiu uma casa experimental para testar tecnologias de construção avançadas e emergentes e a melhor aceitação dos materiais, produtos, métodos e projetos. A fase de construção e a obra concluída estão ilustradas na Figura 2.4.

A casa inclui materiais reciclados e produtos que aumentam a eficiência no aproveitamento de energia. A fundação é de concreto lançada no local e a estrutura é em aço, com destaque para o fato de dois terços de todo o aço utilizado ter sido produzido de sucata reciclada.

As vedações verticais são constituídas de painéis de compensado com espessura de 3,81 cm, espuma metálica de 3,81 cm e parede externa de tábuas rígidas, conforme mostra o esquema da Figura 2.5.



Figura 2.4 – Casa de conservação de Recursos em Maryland, Estados Unidos: (a) fase de montagem; (b) obra concluída.

Fonte: IISI (1996).

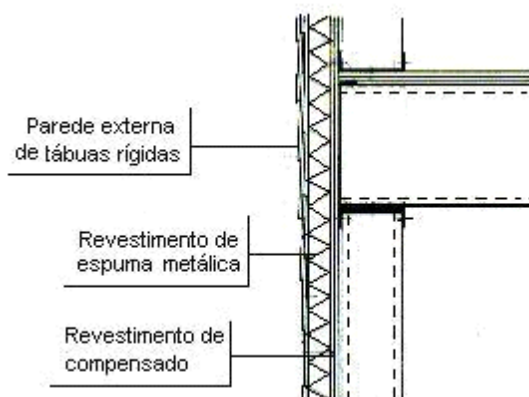


Figura 2.5 – Constituição dos painéis de parede.

Adaptado: IISI (1996).

2.2.3 Residência Urbana do Século 21

Em Maryland, Estados Unidos, quatro casas urbanas experimentais foram projetadas com produtos e sistemas inovadores, sendo cada uma com um sistema estrutural diferente: painéis estruturais isolados, concreto armado, concreto aerado e aço.

No sistema de aço foi instalado sobre a estrutura um revestimento de placas pré-fabricadas de concreto. Em seguida, aplicou-se ao revestimento uma camada de chapas de poliestireno expandido (EPS) com 2,54 cm de espessura. Externamente ao EPS aplicou-se uma base de cimento, polímeros de látex seco e fibras. O telhado é feito de painéis de aço de juntas fixas. A fase de construção e a obra concluída estão ilustradas na Figura 2.6.

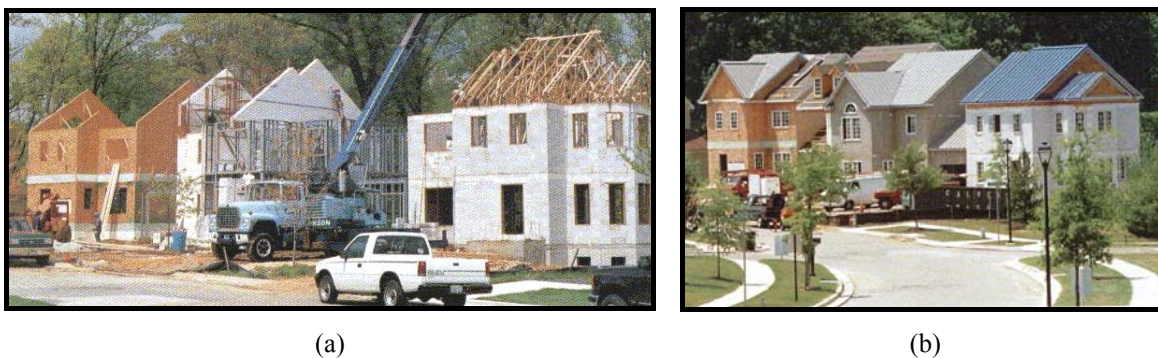


Figura 2.6 – Residência Urbana do Século 21, Maryland, EUA: (a) fase de montagem; (b) obra concluída.

Fonte: IISI (1996).

2.2.4 Casa de Aço em Rekem

A casa de aço em Rekem localiza-se em um pântano na Bélgica, onde o nível do lençol d'água sobe bastante, sendo necessário um cuidado especial na impermeabilização da fundação.

O fechamento da estrutura em aço é composto por diferentes tipos de painéis: painéis de vidro, painéis tipo sanduíche e painéis de alumínio, conforme mostra a Figura 2.7.

Os painéis tipo sanduíche de 9,5 cm são compostos de uma folha de compensado, de um isolante térmico que forma uma barreira de vapor e de uma placa de gesso.



Figura 2.7 – Casa de Aço em Rekem, Bélgica.

Fonte: IISI (1996).

2.2.5 Moradia com Estruturas de Aço Haia

A necessidade de espaço, economia, qualidade e rapidez fizeram com que fosse executada, nos Países Baixos, a residência multifamiliar estruturada em aço e montada em módulos, conforme mostra a Figura 2.8.

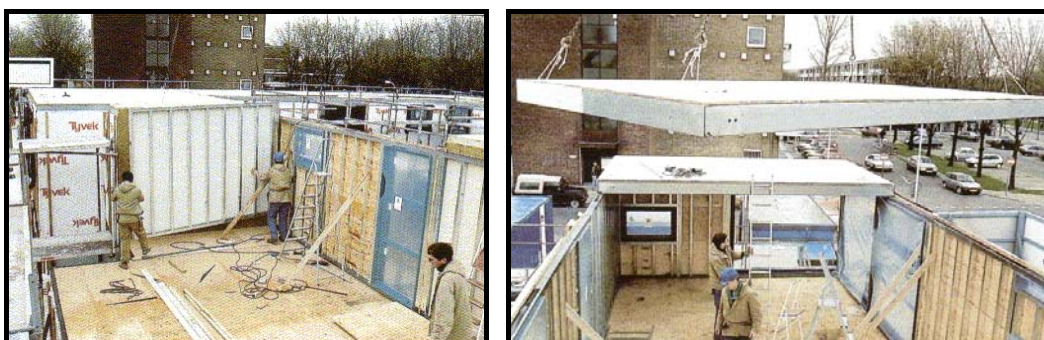


Figura 2.8 – Moradia com Estruturas de Aço Haia, Países Baixos.

Fonte: IISI (1996).

2.2.6 Bloco de Apartamentos em Raahe

O bloco de apartamentos na cidade de Raahe, na Finlândia, é estruturado em aço de seções ocas preenchidas com concreto. As paredes externas são painéis leves que chegam a atingir 8 metros de altura. Tais painéis são revestidos externamente por chapas de aço cobertas de plástico e, internamente, com placas de gesso.

Os painéis são pré-fabricados, chegando à obra prontos para serem encaixados à estrutura, conforme a Figura 2.9.

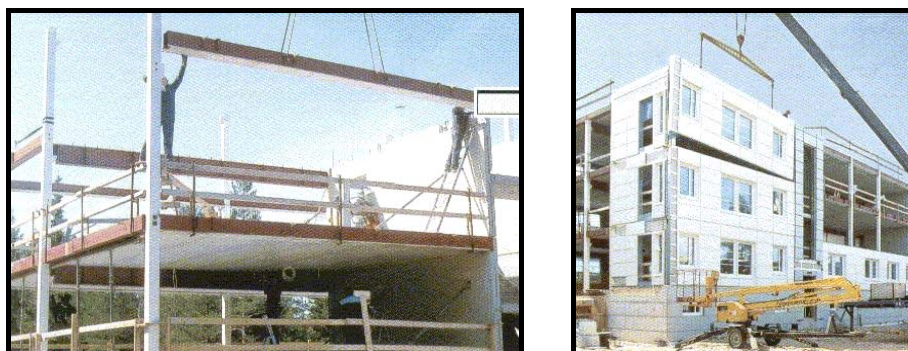


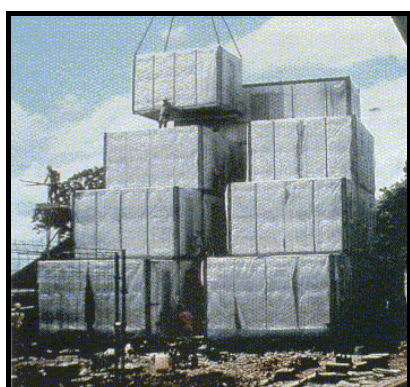
Figura 2.9 – Montagem dos blocos de apartamentos em Raahe, Finlândia.

Fonte: IISI (1996).

2.2.7 Residência Estudantil na Universidade de Cardiff

O edifício residencial estudantil na Universidade de Cardiff, Reino Unido, foi completado usando-se módulos de caixas de aço. As paredes das caixas de aço são de painéis de chapas de aço galvanizado e cimento com fibras. O piso e o telhado são de chapas de aço perfilados. Perfis de aço de 3 mm conformados a frio fazem o reforço da estrutura, sendo aparafusados ao piso e à parede, criando uma estrutura mais rígida.

Os módulos foram montados no local, empilhando-se uns sobre os outros e, em seguida, aplicou-se o revestimento desejado. O sistema oferece possibilidade de remoção e reutilização das caixas, caso seja necessário. A Figura 2.10 mostra os módulos sendo içados e a obra concluída.



(a)



(b)

Figura 2.10 – Esquema de Residência Estudantil na Universidade de Cardiff, Reino Unido: (a) içamento dos módulos; (b) obra concluída.

Fonte: IISI (1996).

2.2.8 *Daedalus Systems – Innovative Affordable Housing*

Nos Estados Unidos a *Daedalus Systems* lançou o sistema de moradia *Innovative Affordable Housing*, com o objetivo de produzir moradias mais baratas e mais fáceis de serem construídas, não se pretendendo substituir os edifícios com os métodos tradicionais, mas sim disponibilizar à população de baixa renda uma forma alternativa de moradia.

O sistema consiste da construção de moradias com painéis compostos de metal, que funcionam como estrutura e como vedação externa, podendo, em alguns casos, serem utilizados nas paredes internas também.

Os painéis são montados por meio da combinação de chapas finas de aço galvanizado com um núcleo de espuma de poliuretano, material isolante e retardador de fogo. Além de receberem um reforçador de aço, objetivando um painel com grande resistência estrutural e baixo peso (Figura 2.11). Esses painéis recebem pintura nas faces interna e externa e possuem as seguintes dimensões: largura padrão de 61 cm, espessura de 7,6 cm e comprimento de até 1500 cm.

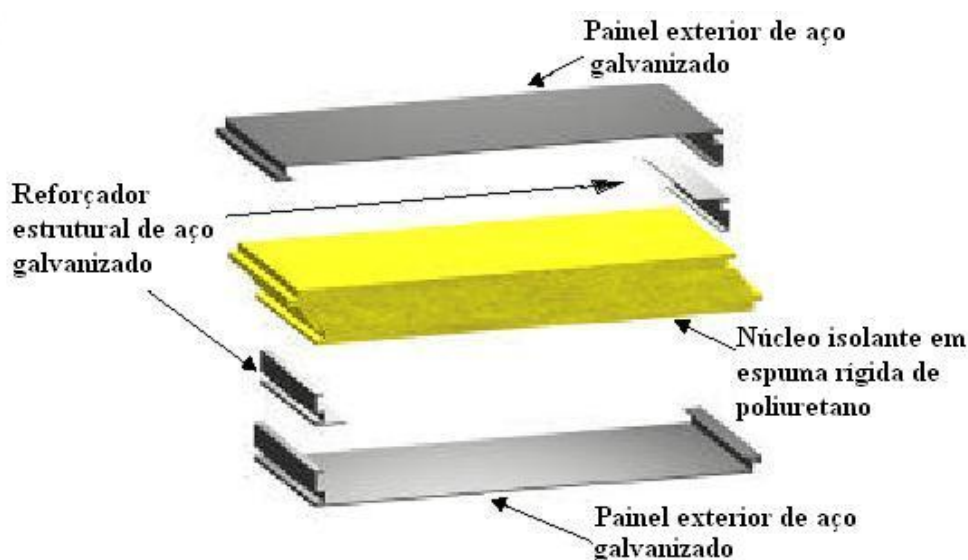


Figura 2.11 – Esquema de montagem dos painéis *Innovative Affordable Housing*.

Fonte: DAEDALUS SYSTEMS (2005).

A construção das casas com os painéis de aço da *Daedalus Systems* começa com a colocação de uma canaleta guia de metal ao longo do perímetro da casa, podendo esta canaleta ser unida diretamente à fundação. Os painéis de parede são então ajustados dentro da canaleta, encaixados e parafusados no topo e na parte inferior em cada junção e também parafusados à canaleta base. A Figura 2.12 mostra o esquema de colocação da canaleta à fundação e a união dos painéis.

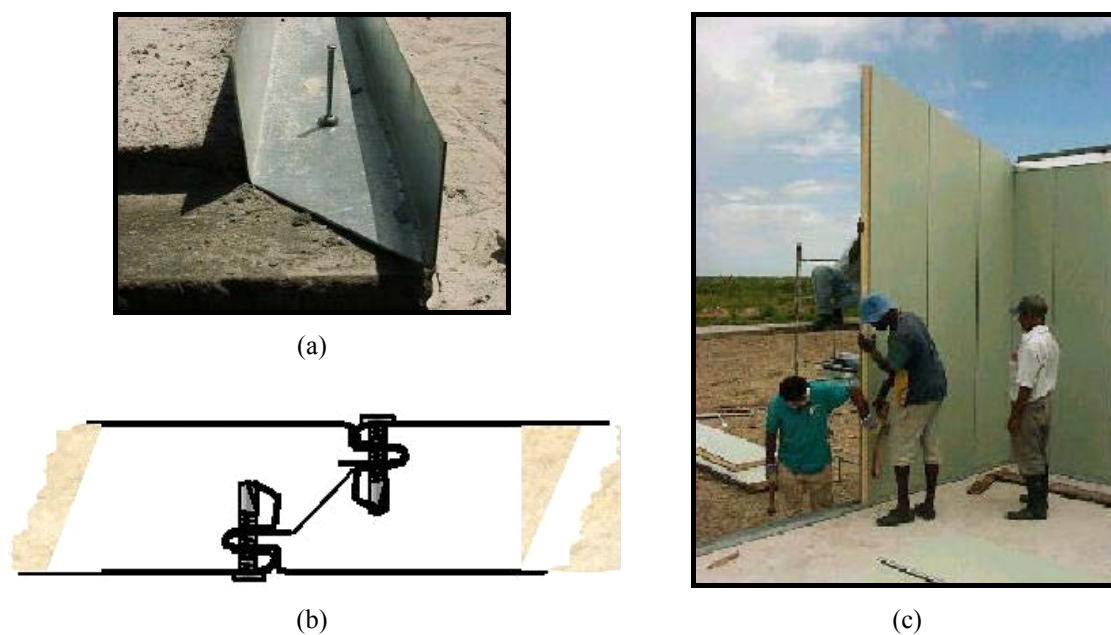


Figura 2.12 – Montagem de casa da *Daedalus Systems*: (a) fixação da canaleta à fundação; (b) ligação entre painéis; (c) montagem das paredes de painéis.

Fonte: DAEDALUS SYSTEMS (2005).

Com as paredes montadas é feito o engradamento metálico que irá suportar a cobertura, sendo esta também em painéis de aço idênticos aos das paredes, compondo um teto auto-portante. A Figura 2.13 mostra uma residência em fase de acabamento onde foi utilizado o sistema de moradia da *Daedalus Systems*.



Figura 2.13 – Moradia do sistema *Daedalus Systems*.

Fonte: DAEDALUS SYSTEMS (2005).

2.3 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

É freqüente o emprego de alvenaria como vedação vertical, porém, com o intuito de obter maior nível de racionalização e de produtividade neste segmento, atualmente a utilização de sistemas industrializados vem se intensificando. Surgem então, no mercado, diversos modelos e sistemas na busca pela solução ideal, sendo alguns desses sistemas apresentados a seguir.

2.3.1 *Steel Framing*

No Brasil vem se desenvolvendo um sistema construtivo que utiliza perfis estruturais formados a frio de aços revestidos, também conhecido como *steel framing*.

O sistema utiliza como base a estrutura de perfis leves de aço zincado por imersão a quente ou por eletrodeposição e formados a frio, unidos por parafusos autobrocantes e pinos, formando painéis de paredes estruturais ou não, estrutura de laje e cobertura, formando um conjunto autoportante que receberá os esforços solicitantes da edificação.

Constituiu-se, em parceria com a Caixa Econômica Federal (CEF) e o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP), um grupo de trabalho envolvendo representantes de instituições, empresas fabricantes e construtoras diretamente relacionadas ao sistema construtivo *steel framing*. Esse grupo teve como objetivo a elaboração de um documento onde são estabelecidos os requisitos e condições mínimos para financiamento pela CEF de empreendimentos com o sistema construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços revestidos, conhecido comercialmente como *steel framing*.

O Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), com o intuito de promover o desenvolvimento do sistema *steel framing* no Brasil, elaborou uma bibliografia destinada a servir de apoio às construtoras interessadas no referido sistema. Tal bibliografia é composta das seguintes publicações:

- Guia do Construtor em *Steel Framing*;
- Tabelas de Dimensionamento Estrutural Para Edificações com o Sistema Construtivo em *Steel Framing*;

- Detalhes Construtivos para Construções em *Steel Framing*;

O sistema construtivo em *steel framing* forma um conjunto monolítico, leve e resistente, graças ao perfeito alinhamento de seus elementos estruturais e a interligação existente entre eles, desde o nível do piso até a estrutura do telhado. A Figura 2.14 mostra um desenho esquemático do sistema *steel framing*.

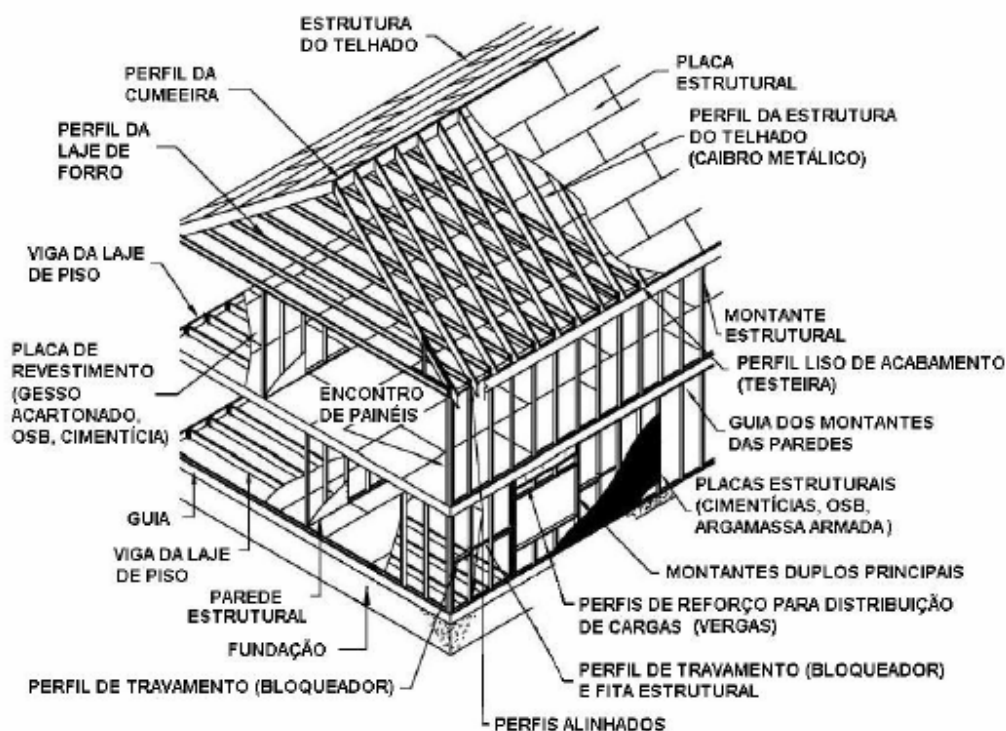


Figura 2.14 – Desenho esquemático do sistema *steel framing*.

Fonte: CBCA - Tabelas de dimensionamento estrutural para edificações com o sistema construtivo em *steel framing*.

A fundação básica deste tipo de construção é o *radier*. O terreno deve ser nivelado e preparado para receber o concreto, colocando-se uma camada de brita sobre a terra e uma manta impermeabilizante sobre a brita. O *radier* é feito em toda a projeção horizontal da casa, incluindo as calçadas laterais, as áreas para varanda e garagem.

Sobre o *radier* são colocadas as chapas de aço para a fixação dos perfis metálicos, sendo estes parafusados uns aos outros, formando uma estrutura rígida compondo as paredes do primeiro e segundo pavimento e a estrutura do telhado.

As paredes internas são de chapas de gesso acartonado, com miolo de lã de rocha ou de vidro, garantindo assim isolamento acústico. Para as paredes externas e fachada podem ser aplicados diversos tipos de elementos de vedação, sendo que esses elementos devem permitir o embutimento das instalações hidráulicas e elétricas.

As vedações mais comuns são placas cimentícias com argila expandida ou placas de fibrocelulose prensada com cimento, com espessuras de 10 a 12 cm, parafusadas nos perfis, recebendo impermeabilizante nas juntas. Nas áreas molhadas o piso recebe uma manta impermeabilizante.

Após a colocação dos painéis para fechamento das paredes externas, aplica-se uma manta impermeabilizante para garantir a total estanqueidade das paredes, podendo assim ser realizado o acabamento final. A Figura 2.15 mostra parte da etapa de construção e a obra concluída de uma casa em *steel framing*.



(a)



(b)

Figura 2.15 – Construções em *steel framing*: (a) fase de montagem; (b) obra concluída.

Fonte: CASAS INDUSTRIALIZADAS (2004).

2.3.2 Sistema modular CSN

Desde 1997, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) desenvolve um sistema construtivo modular em painéis de aço galvanizado. O sistema utiliza chapas de aço formando os painéis, que são utilizados na montagem das paredes, enquanto perfis “U” são usados na composição e ligação entre módulos. A Figura 2.16 mostra uma casa modelo do Sistema Modular CSN.

O sistema modular e industrializado proporciona rapidez na execução da obra e permite que esta seja realizada em etapas, adaptando-se a qualquer projeto de arquitetura. É também disponibilizado em kits, o que proporciona ao construtor a alternativa de fechamento em diversos materiais, como blocos, tijolos, placas cimentícias ou de gesso, ou o que for mais adequado às necessidades da região onde a casa será construída.



Figura 2.16 – Casa modelo do Sistema Modular CSN.

Fonte: HABITAR (2004).

2.3.2.1 Etapas da construção

A fundação é simples, podendo ser do tipo *radier*, baldrame ou a que mais se adequar às necessidades locais.

Os módulos são montados formando em suas extremidades pequenas colunas que servem de sustentação e dão rigidez às paredes, que possuem largura padrão de 68 cm, sendo fixadas entre si por parafusos ou rebites, e ao piso sobre perfil “U” chumbado na laje de piso.

Na parte superior dos perfis e nos vãos de portas e janelas também são colocados perfis “U”, servindo de encaixe para a estrutura do telhado e esquadrias.

Os painéis internos são revestidos com gesso acartonado nas duas faces, enquanto os painéis externos recebem vinil na face exterior. As instalações hidro-sanitárias e elétricas são embutidas nos painéis.

Segundo a equipe de Coordenação de Novos Negócios da CSN, o aço é apenas o recheio da vedação vertical, a qual se assemelha externamente a uma casa de madeira, com acabamento em vinil e, internamente, a uma casa de alvenaria tradicional, revestida com argamassa pintada.

2.3.3 Sistema *Quick-House*

A Metalúrgica Big Farm Ltda, de Porto Alegre-RS, desenvolveu e patenteou o perfil do módulo básico do painel utilizado no sistema construtivo *Quick House*, (Figura 2.17). O aço empregado consiste em chapas galvanizadas de alta resistência com espessura variável entre 0,95 mm e 2 mm.

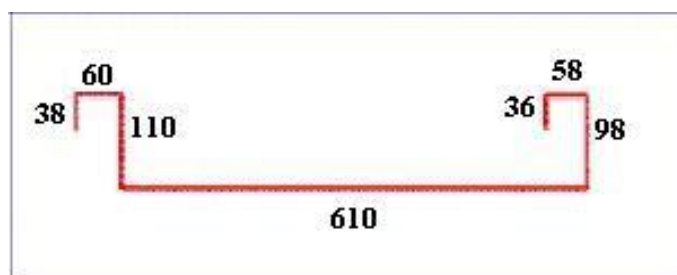


Figura 2.17 – Seção do módulo básico.

Fonte: CASAS INDUSTRIALIZADAS (2004).

Os módulos possuem altura variável, de acordo com o pé-direito desejado, e são encaixados e parafusados uns aos outros formando os painéis. Estes são fechados nas faces superior e inferior com perfis “U” de alumínio rebitados, criando painéis mais rígidos e mais resistentes à flexão, (Figura 2.18). Os painéis, pela combinação dos módulos, criam pilares a cada 61 cm conferindo função estrutural aos mesmos, além da função de vedação.

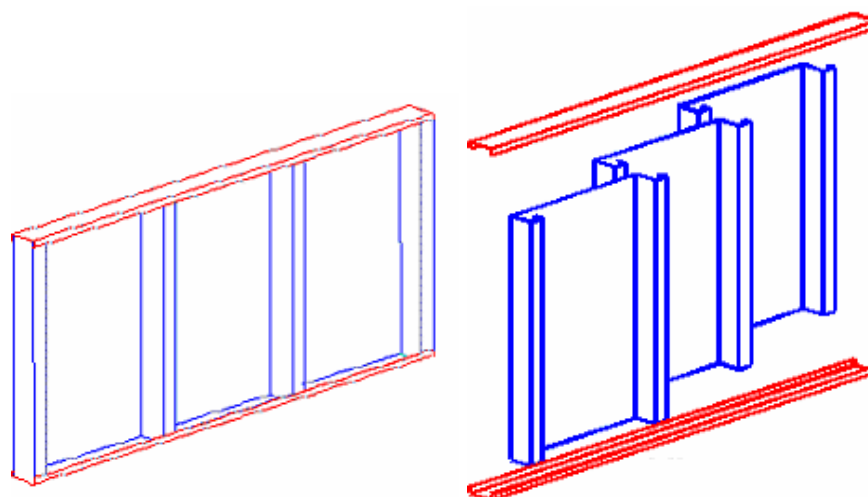


Figura 2.18 – Sistema de montagem dos painéis.

Fonte: CASAS INDUSTRIALIZADAS (2004).

2.3.3.1 Etapas da construção

Com a fundação e o contra-piso concluídos, perfis “U” são fixados ao piso por meio de rebites, estes perfis servirão de “guias” para as paredes. Tais “guias” são pintadas com emulsão asfáltica na parte inferior e superior com o objetivo de impedir a passagem de umidade, conforme mostra a Figura 2.19.

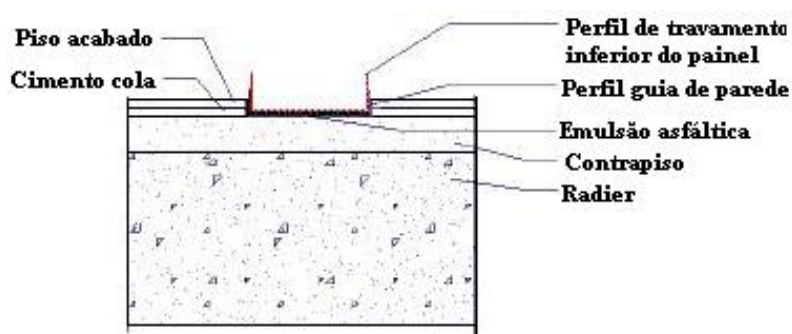


Figura 2.19 – Esquema de fixação dos painéis à fundação.

Fonte: CASAS INDUSTRIALIZADAS (2004).

A estrutura do telhado é executada com perfis “C”, sendo as tesouras montadas sobre as paredes, apoiadas diretamente sobre os pilares. Fixadas às terças com parafusos são colocadas chapas de OSB (*Oriented Strand Board*) com 1,2 cm de espessura. Sobre o OSB

são pregadas as telhas asfálticas. O forro é executado em gesso acartonado, com manta de lã de vidro para isolamento térmico.

As paredes internas recebem, nas duas faces, chapas de gesso acartonado. Em seguida, são pintadas e, quando necessário, são impermeabilizadas para receberem revestimento cerâmico.

As paredes externas são preenchidas internamente com manta de lã de vidro para melhorar as qualidades termo-acústicas. O acabamento na face interior é feito com gesso acartonado, enquanto na face exterior são parafusadas chapas de OSB, que em seguida são revestidas com lâminas de *vinil siding*, que, quando expostas ao fogo, tem propriedade de chama auto-extinguível.

As instalações elétricas e hidráulicas ficam completamente embutidas nos pisos, paredes e forros.

2.3.4 Sistema Construtivo HI-TECH

A HI-TECH Materiais de Construção Ltda. desenvolveu e comercializa um sistema construtivo em painéis estruturais de argamassa armada, com miolo em poliestireno expandido envolto em telas e treliças planas de aço galvanizado e argamassa jateada com ar comprimido.

Os painéis que servem também como laje, modulados com 120 cm de comprimento e 5 cm de espessura são estruturais e permitem uma edificação de até dois pavimentos. A Figura 2.20 ilustra o uso dos painéis HI-TECH.



Figura 2.20 – Edificação em dois pavimentos com uso de painéis HI-TECH.

Fonte: HABITAR (2004).

2.3.4.1 Etapas da construção

Os próprios painéis servem como fôrma para a confecção da fundação, que pode ser em sapata corrida, baldrame ou contrapiso armado. O arranque entre a fundação e os painéis é executado por meio de barras de aço de 8 mm fixadas às telas dos painéis, ou união direta com o painel de fôrma no piso armado.

Os painéis são emendados lateralmente entre si, utilizando-se sobretelas eletrossoldadas e anéis C de aço galvanizado, colocados mediante uma pistola pneumática. Após a montagem é feito o jateamento da argamassa, estando o painel pronto para receber diversos materiais de acabamento, tais como cerâmica ou pintura.

As instalações hidráulicas e elétricas tanto podem ser embutidas nos painéis como fixadas externamente.

O prazo de execução total é de seis dias, para uma edificação hipotética de 50 m² e a empresa fornece suporte técnico no desenvolvimento de projetos e na padronização de procedimentos de execução.

2.3.5 ICOMA – Sistema Comodi

Sistema Construtivo em painéis executados em micro-concreto (areia, pedriscos, fibras plásticas e cimento ARI-45), armados com tela de aço eletrossoldada que envolve o miolo do painel com poliestireno expandido (EPS), conferindo à parede isolamento térmico e acústico.

Pinos de aço são chumbados nas cabeceiras dos painéis, proporcionando assim segurança estrutural e estanqueidade às paredes montadas.

O travamento superior é feito com perfil metálico e o inferior por meio de encaixe, conforme exemplifica a Figura 2.21.



Figura 2.21 – Edificação em painéis ICOMA.

Fonte: HABITAR (2004).

2.3.5.1 Etapas da construção

Para a execução da fundação (Figura 2.22) são utilizadas vigas baldrame pré-moldadas, que possuem canais na face superior, com largura pouco superior à espessura dos painéis, sendo estes encaixados e rejuntados.

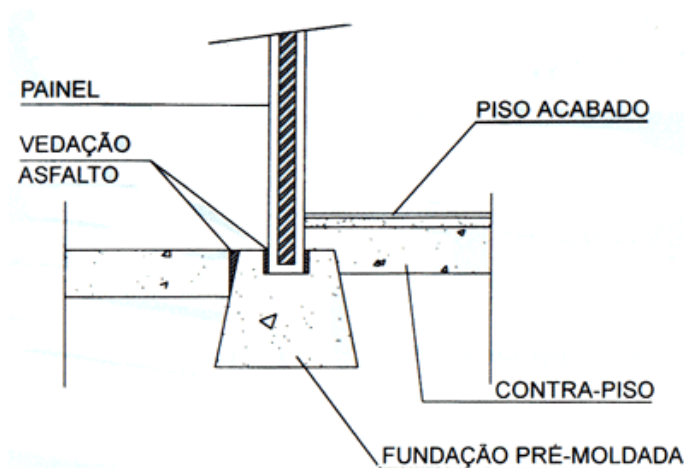


Figura 2.22 – Fundação do sistema ICOMA.

Fonte: HABITAR (2004).

A união entre as vigas é feita com concreto moldado *in loco*, proporcionando assim uma rápida e segura fundação sobre o terreno, sem grandes movimentos de terraplanagem.

Os painéis estruturais constituem as paredes internas e externas, tendo 59,8 cm ou 119,6 cm de largura, espessura de 7,5 cm e altura variável de acordo com o pé-direito pretendido.

A laje é executada em peças pré-moldadas de argamassa armada em formato trapezoidal e são desenvolvidas para suportarem até $1,5 \cdot 10^{-4}$ kN/cm².

As instalações elétricas e hidráulicas são embutidas nos painéis e após a conclusão da montagem estes estão prontos para receberem os diversos tipos de acabamento.

2.3.6 Sistema *Wall Systems*

Trata-se de um sistema construtivo com painéis Wagner Wall, desenvolvido pela Wagner S/A de São Paulo. Os painéis, que podem ser estruturais ou não, são constituídos de miolo de madeira sarrafeada e em lâminas, com chapas lisas prensadas de fibrocimento em ambas as faces. As juntas entre os painéis podem ser aparentes ou dissimuladas. É possível a aplicação desses painéis em edificações de no máximo três pavimentos. A Figura 2.23 ilustra o uso de painéis *Wall Systems*.

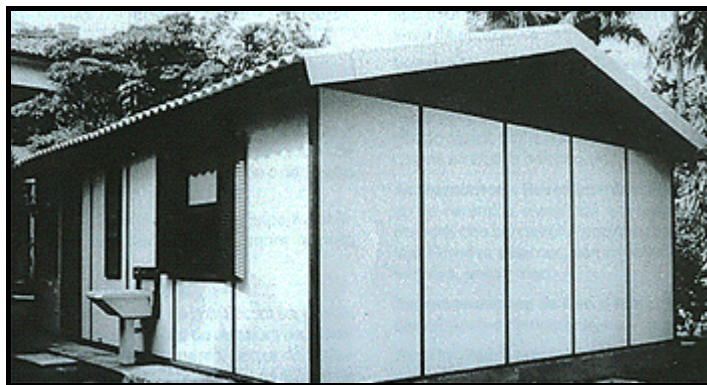


Figura 2.23 – Edificação em painéis *Wall Systems*.

Fonte: HABITAR (2004).

2.3.6.1 Etapas da construção

As fundações podem ser de diversos tipos, conforme características do terreno.

Os painéis de vedação com função estrutural apresentam dimensão padrão de 125 cm de largura, podendo ter 210 cm, 250 cm ou 275 cm de altura, sendo fixados no piso e no teto por meio de perfis-guia metálicos, podendo também ser utilizados como laje.

As instalações hidráulicas são embutidas em uma parede hidráulica dupla removível, tipo shaft, ou poderão ser aparentes. As instalações elétricas podem ser aparentes ou embutidas nos painéis que possuem canaletas para essa finalidade.

Após toda a montagem, os painéis estão prontos para receberem diversos tipos de acabamento.

2.3.7 Tecnologia MORISSON

Faria Neto, Faria e Macêdo (2002) apresentaram o desenvolvimento e resultado do projeto de uma casa popular utilizando tecnologia de pré-moldado não convencional. A tecnologia foi desenvolvida pelo Engenheiro Almir de Morisson Faria e o projeto piloto da casa popular foi executado na Av. Anhanguera (Beira Mar), s/n, na praia de Marahú, na ilha de Mosqueiro, distrito de Belém do Pará.

O sistema consiste em painéis modulares pré-fabricados em argamassa de cimento, seixo fino e areia, armados com tela soldada de fios de aço finos, sendo tais painéis inicialmente utilizados como piso e posteriormente também como parede. Os painéis são fixados na estrutura de madeira de alta resistência por meio de pregos.

Ensaio mostraram que o painel de piso bi-apoiado, com dimensões de 300x150x2,4 cm, pesando 2,80 kN suporta, sem atingir o colapso, 21 kN de carga uniformemente distribuída.

O processo de fabricação dos painéis de piso e de parede é o mesmo, diferindo apenas nas dimensões. A Figura 2.24 ilustra a fase de construção da casa executada para estudo na ilha de Mosqueiro.



Figura 2.24 – Painéis sendo erguidos sobre a fundação.

Fonte: FARIA NETO; FARIA; MACÊDO (2002).

2.3.7.1 Etapas da construção

A fundação é simples, podendo ser do tipo *radier* ou a que mais se adequar às necessidades locais.

O piso é constituído em placa de painel pré-fabricado com dimensões de 300x150x14,5 cm, que ultrapassa os limites da edificação em 40 cm. Para permitir a vedação na parte inferior dos painéis de parede, é aplicada externamente uma camada de cimento de 1 cm de espessura e, internamente, uma camada de 2 cm de espessura com acabamento em cimento queimado.

As paredes são auto-portantes, constituídas de painéis, fixadas seqüencialmente por meio de parafusos na estrutura de madeira. Nos vértices externos da edificação há pilares de madeira, a partir dos quais, os painéis são fixados.

O acabamento interno das paredes é feito em lambril. Em áreas molhadas, como por exemplo, o banheiro, os painéis são construídos com duas faces e o acabamento foi feito em azulejo cerâmico.

Apesar de não ter sido realizado estudo aprofundado no que diz respeito ao conforto térmico na edificação, houve a preocupação do autor da tecnologia em não permitir a transmissão do calor por condução, oriundo da radiação solar, à parte interna da edificação.

O controle térmico utilizado pelos módulos de parede funciona por meio do “efeito chaminé”, onde o ar quente, acumulado no vão entre a placa de argamassa armada e o forro interno, sobe por toda a extensão dos painéis de parede e é retirado por meio de aberturas de ventilação localizadas no oitão, pelo processo de sucção.

Alguns painéis são fabricados tendo em vista as saídas de água fria e caixas de passagens de fiação elétrica em suas faces de concreto. Considerando-se que as placas foram produzidas em face simples e sua outra face revestida de lambril, a manutenção se tornou facilitada pela simples remoção deste revestimento.

2.3.8 Sistema LWFC (*Light Wood Framed Construction*)

Einsfeld e Pacheco (2000) estudaram a utilização de painéis estruturados em habitações de madeira dentro do sistema LWFC (*Light Wood Framed Construction*), bastante utilizado

na América do Norte, avaliando a possibilidade de adaptação do sistema às condições brasileiras.

O sistema utiliza basicamente painéis estruturados com vigas de madeira de pequenas dimensões na seção transversal, formando um quadro, sobre o qual é colocado um fechamento de chapas de madeira e/ou gesso.

Na Figura 2.25 são apresentadas as seções transversais (horizontal e vertical) de uma parede externa. Verticalmente são colocadas escoras que possuem uma seção transversal de 3,8 cm de espessura e profundidade determinada pela espessura do isolamento térmico, geralmente de 14 cm. As paredes internas não necessitam deste tipo de isolamento e, por isso, a sua profundidade é geralmente de 9 cm. As escoras suportam a carga vertical dos pisos e cobertura e proporcionam rigidez aos painéis. As chapas de madeira colocadas como fechamento são fixadas às escoras através de pregos. Estas chapas são de compensado ou OSB com pelo menos 6 mm de espessura.

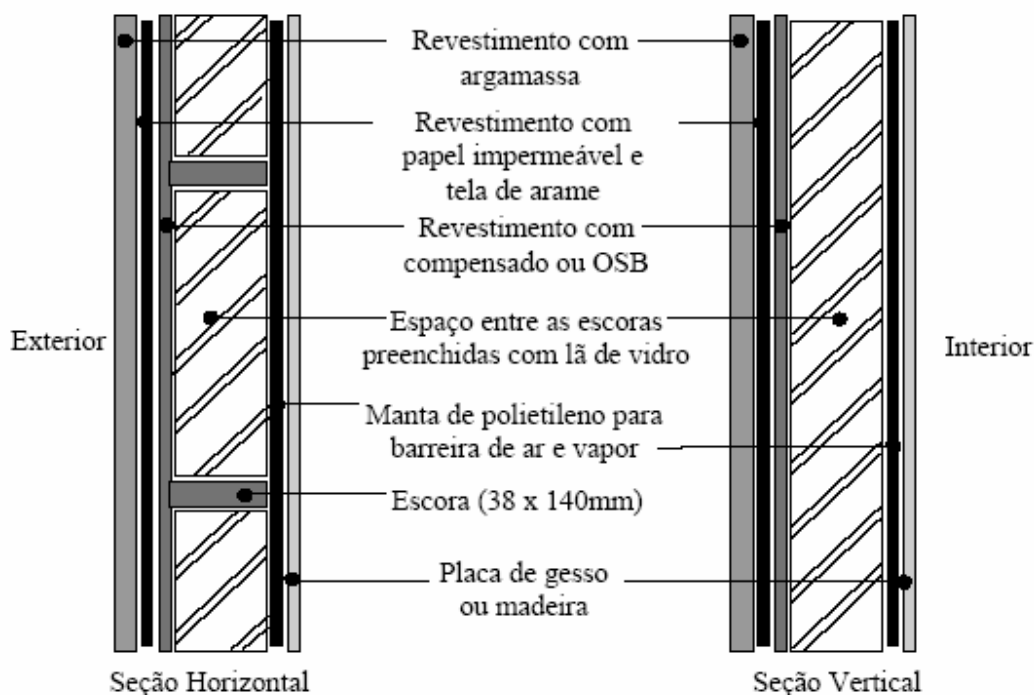


Figura 2.25 – Detalhes típicos das paredes.

Fonte: EINSFELD; PACHECO (2000).

As paredes externas são revestidas internamente com placas de gesso, assim como as duas faces das paredes internas. Embora as placas de gesso não possam ser consideradas portantes, elas possuem rigidez suficiente para contribuir no travamento dos componentes estruturais e permitem que se obtenha um acabamento de qualidade nas superfícies internas.

Usualmente, os painéis estruturados chegam parcialmente montados à obra, já com os espaços internos necessários para a passagem das instalações hidráulicas e elétricas.

Durante a construção, estes elementos são colocados quando a parede se acha ainda aberta e o acesso a todos estes espaços se encontra desimpedido. Assim, a instalação é feita antes da colocação do isolamento térmico, do assentamento da manta de polietileno e do fechamento das paredes com o painel de gesso.

2.3.9 Pré-fabricados de bambu com micro-concreto

O sistema construtivo pré-fabricado com micro-concreto desenvolvido na Universidade Federal de Alagoas (UFAL) baseia-se na construção de casas populares com a utilização de pilares e vigas pré-fabricados, em fôrmas metálicas, com sistemas de encaixe “macho e fêmea”, conforme mostra a Figura 2.26.

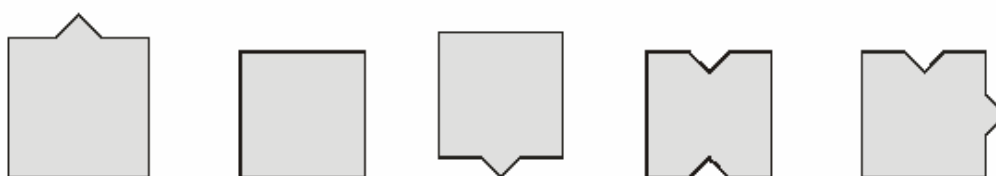


Figura 2.26 – Modelo de pilares com encaixe “macho e fêmea”.

Fonte: INSTITUTO DO BAMBU (2004).

Os painéis são compostos de cimento, areia, cal, borracha moída e bambu triturado, além de uma “armadura” de varas de bambu unidas por tiras e grampeadas. Nos pilares e vigas utilizam-se varas inteiras com travamento mecânico também grampeado.

2.3.9.1 Etapas da construção

Com o terreno limpo e nivelado procede-se à escavação manual para a colocação dos pilares, usando-se concreto convencional para as suas fixações ao solo. Em seguida coloca-se o baldrame, fazendo-se o travamento por meio de encaixes.

As paredes são formadas pelos painéis pré-fabricados, encaixando-se uns aos outros, bem como aos pilares e ao baldrame. As instalações elétricas e hidráulicas são executadas de forma aparente, fixadas às paredes por meio de braçadeiras metálicas.

A grande vantagem do sistema está na rapidez de montagem, por ser um sistema pré-fabricado, onde as partes vêm moduladas, prontas para serem encaixadas, diminuindo assim a quantidade de entulhos na obra. Além de o bambu ser um material renovável em curtíssimo prazo.

A Figura 2.27 mostra etapas da confecção dos painéis de bambu e uma unidade modelo construída no campus da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em maio de 2004, onde fica a sede do Instituto do Bambu (Inbambu).



Figura 2.27 – Confecção de painéis de bambu e casa modelo.

Fonte: INSTITUTO DO BAMBU (2004).

CAPÍTULO 3

SISTEMA CONSTRUTIVO PROPOSTO

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente trabalho propõe um novo sistema construtivo industrializado para a execução de projetos habitacionais residenciais de pequeno porte, partindo-se do princípio de que os elementos estruturais e de vedação (painéis) venham pré-montados de fábrica. Para a verificação do comportamento dos painéis propostos foi feito o estudo de uma residência popular de pequeno porte, com a planta baixa mostrada na Figura 3.1.

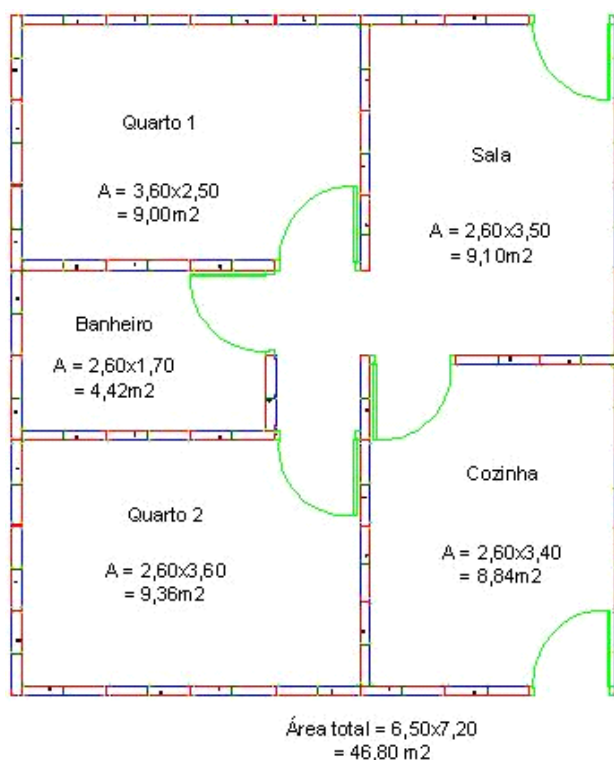


Figura 3.1 – Planta baixa da residência analisada.

O objetivo principal é comprovar a eficácia estrutural do sistema, bem como seu desempenho como elemento de vedação, buscando a redução dos custos em função da padronização e da redução do índice de perdas, fator de grande preocupação atual nos setores da construção civil.

3.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

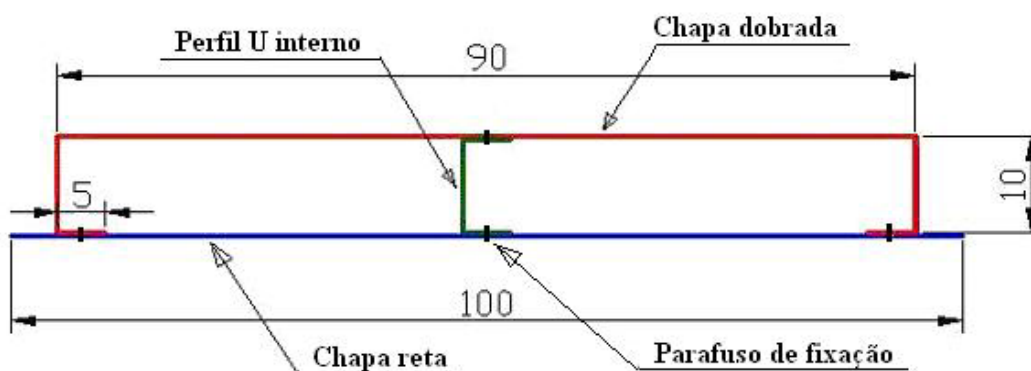
3.2.1 Geometria

O sistema é composto por painéis de chapas de aço dobradas a frio com espessura de 0,106 cm, os quais possuem as seguintes dimensões: 280x90x10 cm, (altura, largura e espessura, respectivamente). No entanto, painéis de dimensões diferentes poderão ser utilizados em virtude da modulação arquitetônica requerida, sendo apresentado também o painel de 80 cm de largura.

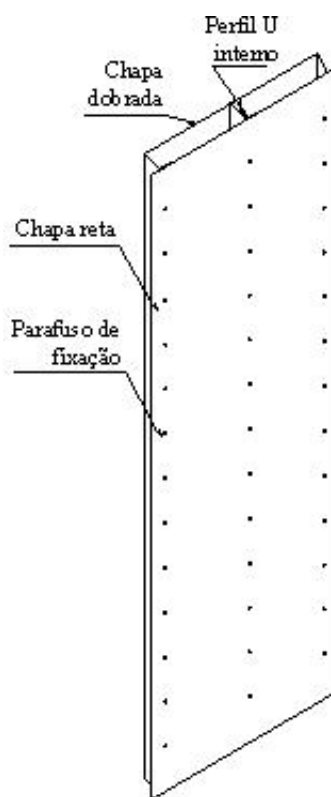
Em função das aberturas para fixação de portas e janelas os painéis poderão variar também a altura, tendo painéis de 70 cm de altura (utilizados acima dos vãos de portas) e painéis de alturas variadas, utilizados abaixo e acima de janelas.

As instalações hidro-sanitárias e elétricas serão embutidas nos painéis, sendo que estes terão, em suas faces laterais, furos que servirão de passagem dessas instalações de um painel para outro, e no fechamento superior, furos para a passagem das instalações para a laje.

Os painéis são montados conforme mostra a Figura 3.2, pela união parafusada de uma chapa dobrada e uma chapa reta. No interior de cada painel é fixada uma chapa dobrada, formando um perfil em U, chapa esta que será responsável pelo enrijecimento do mesmo. Nas faces superior e inferior os painéis são fechados de modo a impedir a saída do material isolante térmico que é colocado em seu interior.



a) Vista superior [cm].



b) Vista em perspectiva.

Figura 3.2 – Montagem do painel (sem as chapas de fechamento).

A Figura 3.3 mostra o esquema de ligação dos painéis, feita por meio de parafusos e a ligação com a base por meio de chapas em L chumbadas à fundação e parafusadas aos painéis. Nos cantos de paredes, a união será feita conforme mostra a Figura 3.4, fazendo-se o acabamento por meio de uma chapa em L.

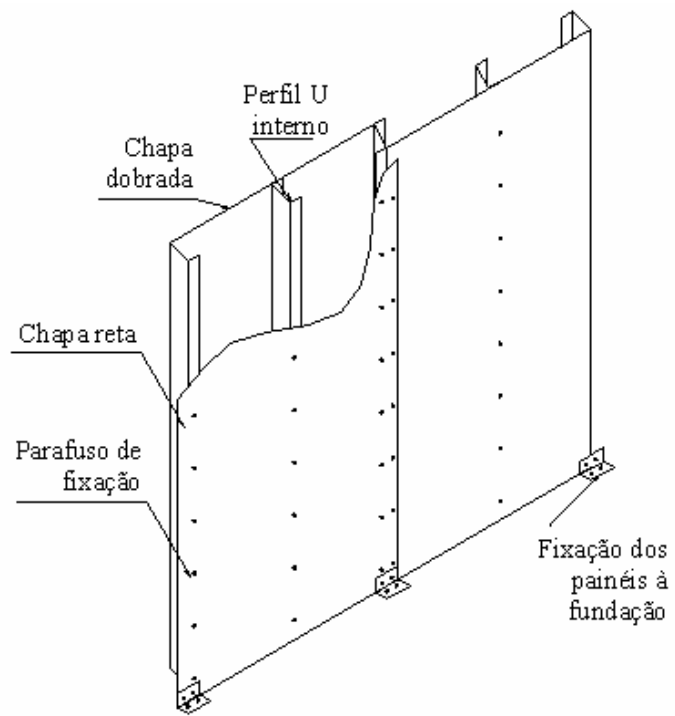


Figura 3.3 – Esquema de montagem e fixação dos painéis.

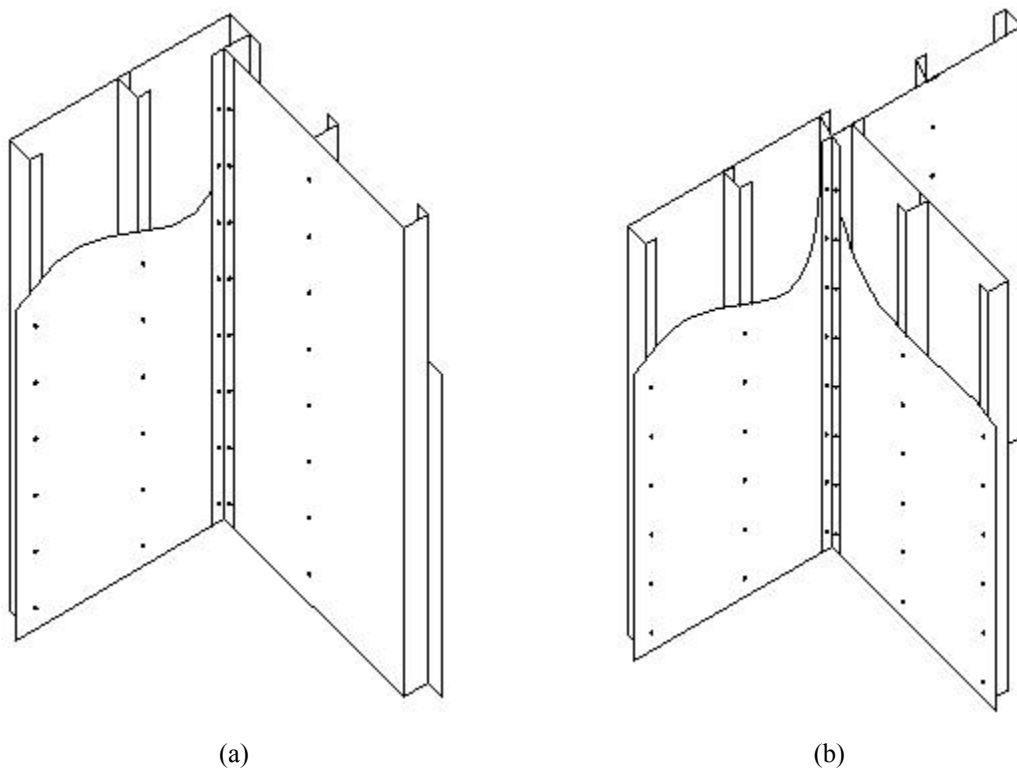


Figura 3.4 – Detalhe da ligação entre paredes perpendiculares: (a) canto em L; (b) canto em T.

As juntas entre painéis e entre painéis e fundação representam um ponto crítico da edificação, sendo estas possíveis canalizadoras do fluxo de água e ar proveniente da superfície externa da fachada para o interior da mesma. Sendo assim, para o sistema, propõe-se que a estanqueidade à água e ao ar seja feita por meio de material selante elástico a base de silicone, uma vez que estes produtos apresentam boa resistência à abrasão e às intempéries, tendo boa aderência tanto ao metal como ao concreto.

Os painéis são formados por chapas de aço conformadas a frio, com módulo de elasticidade (E) igual a 20500 kN/cm^2 , tensão de escoamento 25 kN/cm^2 e coeficiente de *Poisson* (ν) igual a 0,3. Geralmente as espessuras dessas chapas variam entre 0,30 mm e 6,40 mm, no entanto, as espessuras mais utilizadas são aquelas padronizadas pelas companhias siderúrgicas, como por exemplo, a Usiminas, que apresenta as dimensões padrões das bobinas e chapas, Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Dimensões de bobinas e chapas Usiminas para aplicações na construção civil.

Espessura Padrão (mm)	Massa (kg/m^2)	Largura Padrão (mm)	Comprimento Padrão (mm)
0,30	2,36	1000 1200 1500	2000 3000 Ou em bobinas
0,38	2,98		
0,45	3,53		
0,60	4,71		
0,75	5,89		
0,85	6,67		
0,90	7,06		
1,06	8,32		
1,20	9,42		
1,50	11,78		
1,70	13,35		
1,90	14,92		
2,25	17,66		
2,65	20,80		

Fonte: BELLEI (2003).

3.2.2 Elementos Estruturais

Inicialmente foi feito um pré-dimensionamento da estrutura do sistema proposto, conforme recomendações da NBR 14762 (2001), no qual foram considerados como elementos estruturais os pilares que são criados na união dos painéis, tendo esses pilares a seção e as dimensões mostradas na Figura 3.5. Considerou-se uma contribuição de 5 cm de cada lado da chapa dobrada na análise e dimensionamento dos referidos pilares, sendo que os 80 cm

restantes da chapa dobrada e a chapa reta foram considerados como elementos de vedação, sendo os painéis construídos de forma contínua para efeitos de simplificações construtivas.

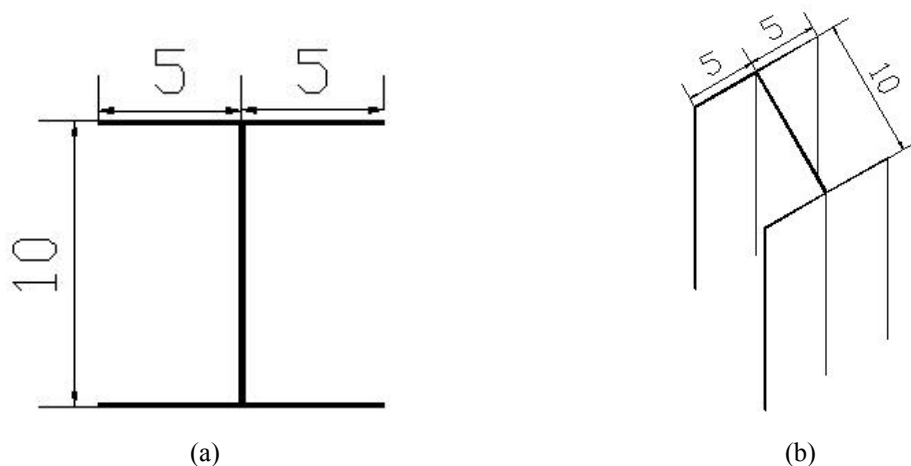


Figura 3.5 – Pilares na união de painéis: (a) em planta; (b) em perspectiva [cm].

Na união dos painéis formam-se os pilares de perfil duplo U, entretanto, não há um método de ligação dos perfis que os impeçam de se deslocarem independentes um do outro. Portanto, os mesmos serão considerados como dois perfis U que se deslocam independentemente, sendo os cálculos feitos para um perfil com as características mostradas na Figura 3.6.

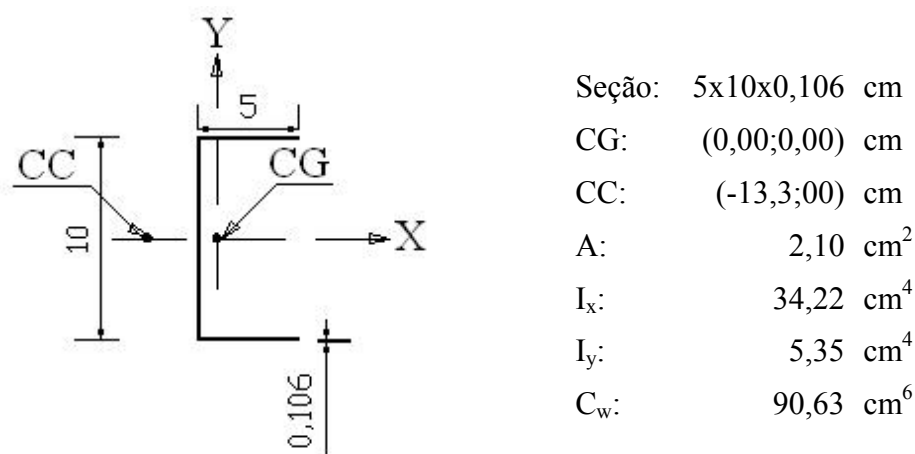


Figura 3.6 – Perfil U simples com as respectivas dimensões e propriedades geométricas.

Para a análise e dimensionamento do sistema proposto foram feitas as verificações dos perfis U simples para o estado limite último. Em seguida, foi verificada a estabilidade de placas isoladas apoiadas nas quatro bordas, submetidas à compressão.

3.2.3 Ligações

As ligações são dispositivos que têm por finalidade unir elementos estruturais dando continuidade à estrutura. Elas funcionam como meios de fixação e transmissão de esforços, sendo necessário que trabalhem de forma semelhante às peças a elas conectadas.

Para os painéis em estudo são analisadas ligações parafusadas, visto que estas, no caso, apresentam vantagens significativas em relação às ligações soldadas, em se tratando de racionalização construtiva. Dentre as vantagens desse tipo de ligação destacam-se: rapidez na execução, economia em relação à energia requerida, exigência de qualificação inferior do operário se comparada à solda, dentre outras.

Importante destacar que, quando a obra necessita de aços resistentes à corrosão atmosférica, deve-se empregar parafusos que tenham essas mesmas características. A diferença de potencial eletroquímico entre o revestimento de zinco do parafuso e o aço da estrutura pode ocasionar uma corrosão localizada acelerada.

A resistência de uma estrutura não depende somente de quanto um perfil pode suportar, uma vez que as ligações podem representar pontos críticos ou de fragilidade se não forem dimensionadas da forma correta. As ligações devem ser calculadas para poder suportar as solicitações provenientes de ações na estrutura como o peso-próprio, sobrecargas, etc...

As ligações entre painéis e as ligações entre os painéis e a fundação representam, como toda ligação, uma parte crítica da estrutura, devendo as mesmas serem analisadas de forma a se obter o melhor sistema de ligação possível para o caso em questão.

Segundo Fonseca, Simões e Martins (2002) existem três tipos básicos de problemas relacionados às ligações parafusadas, são eles: o colapso da ligação, os problemas de corrosão e o detalhamento incorreto. A seguir serão apresentados alguns problemas em ligações parafusadas que levam ao colapso da ligação.

- Cisalhamento do parafuso;

- Rasgamento da chapa entre furos ou entre furo e borda;
- Esmagamento da chapa;
- Ruptura do parafuso.

Para o dimensionamento das ligações deve ser utilizada a NBR 14762 (2001), a qual prevê as seguintes verificações para ligações parafusadas: rasgamento entre furos ou entre furo e borda, pressão de contato (esmagamento), força normal de tração no parafuso, força cortante no parafuso e ação conjunta de tração e cisalhamento no parafuso.

O rasgamento entre furo ou entre furo e borda ocorre devido a inadequações de projeto, normalmente quando a chapa possui dimensões insuficientes para o carregamento que a solicitará. A chapa pode ter seu furo alargado ou sua superfície rasgada na direção da tensão. Neste caso a força resistente de cálculo ao rasgamento F_{Rd} deve ser calculada pela Equação 3.1.

$$F_{Rd} = \frac{t \cdot e \cdot f_u}{\gamma} \quad (3.1)$$

onde:

t = espessura do elemento conectado analisado

e = distância, na direção da força, do centro do furo à borda mais próxima do furo adjacente ou à extremidade do elemento conectado

f_u = resistência à ruptura do aço (metal-base)

γ = 1,35

A pressão de contato (esmagamento) provoca grande deslocamento na estrutura em função do esmagamento da chapa. A chapa não chega a rasgar, porém, o escoamento nela ocasionado na região do furo pode gerar deslocamentos na estrutura. A força resistente de cálculo ao esmagamento F_{Rd} é dada pela Equação 3.2.

$$F_{Rd} = \frac{2,4 \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma} \quad (3.2)$$

onde:

- d = diâmetro nominal do parafuso
 t = espessura do elemento conectado analisado
 f_u = resistência à ruptura do aço (metal-base)
 γ = 1,35

A ruptura do parafuso por tração ocorre quando a tensão gerada pela tração do parafuso é superior à resistência do mesmo, podendo este escoar e romper, levando a estrutura ao colapso. A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ é calculada pela Equação 3.3.

$$N_{t,Rd} = \frac{0,75 \cdot A_p \cdot f_{up}}{\gamma} \quad (3.3)$$

onde:

- A_p = área bruta da seção transversal do parafuso
 f_{up} = resistência à ruptura do parafuso na tração
 γ = 1,55 para parafusos comuns e parafusos sem qualificação estrutural
 γ = 1,35 para parafusos de alta resistência

O cisalhamento do parafuso ocorre devido à presença de uma tensão de cisalhamento superior à resistência de cálculo. A força cortante de cálculo V_{Rd} quando o plano de corte passa pela rosca deve ser calculada pela Equação 3.4.

$$V_{Rd} = \frac{0,45 \cdot A_p \cdot f_{up}}{\gamma} \quad (3.4)$$

onde:

- A_p = área bruta da seção transversal do parafuso
 f_{up} = resistência à ruptura do parafuso na tração
 γ = 1,65 para parafusos comuns e parafusos sem qualificação estrutural
 γ = 1,55 para parafusos de alta resistência

Quando na ligação há parafusos submetidos a esforço normal de tração e a esforço cortante, além da verificação dos esforços isoladamente, faz-se necessária a verificação dos mesmos combinados. Para parafusos sem qualificação estrutural e para parafusos comuns

ou de alta resistência devem ser satisfeitas as condições das Equações 3.5 e 3.6, respectivamente.

$$(N_{t, Sd}/N_{t, Rd}) + (V_{Sd}/V_{Rd}) \leq 1,0 \quad (3.5)$$

$$(N_{t, Sd}/N_{t, Rd}) + (V_{Sd}/V_{Rd}) \leq 1,25 \quad (3.6)$$

onde:

$N_{t, Sd}$ = força normal de tração solicitante de cálculo

$N_{t, Rd}$ = força normal de tração resistente de cálculo

V_{Sd} = força cortante solicitante de cálculo

V_{Rd} = força cortante resistente de cálculo

A NBR 14762 (2001) determina ainda algumas disposições construtivas acerca de ligações parafusadas, especificando que a distância livre entre as bordas de dois furos adjacentes não deve ser inferior a $2d$, e a distância da borda de um furo à extremidade do elemento conectado não deve ser inferior a d , onde d é o diâmetro nominal do parafuso.

Para o estudo em questão, a escolha do tipo de parafuso foi feita em função da praticidade na hora da ligação entre painéis na obra. Sendo assim, os parafusos autoperfurantes se apresentaram como os mais indicados para a aplicação em estudo, sendo o tipo de ponta destes parafusos uma característica importante a ser destacada.

Os parafusos autoperfurantes possuem três tipos diferentes de ponta, que perfuram o material a ser fixado sem necessidade de furo prévio, já que a mesma não possui a tendência de escorregar sobre a chapa.

A ponta agulha é muito afiada, sendo capaz de perfurar metais de até 0,91 cm, podendo ser de rosca simples (fixação de madeira) ou dupla (chapas metálicas), conforme características do material a ser fixado. A ponta ogivada foi desenvolvida especialmente para a aplicação em madeira que, além de muito afiada, possui um corte que facilita a eliminação dos resíduos de madeira extraídos do furo no momento da aplicação. A ponta broca permite perfurar metais de até 1,27 cm, fazendo-se o furo e conformando a rosca em uma só operação.

Conforme descrições, a ponta mais indicada para o uso nas chapas em aço de 0,106 cm dos painéis propostos é a ponta broca, que possui duas características principais: a ranhura da broca e o comprimento da ponta.

O comprimento da ranhura da broca determina a espessura do metal que pode ser perfurado, se a ranhura penetrar o material de tal forma a ficar completamente embutida, os cavacos do metal travam o parafuso provocando o rompimento da ponta.

O comprimento da ponta do parafuso é determinado pela distância desta até o primeiro fio de rosca. Esse comprimento deve ser longo o suficiente para que a operação de perfuração termine antes que o primeiro fio alcance o metal. A velocidade de avanço da rosca do parafuso é até dez vezes maior que a velocidade da perfuração da broca, correndo-se o risco do parafuso romper caso a rosca toque a base antes da perfuração ter sido terminada (PEREIRA JÚNIOR, 2004).

3.3 ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO DE PERFIS

A análise estrutural do sistema proposto foi feita para verificar se os painéis de chapas de aço dobradas a frio formando perfis podem ser considerados como elementos estruturais da edificação.

Como será visto mais adiante, o modelo do sistema construtivo proposto foi analisado pelo método dos elementos finitos com a utilização do programa computacional ANSYS versão 9.0.

A norma adotada para o dimensionamento dos perfis é a NBR 14762 (2001), a qual estabelece que, para o dimensionamento da estrutura, nenhum estado limite aplicável deve ser excedido quando a estrutura for submetida a todas as combinações apropriadas de ações.

A utilização dos perfis formados a frio na construção civil, em muitos casos, representa uma solução mais econômica, devido ao fato desses perfis possuírem maior relação largura/espessura e maior relação inércia/peso em relação aos perfis laminados, proporcionando assim estruturas mais leves. No projeto de perfis formados a frio submetidos à compressão deve-se tomar cuidado especial com a instabilidade estrutural,

sendo estes perfis suscetíveis a três modos de instabilidade: flambagem local, flambagem distorcional e flambagem por flexão, torção ou flexo-torção (modo global).

O modo de flambagem distorcional se apresenta mais crítico em perfis com enrijecedores de borda, devido à perda de estabilidade do conjunto formado pelo elemento comprimido e seu enrijecedor, alterando a forma inicial da seção transversal. A flambagem distorcional envolve rotações da alma e das mesas dos perfis, produzindo um deslocamento lateral das arestas próximas aos enrijecedores e provocando uma redução da resistência do perfil (CHODRAUI, 2003; PÉREZ, 2003). A Figura 3.7 mostra exemplos de flambagem por distorção da seção transversal em diferentes seções, submetidas à compressão.

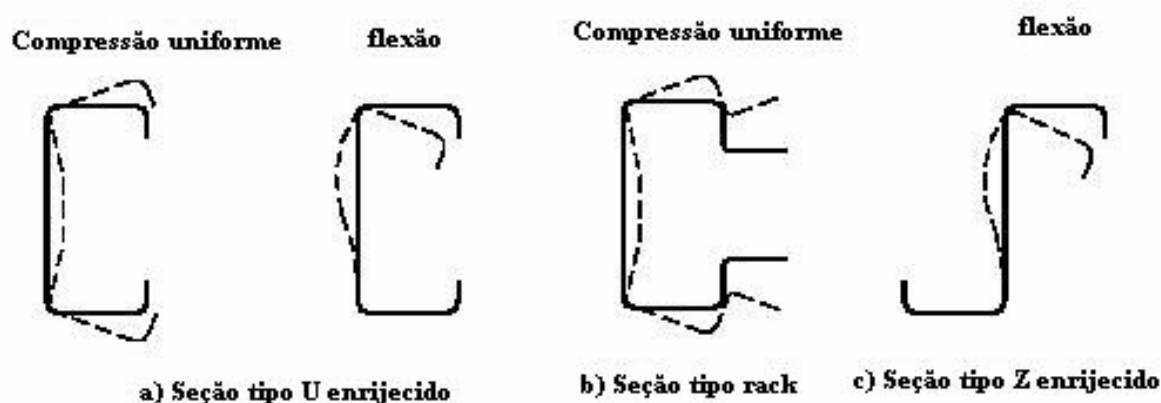


Figura 3.7 – Exemplos de flambagem por distorção da seção transversal de perfis formados a frio.

Fonte: NBR 14762 (2001).

A NBR 14762 (2001) trata o modo de flambagem local (flambagem de chapa) pelo Método das Larguras Efetivas e o modo global (flambagem da barra como um todo) por meio de curvas de flambagem, considerando-se uma interação entre os dois modos.

O modo de flambagem local da placa (Figura 3.8) se caracteriza pela instabilidade nas paredes da seção, onde as bordas comuns entre elementos não se deslocam, ocorrendo deslocamento de flexão apenas nos elementos de placa, ou seja, os cantos permanecem perfeitamente alinhados com sua posição inicial, provocando rotações nas placas.

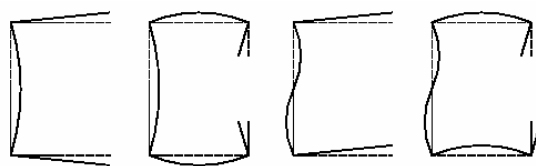


Figura 3.8 – Exemplos de flambagem local de perfis formados a frio.

Fonte: PÉREZ (2003).

Geralmente a flambagem local não resulta no colapso da estrutura, como acontece na flambagem global, este fato se deve ao comportamento pós-crítico das placas, onde ocorre um aumento na rigidez e na capacidade resistente. Devido à complexidade dos problemas de equações diferenciais que representam tal comportamento pós-crítico foram desenvolvidos métodos simplificados e aproximados para o cálculo de placas, destacando-se o já mencionado Método das Larguras Efetivas, no qual a redução da rigidez da placa é levada em consideração pela substituição da largura b da placa original por uma largura b_e , menor que b (PÉREZ, 2003).

Para uma placa sujeita à compressão uniforme, a distribuição de tensões antes da carga crítica é a da Figura 3.9 (a). Quando a carga crítica de flambagem é excedida, há uma redistribuição das tensões, como na Figura 3.9 (b) (VAZQUEZ, 2002).

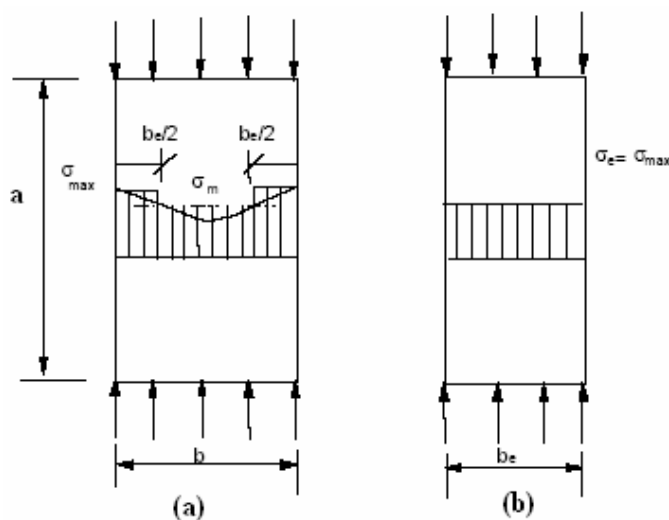


Figura 3.9 – Distribuição de tensões em placa comprimida: (a) carga inferior à carga crítica, (b) carga superior à carga crítica.

Fonte: VAZQUEZ (2002).

3.3.1 Ações atuantes

Na seqüência são apresentados os dados necessários para a análise e dimensionamento do sistema proposto, sendo este verificado para o estado limite último. O estado limite último relaciona-se com a segurança da estrutura quando esta está sob as combinações mais desfavoráveis de ações previstas para sua vida útil, enquanto o estado limite de utilização se relaciona com o desempenho da estrutura sob condições normais de serviço.

As ações consideradas atuantes na estrutura foram as seguintes: peso próprio de telhado, peso próprio de laje pré-moldada armada em uma direção, sobrecarga e forças devidas ao vento. O peso próprio dos painéis foi considerado desprezível em relação ao peso próprio dos demais elementos constituintes da edificação.

O telhado foi considerado em duas águas, com inclinação de 15°, tendo sua distribuição de cargas sido feita de forma simétrica nas paredes laterais.

A Tabela 3.2 apresenta o peso específico dos materiais utilizados na determinação do peso próprio da laje de cobertura.

Tabela 3.2 – Peso específico dos materiais de construção.

Material	Peso específico (kN/m³)
Concreto	25
Argamassa de revestimento	19
Bloco cerâmico	13

Fonte: NBR 6120 (1980).

O peso próprio do telhado foi considerado aplicado diretamente sobre os painéis estruturais, sendo dado pela soma do peso próprio do engradamento metálico com o peso próprio das telhas de cobertura, usando o manual da Usiminas (1992) como referência.

Com base no disposto, foram considerados: peso próprio da laje $1,9 \cdot 10^{-2}$ kN/cm² e peso próprio do telhado $1,00 \cdot 10^{-2}$ kN/cm². Para as ações variáveis foram consideradas as sobrecargas de cobertura e de forro sem acesso a pessoas, totalizando $7,5 \cdot 10^{-3}$ kN/cm².

As forças devidas ao vento consideradas atuantes na estrutura foram determinadas de acordo com a NBR 6123 (1988). Inicialmente determinou-se a pressão dinâmica do vento em função da velocidade básica deste e de alguns fatores da região (fator topográfico, fator que considera a rugosidade do terreno, a altura sobre o mesmo e as dimensões da

edificação e fator baseado em conceitos probabilísticos). Com esses valores e com as dimensões geométricas da edificação analisada, obteve-se as forças equivalentes aplicadas à estrutura.

Para a análise em questão, a velocidade básica do vento (V_0) foi determinada considerando que a edificação está localizada na região sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais, na cidade de Uberlândia. Logo, tem-se que $V_0=33,75$ m/s.

O fator topográfico S_1 leva em consideração as variações do relevo do terreno. Para o trabalho em questão considerou-se terreno plano ou fracamente acidentado, ou seja, $S_1=1,0$.

O fator S_2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação.

Para a determinação do fator S_2 admitiu-se uma edificação localizada em terreno de categoria II (terreno aberto em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas) e pertencente à classe A (a maior dimensão horizontal ou vertical da edificação não excede 20 m). Assim, o valor de S_2 é 0,94 (edificação com altura inferior a 5 m).

O fator S_3 é baseado em conceitos probabilísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Para a determinação do fator S_3 considerou-se que a edificação é do grupo 2 (edificação para hotéis e residências e edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação). Dessa forma, o fator $S_3=1,0$.

Com os valores dos fatores S_1 , S_2 , S_3 e da velocidade básica do vento, calculou-se a velocidade característica do vento (Equação 3.7) e a pressão dinâmica do mesmo (Equação 3.8).

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 31,725 \text{ m/s} \quad (3.7)$$

$$q = 0,613 \cdot (V_k)^2 = 616,97 \text{ N/m}^2 \quad (3.8)$$

onde:

V_k = velocidade característica do vento

V_0 = velocidade básica do vento

S_1 = fator topográfico

S_2 = fator que considera a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e sua altura sobre o terreno

S_3 = fator baseado em conceitos probabilísticos

q = pressão dinâmica do vento

As forças sobre as fachadas foram então determinadas levando-se em consideração os coeficientes de forma da estrutura e as áreas de influência.

Para a edificação em estudo foram consideradas quatro faces igualmente permeáveis sem possibilidade de abertura dominante. Logo, para esse caso pode-se considerar o coeficiente de pressão interna (c_{pi}) igual a -0,3 ou 0, considerando-se o valor mais nocivo. Os coeficientes de forma externos, para paredes de edificação de planta regular, como é o caso, são obtidos diretamente em função das dimensões geométricas da edificação e são mostrados na Figura 3.10.

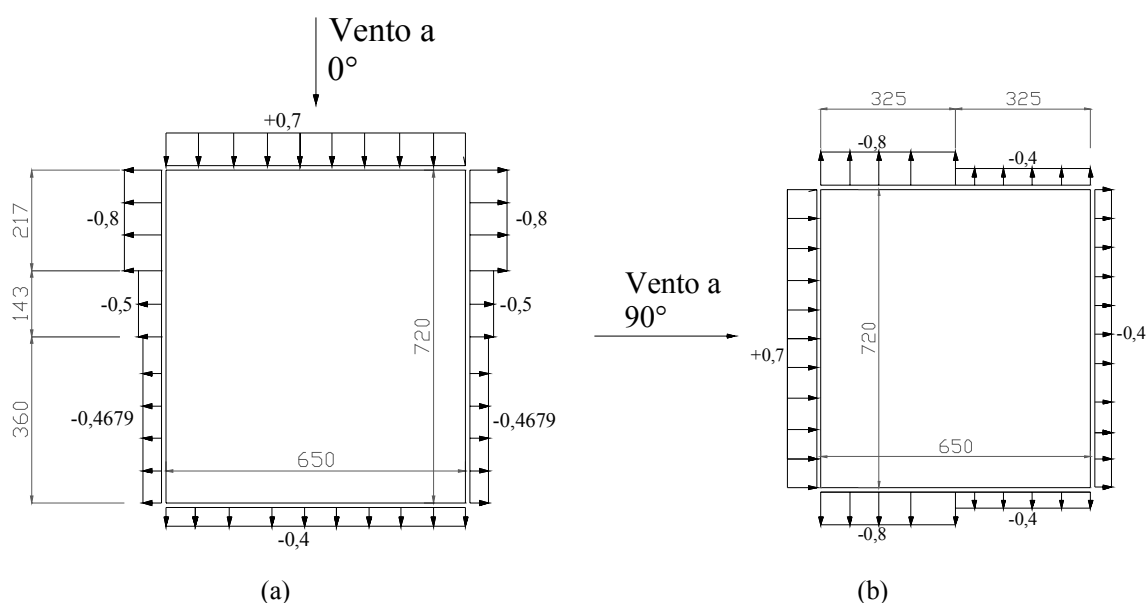


Figura 3.10 – Coeficientes de forma externos, para paredes: (a) vento a 0°; (b) vento a 90° [dimensões em cm].

Com base no disposto e com o valor da pressão dinâmica do vento de $6,1697 \cdot 10^{-5}$ kN/cm², tem-se a máxima sucção da ordem de $-4,93576 \cdot 10^{-5}$ kN/cm² e a máxima pressão da ordem de $6,1697 \cdot 10^{-5}$ kN/cm².

Foram considerados também os efeitos das forças devidas ao vento no telhado da edificação, sendo estas forças transmitidas para as paredes por meio das tesouras do telhado. Para isso, foram obtidos os coeficientes de forma externos (C_e) em função das dimensões geométricas da edificação, sendo esses mostrados na Figura 3.11.

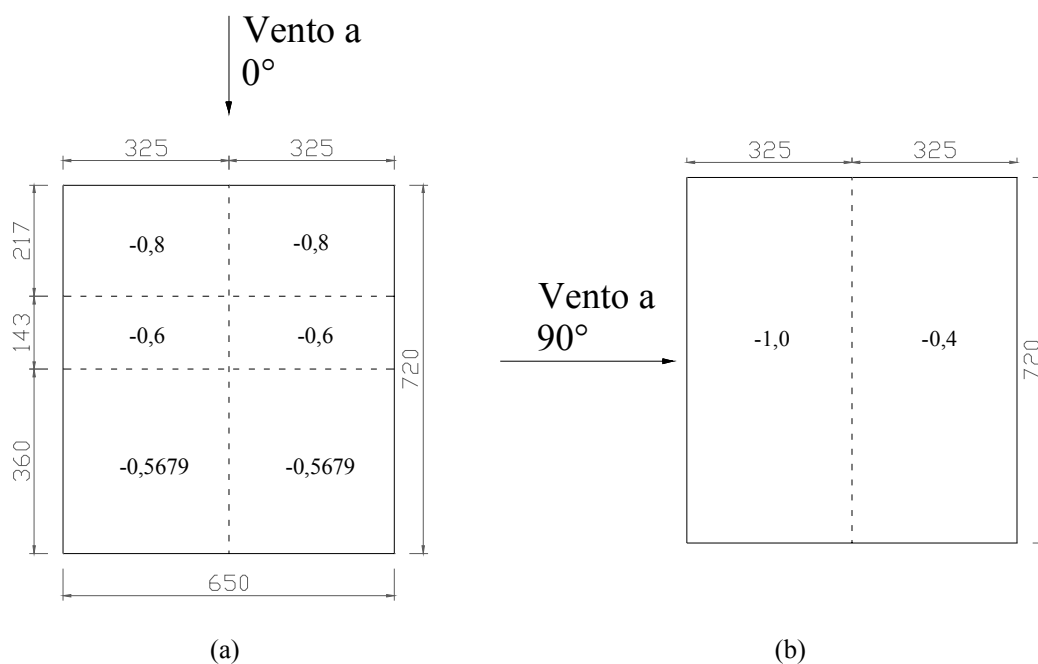


Figura 3.11 – Coeficientes de forma externos, para telhados: (a) vento a 0° ; (b) vento a 90° [dimensões em cm].

As forças devidas ao vento no telhado são distribuídas conforme Figura 3.12, sendo que para o vento a 0° a distribuição é simétrica em relação à cumeeira e as reações horizontais se anulam. Para o vento a 90° não existe, no caso, simetria, portanto, com a decomposição de forças, tem-se uma reação horizontal na parede da ordem de $3,2197 \cdot 10^{-3}$ kN/cm, sendo distribuída conforme mostra a Figura 3.13.

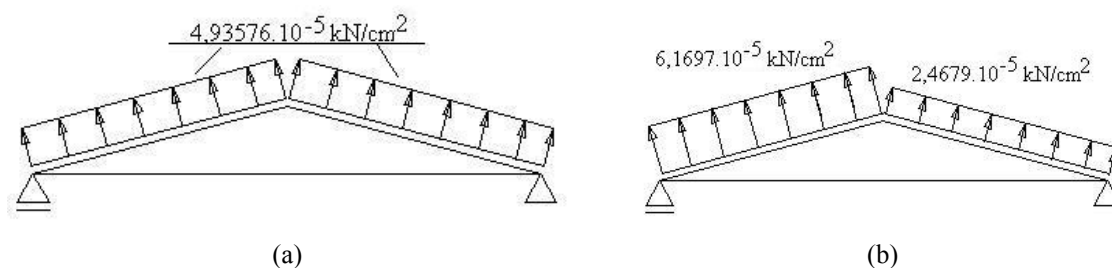


Figura 3.12 – Forças devidas ao vento no telhado: (a) vento a 0° ; (b) vento a 90° .

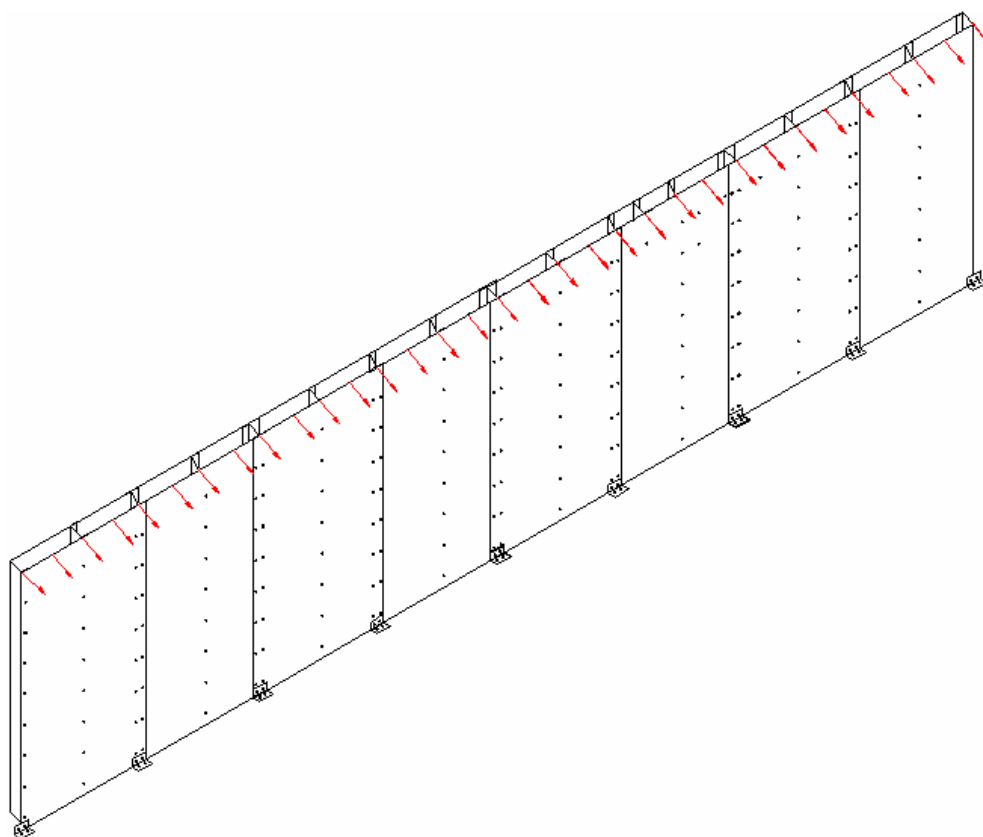


Figura 3.13 – Reação horizontal das forças devidas ao vento na parede, proveniente do telhado.

A laje apoiada sobre a parede comporta como um travamento lateral desta, impedindo-a de se mover fora do plano, portanto, as reações horizontais das forças devidas ao vento provenientes do telhado não foram consideradas.

3.3.2 Verificação dos Estados Limites Últimos

3.3.2.1 Esforços resistentes

Para barras submetidas à compressão centrada, a NBR 14762 (2001) estabelece que a força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como o menor valor dentre os obtidos nas Equações 3.9, 3.10 e 3.11, sendo a primeira para flambagem por flexão, por torção e por flexo-torção, e as outras referem-se a flambagem por distorção da seção transversal.

$$N_{c, Rd} = \frac{\rho \cdot A_{ef} \cdot f_y}{\gamma} \quad (3.9)$$

$$N_{c, Rd} = \frac{A \cdot f_y \cdot (1 - 0,25 \cdot \lambda_{dist}^2)}{\gamma} \quad \text{para } \lambda_{dist} < 1,414 \quad (3.10)$$

$$N_{c, Rd} = \frac{A \cdot f_y \cdot \{0,055[\lambda_{dist} - 3,6]^2 + 0,237\}}{\gamma} \quad \text{para } 1,414 \leq \lambda_{dist} \leq 3,6 \quad (3.11)$$

onde:

- ρ = fator de redução associado à flambagem
- A_{ef} = área efetiva da seção transversal da barra
- f_y = resistência ao escoamento do aço
- γ = coeficiente de ponderação da resistência
- A = área bruta da seção transversal da barra
- λ_{dist} = índice de esbeltez reduzido referente à flambagem por distorção

A NBR 14762 (2001) determina que a verificação da flambagem por distorção em perfis U simples (sem enrijecedores de borda) submetidos à compressão centrada ou à flexão pode ser dispensada, exceto no caso de perfis submetidos à flexão com painel conectado à mesa tracionada e à mesa comprimida livre, onde a flambagem por distorção do conjunto alma-mesa comprimida pode corresponder ao modo crítico.

Como nesse pré-dimensionamento foi considerado apenas carregamento vertical, o perfil analisado está sujeito apenas à compressão, não se fazendo assim necessária tal verificação.

Na verificação do perfil da Figura 3.14 submetido à compressão centrada, em relação à flambagem por flexão, por torção e por flexo-torção, no cálculo de $N_{c,Rd}$ o parâmetro ρ leva em consideração a influência da flambagem global na resistência do perfil, sendo o mesmo calculado pela Equação 3.12, ou tabelado em função do índice de esbeltez reduzido da barra comprimida λ_0 , dado pela Equação 3.13.

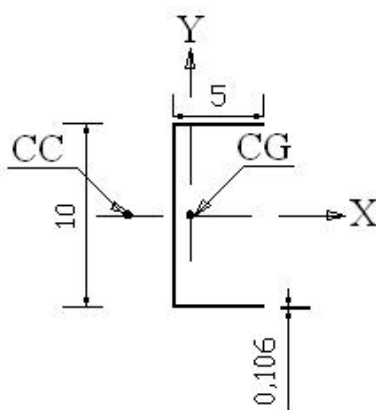


Figura 3.14 – Perfil U simples.

$$\rho = \frac{1}{\beta + (\beta^2 - \lambda_0^2)^{0,5}} \leq 1,0 \quad (3.12)$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A_{ef} \cdot f_y}{N_e} \right]^{0,5} \quad (3.13)$$

onde:

$$\beta = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_0 - 0,2) + \lambda_0^2 \right] \quad (3.14)$$

ρ = fator de redução associado à flambagem

β = parâmetro empregado no cálculo do fator de redução associado à flambagem

λ_0 = índice de esbeltez reduzido da barra

A_{ef} = área efetiva da seção transversal da barra

f_y = resistência ao escoamento do aço

N_e = força normal de flambagem elástica da barra

α = fator de imperfeição inicial

A área efetiva da seção transversal é calculada com base nas larguras efetivas dos elementos, no entanto, em uma primeira aproximação, pode se determinar ρ de forma aproximada, tomando-se $A_{ef} = A$, dispensando processo iterativo.

A força normal de flambagem elástica da barra (N_e) é verificada com base na simetria do perfil analisado. Como pode ser verificado na Figura 3.14, o perfil aqui analisado é monossimétrico, cujo eixo de simetria é o eixo x. Neste caso N_e é tomado como o menor

valor entre os obtidos nas Equações 3.15 e 3.16, correspondendo à flambagem elástica por flexão em relação ao eixo y e à flambagem elástica por flexo-torção respectivamente.

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad (3.15)$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot [1 - (x_0/r_0)^2]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot [1 - (x_0/r_0)^2]}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] \quad (3.16)$$

onde:

- E = módulo de elasticidade do aço
- I_y = momento de inércia em relação ao eixo y
- $K_y \cdot L_y$ = comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo y
- N_{ex} = força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo x
- N_{et} = força normal de flambagem elástica por torção
- r_0 = raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção
- x_0 = coordenada do centro de torção na direção do eixo x

Para o cálculo da força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo x e da força normal de flambagem elástica por torção usam-se respectivamente as Equações 3.17 e 3.18.

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad (3.17)$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot I_t \right] \quad (3.18)$$

onde:

- E = módulo de elasticidade do aço
- I_x = momento de inércia em relação ao eixo x
- $K_x \cdot L_x$ = comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo x
- C_w = constante de empenamento da seção
- r_0 = raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção
- $K_t \cdot L_t$ = comprimento efetivo de flambagem por torção
- G = módulo de elasticidade transversal do aço
- I_t = momento de inércia à torção

Para um comprimento de flambagem de 280 cm, obteve-se os seguintes valores para as forças de flambagem do perfil analisado: $N_{ey} = 13,80$ kN e $N_{ext} = 9,89$ kN. Tomando-se a força normal de flambagem elástica N_e como o menor destes dois valores, tem-se $N_e = N_{ext} = 9,89$ kN, verificando-se assim que o modo crítico é o modo de flambagem por flexo-torção. Segundo Inoue (2004) este modo de flambagem é um modo aclopado entre os modos de flambagem por flexão e torção, sendo identificado como modo crítico para barras longas.

Com o valor da força normal de flambagem elástica obteve-se um fator de redução associado à flambagem (ρ) da ordem de 0,154.

A NBR 14762 (2001) determina que para o cálculo da resistência de perfis formados por elementos esbeltos deve-se levar em consideração a redução desta resistência provocada pela flambagem local. Tal consideração é feita a partir da substituição da largura dos elementos da seção transversal por uma largura efetiva, calculada de acordo com a Equação 3.19 para todos os elementos com borda vinculada e para os elementos com borda livre sem inversão do sinal da tensão, e de acordo com a Equação 3.20 para os elementos com borda livre com inversão do sinal da tensão.

$$b_{ef} = \frac{b \cdot (1 - 0,22/\lambda_p)}{\lambda_p} \leq b \quad (3.19)$$

$$b_{ef} = \frac{b_c \cdot (1 - 0,22/\lambda_p)}{\lambda_p} \leq b_c \quad (3.20)$$

onde:

b = largura do elemento

b_c = largura da região comprimida do elemento

λ_p = índice de esbeltez reduzido do elemento

O índice de esbeltez reduzido do elemento é calculado pela Equação 3.21, sendo que para valores menores que 0,673 adota-se a própria largura do elemento como largura efetiva.

$$\lambda_p = \frac{b/t}{0,95 \cdot \sqrt{k \cdot E/\sigma}} \quad (3.21)$$

onde:

b = largura do elemento

t = espessura do elemento

k = coeficiente de flambagem local (tabelado em função dos vínculos das bordas dos elementos)

E = módulo de elasticidade do aço

σ = tensão normal de compressão ($\sigma = \rho \cdot f_y$)

Com o valor das larguras efetivas dos elementos do perfil obteve-se a área efetiva do mesmo, concluindo assim o processo iterativo, de onde o novo fator de redução associado à flambagem (ρ) é da ordem de 0,17.

A partir de toda a formulação apresentada anteriormente e de posse dos valores obtidos, a força normal de compressão resistente de cálculo de cada perfil U é dada pela Equação 3.22.

$$N_{c, Rd} = \frac{\rho \cdot A_{ef} \cdot f_y}{\gamma} = \frac{0,17 \cdot 1,86 \cdot 25}{1,1} = 7,186 \text{ kN} \quad (3.22)$$

3.3.2.2 Esforços solicitantes

As ações adotadas para a análise estrutural do modelo foram descritas anteriormente. Essas ações são consideradas nominais e para as regras de combinações estas devem ser classificadas segundo a variabilidade no tempo, seguindo especificação da NBR 8681 (1984) e da NBR 14762 (2001), onde F_G representa ações permanentes, F_Q representa ações variáveis e $F_{Q,exc}$ ações excepcionais. Logo, segundo a NBR 14762 (2001) a combinação última normal para a análise dos esforços atuantes nos elementos estruturais do modelo é feita com base na Equação 3.23, considerando-se que as ações atuantes são: peso próprio da laje e do telhado, sobrecarga e forças devidas ao vento.

$$F_{Sd} = \sum_{i=1}^m (\gamma_{G_i} \cdot F_{G_i}) + \gamma_{Q1} \cdot F_{Q1} \sum_{j=2}^n (\gamma_{Q_j} \cdot \psi_{0j} \cdot F_{Q_j}) \quad (3.23)$$

onde:

F_{Sd} = força solicitante de cálculo

γ_g = coeficiente de ponderação das ações permanentes, conforme Tabela 3.3

γ_q = coeficiente de ponderação das ações variáveis, conforme Tabela 3.3

Ψ_0 = fator de combinação, conforme Tabela 3.4

Tabela 3.3 – Coeficientes de ponderação das ações.

Combinações	Ações permanentes		Ações variáveis		
	Grande variabilidade	Pequena variabilidade	Recalques diferenciais	Variação de temperatura	Ações variáveis em geral, incluindo decorrentes do uso.
	$\gamma_g^{1)}$	$\gamma_g^{1),2)}$	γ_q	$\gamma_q^{3)}$	$\gamma_q^{4)}$
Normais	1,4 (0,9)	1,3 (1,0)	1,2	1,2	1,4
Especiais ou de construção	1,3 (0,9)	1,2 (1,0)	1,2	1,0	1,2
Excepcionais	1,2 (0,9)	1,1 (1,0)	0	0	1,0

¹⁾ Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança. Ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

²⁾ Todas as ações permanentes podem ser consideradas de pequena variabilidade quando o peso próprio da estrutura superar 75 % da totalidade das ações permanentes. Também podem ser consideradas ações permanentes de pequena variabilidade os pesos próprios de componentes metálicos e pré-fabricados em geral, com controle rigoroso de peso. Excluem-se os revestimentos feitos *in loco* desses componentes.

³⁾ A variação de temperatura citada não inclui a gerada por equipamentos, a qual deve ser considerada como ação decorrente do uso da edificação.

⁴⁾ Ações decorrentes do uso da edificação incluem sobrecargas em pisos e em coberturas, ações provenientes de monovias, pontes rolantes ou outros equipamentos, etc.

Fonte: NBR 14762 (2001).

Tabela 3.4 – Fatores de combinação e fatores de utilização.

Ações	$\Psi_0^{1)}$
Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6
-Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,4
-Pressão dinâmica do vento nas estruturas em que a ação variável principal tem pequena variabilidade durante grandes intervalos de tempo (exemplo: edifícios de habitação)	0,6
Cargas acidentais (sobrecargas) nos edifícios:	
-Sem predominância de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas.	0,4
-Com predominância de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas.	0,7
-Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens.	0,8
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos:	
-Equipamentos de elevação e transporte	0,6
-Passarelas de pedestres	0,4

¹⁾ Os coeficientes Ψ_0 devem ser admitidos como 1,0 para ações variáveis de mesma natureza da ação variável principal F_{Q1} .

Adaptado: NBR 14762 (2001).

Com base nos dados apresentados anteriormente, é feita a combinação de ações verticais atuantes na edificação, para o caso mais desfavorável. Para tanto, não se considerou nesta combinação a reação vertical da ação do vento sobre o telhado, uma vez que esta é apenas de sucção, aliviando assim o carregamento, não sendo, portanto, o caso mais crítico.

Para a combinação de ações, foram utilizados os coeficientes 1,4 para ações permanentes de grande variabilidade e 1,4 para ações variáveis em geral. As paredes analisadas foram as paredes P6 e P9 (externas) e P8 (interna) (Figura 3.15).

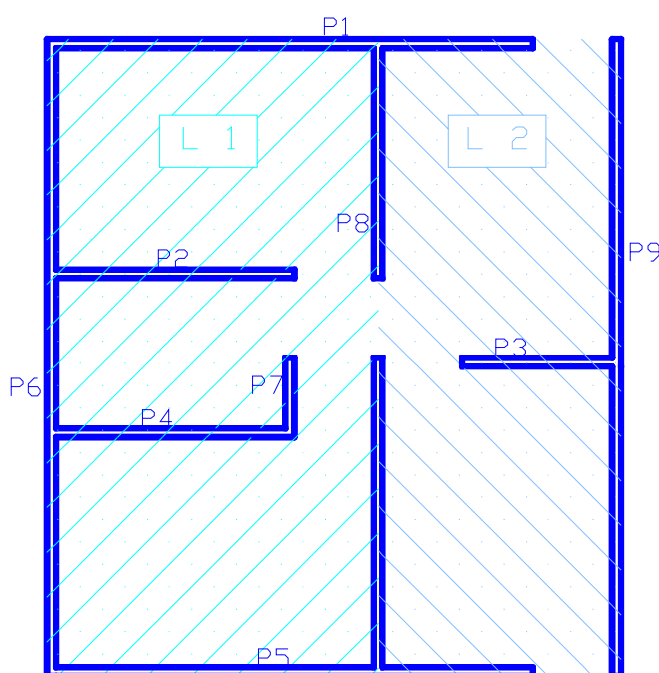


Figura 3.15 – Esquema de numeração de paredes.

A parede P6 recebe esforços provenientes de telhado e parte da laje L1, a parede P8 recebe parte da laje L1 e parte da laje L2 e a parede P9 recebe esforços provenientes de telhado e parte da laje L2. Como a contribuição da laje L1 na parede P6 é maior que a contribuição da laje L2 na parede P9, as combinações foram feitas para as paredes P6 e P8. Assim, foram obtidos os seguintes valores de carga: 10,92 kN/m e 11,33 kN/m para as paredes P8 e P6 respectivamente, sendo esta última a parede mais solicitada da edificação.

3.4 ESTABILIDADE DE PLACAS ISOLADAS

As placas isoladas apresentam o fenômeno da instabilidade, o qual se caracteriza pela modificação da sua geometria inicial sob o efeito de cargas chamadas críticas. Para compressão simples, o problema é análogo à flambagem de coluna. Além da flambagem por compressão simples, as placas podem ainda flambar sob efeito de esforços de flexocompressão e cisalhamento, simples e associados (PFEIL, 1986).

Para a análise da estabilidade de placas isoladas considerou-se a chapa de fechamento dos painéis com as seguintes dimensões: largura (b) de 90 cm, comprimento (a) de 280 cm, espessura (t) de 0,106 cm, módulo de elasticidade (E) de 20500 kN/cm² e coeficiente de *Poisson* (ν) igual a 0,3.

Considerou-se ainda que a chapa analisada é submetida à compressão uniforme e provida de apoios nos lados paralelos às tensões de compressão, sendo o coeficiente k_σ de tensão de flambagem igual a 4,00, obtido a partir da curva C da Figura 3.16.

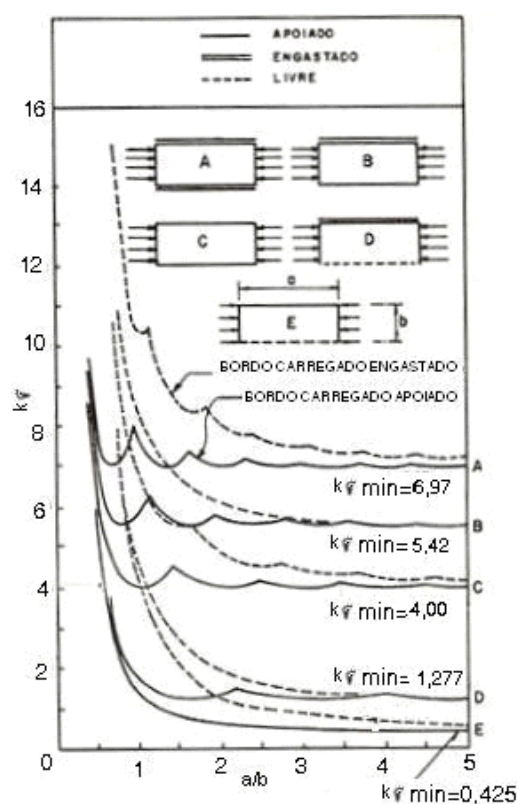


Figura 3.16 – Coeficiente k_σ de tensão de flambagem de placas sujeitas a compressão simples.

Fonte: PFEIL (1986).

A análise tem por objetivo obter a carga crítica suportada pela chapa, a partir da qual pode ocorrer o fenômeno da flambagem. Tal carga é dada em função da tensão de flambagem (σ_{cr}), calculada pela Equação 3.24.

As cargas críticas de flambagem dependem da geometria da placa (dimensões, condições de apoio), das propriedades físicas do material (módulo de elasticidade e de cisalhamento, coeficiente de deformação transversal) e dos esforços aplicados.

$$\sigma_{cr} = k_{\sigma} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 0,1028 \text{ kN/cm}^2 \quad (3.24)$$

onde:

k_{σ} = coeficiente de flambagem

E = módulo de elasticidade do aço

t = espessura da chapa

b = largura da chapa

ν = coeficiente de *Poisson*

Considerando a tensão atuante na chapa como sendo a tensão crítica obtida da Equação 3.24, obtém-se a carga crítica atuante na chapa a partir da Equação 3.25.

$$\sigma_{at} = \frac{q}{t} \quad (3.25)$$

onde:

q = carga por metro linear

t = espessura da chapa

Logo a carga crítica vale 1,089 kN por metro linear de chapa.

Segundo Pfeil (1986), quando estas chapas não apresentam segurança suficiente contra a flambagem, pode-se modificar a sua geometria, dividindo-as em painéis por meio de enrijecedores.

3.5 MODELO NUMÉRICO

Neste trabalho desenvolveu-se um modelo numérico, baseado no método dos elementos finitos, para a análise de estabilidade do sistema proposto.

Conforme já mencionado, adotou-se o programa ANSYS versão 9.0 para a modelagem numérica em três dimensões dos painéis em chapas metálicas. Para a discretização do modelo foi adotado o elemento de casca SHELL63, o qual possui 4 nós, com 6 graus de liberdade em cada, sendo 3 translações (UX, UY e UZ) e 3 rotações (ROTX, ROTY e ROTZ), conforme ilustrado na Figura 3.17.

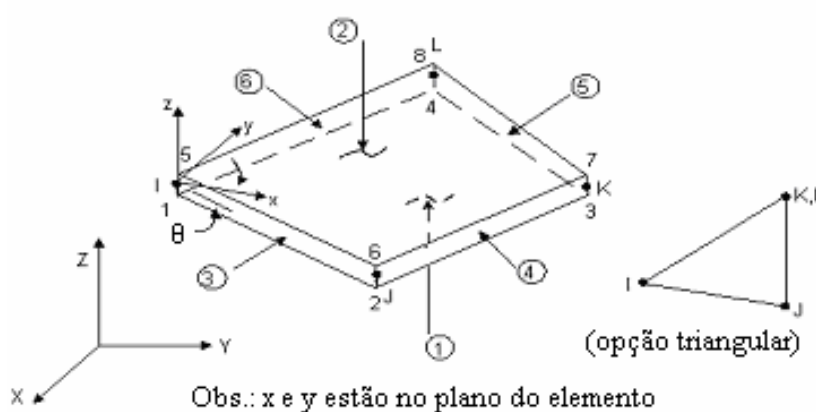


Figura 3.17 – Elemento de casca SHELL63.

Fonte: ANSYS 9.0.

Inicialmente foi feita a análise de uma chapa isolada, com o objetivo de verificar a carga crítica de flambagem, podendo-se assim, fazer uma comparação com os resultados obtidos no pré-dimensionamento, onde foi analisada esta situação.

Para as análises de flambagem, tanto da chapa como dos painéis, foram realizados os dois métodos disponíveis no programa utilizado, sendo o método da flambagem pelo autovalor (*eigenvalue buckling*), e o método da flambagem não linear (*nonlinear buckling*), na qual é considerada a não linearidade geométrica do comportamento do modelo.

A chapa modelada para a análise de flambagem possui altura de 280 cm, largura de 90 cm e espessura de 0,106 cm. Esta chapa foi considerada apoiada nos quatro bordos, situação semelhante à analisada no pré-dimensionamento (Figura 3.18).

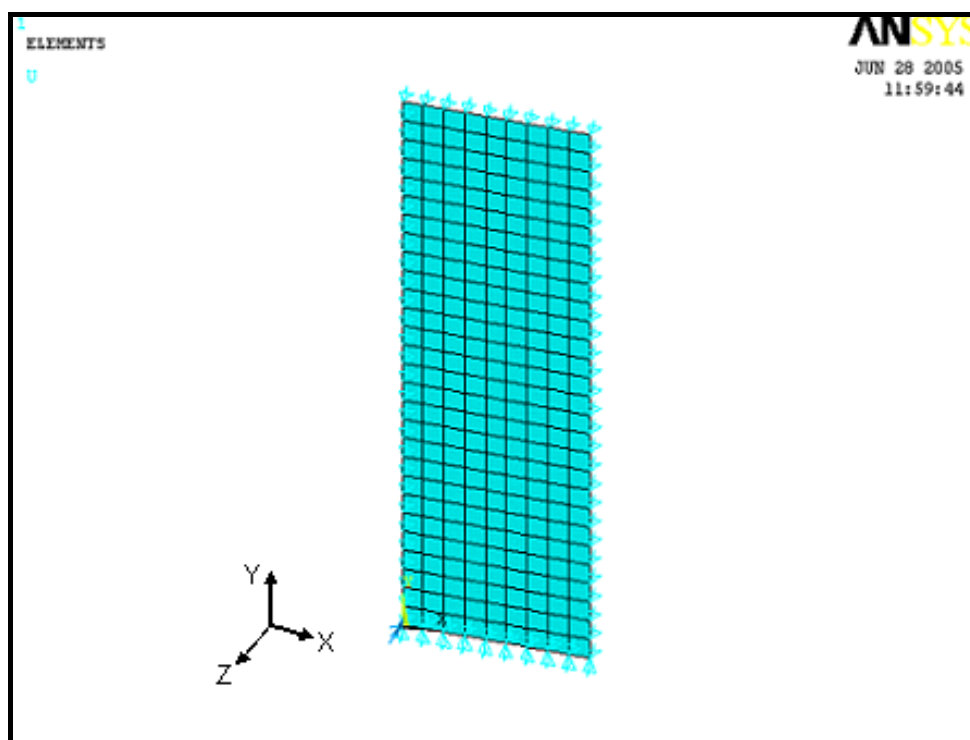


Figura 3.18 – Chapa isolada para análise de flambagem.

No método de flambagem pelo autovalor foi considerado apenas esforço axial na chapa, obtendo-se uma carga distribuída crítica de flambagem de 1,092 kN/cm, bastante próxima da carga obtida no pré-dimensionamento (1,089 kN/cm).

No método de flambagem não linear foram considerados esforços axiais e forças de pressão devidas ao vento na chapa. As forças devidas ao vento foram consideradas constantes, enquanto o esforço axial era aplicado por meio de passos sucessivos, obtendo-se assim, graficamente, o intervalo de carga onde ocorreria a flambagem.

A chapa deformada é mostrada na Figura 3.19 e o comportamento do ponto que mais se deslocou é mostrado no gráfico da Figura 3.20, podendo-se observar que a flambagem ocorre com força inferior a 1 kN, além de apresentar um pequeno deslocamento desde o início da aplicação desta, deslocamento esse devido à ação do vento aplicada inicialmente.

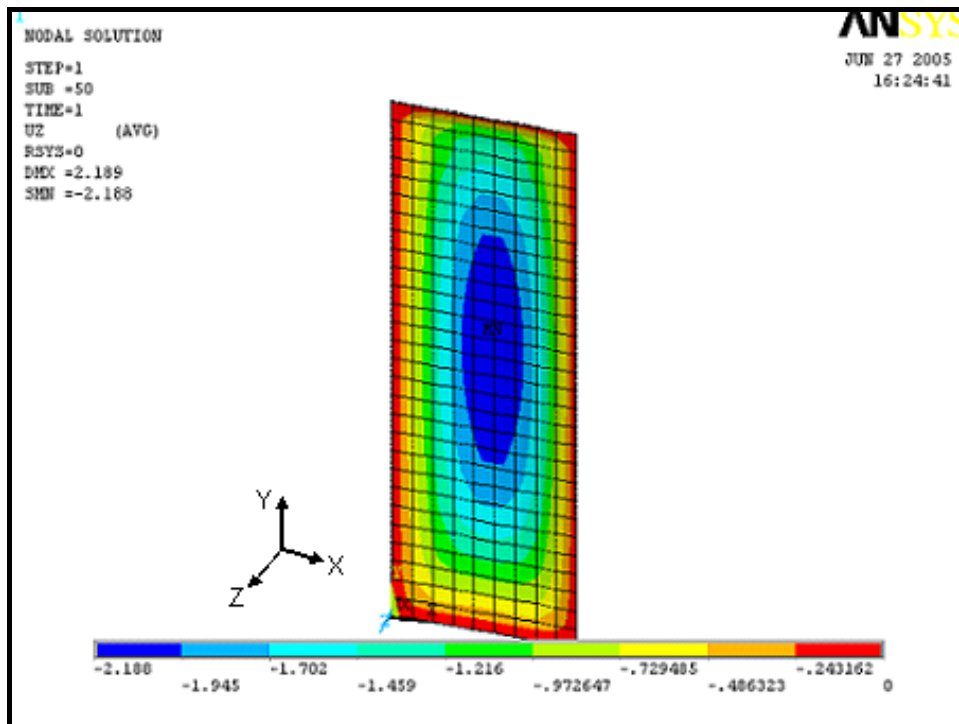


Figura 3.19 – Chapa deformada na flambagem não linear.

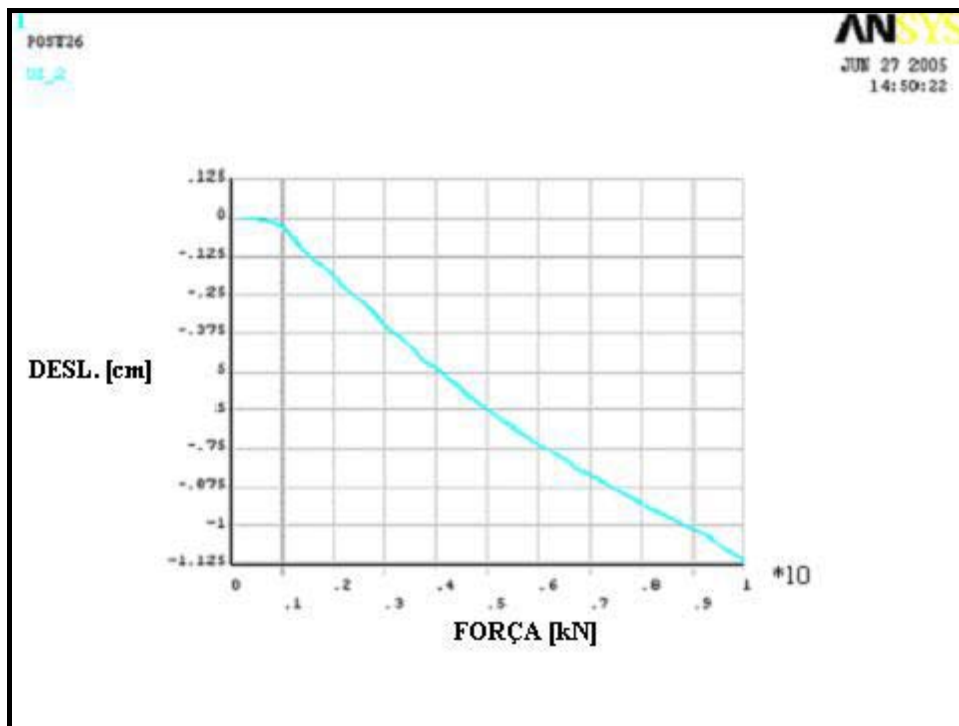


Figura 3.20 – Curva força x deslocamento da chapa.

Após as análises de flambagem da chapa foram feitas as análises de flambagem dos painéis, sendo elaborados dois modelos distintos para análise do autovalor. No primeiro, aqui chamado de caso 1, foi modelado um painel com as mesmas características geométricas apresentadas anteriormente, ou seja, com o uso de perfil U interno com função de enrijecedor (Figura 3.21.a). No segundo modelo, caso 2, o perfil U interno foi retirado, verificando-se assim a real necessidade do mesmo, fazendo-se uma comparação de resultados (Figura 3.21.b).

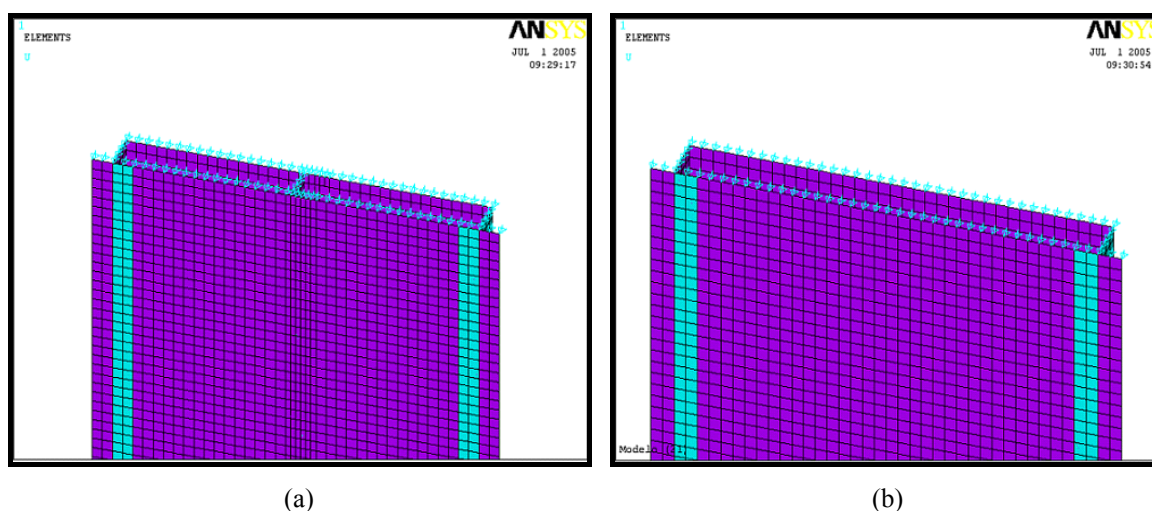


Figura 3.21 – Vista dos modelos desenvolvidos: (a) caso 1; (b) caso 2.

Na condição de contorno, a parte inferior do painel teve seu deslocamento em Y totalmente restringido, fazendo-se uma analogia ao contato existente entre o painel e a fundação, sendo esse impedido de se deslocar verticalmente, restringindo também, nesta posição, o deslocamento em Z. Na direção X os deslocamentos foram restringidos inicialmente a cada 90 cm, representando a fixação do painel à base por meio das chapas em L chumbadas à fundação e parafusadas aos painéis. Na parte superior do painel o mesmo teve o deslocamento em Z impedido, considerando a contribuição da laje na restrição ao deslocamento fora do plano. A Figura 3.22 mostra a condição de contorno para os dois casos analisados.

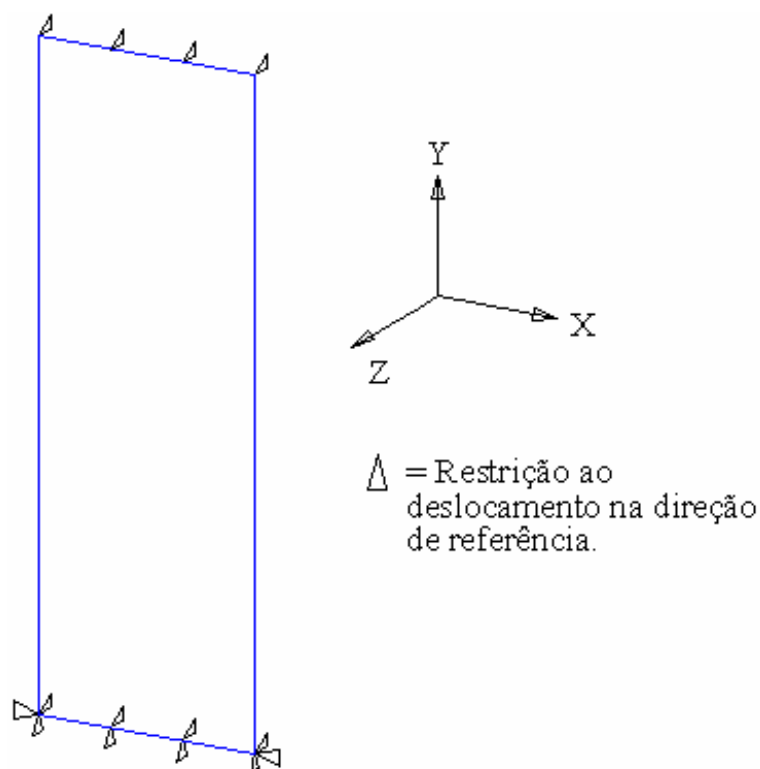


Figura 3.22 – Condições de contorno do modelo.

Nas análises de flambagem do painel as ligações entre as chapas foram consideradas articuladas, o que permite o livre giro entre as peças. Para isto os nós foram solidarizados inicialmente a cada 25 cm, representando, dessa forma, a ligação feita na prática por meio dos parafusos autoperfurantes, onde o movimento desses nós é impedido nas três direções (X, Y e Z).

Para a simulação real das ligações por meio de conectores devem ser feitas novas considerações, levando-se em conta os problemas de contato entre os elementos e as ligações com o uso de parafusos, além da necessidade de verificação da resistência destes.

Nas análises de flambagem dos painéis pelo método do autovalor foi considerado apenas esforço axial, sendo aplicado nos mesmos uma carga axial unitária, igualmente distribuída por todos os nós superiores do modelo (Figura 3.23).

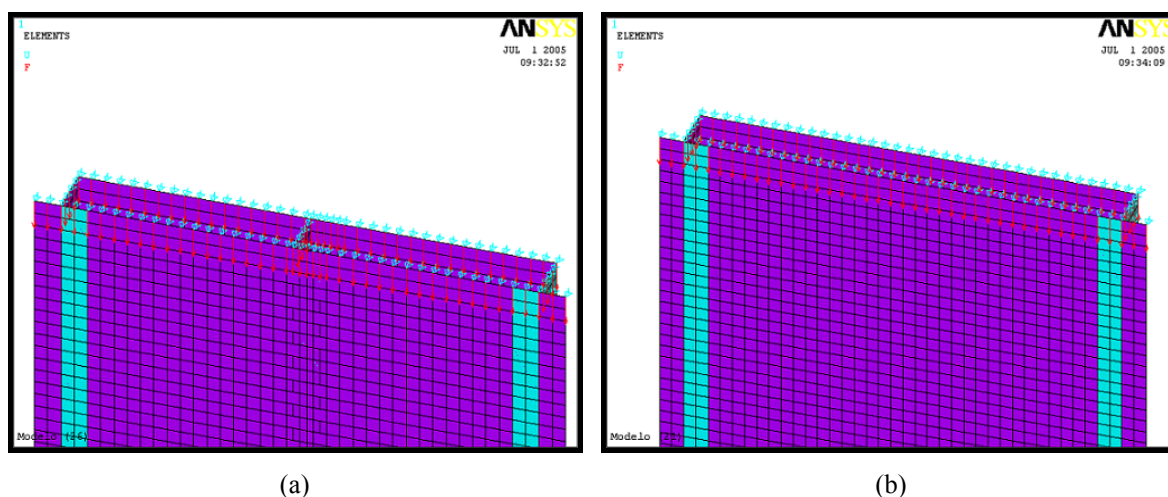


Figura 3.23 – Carregamento nos modelos para análise de flambagem: (a) caso 1; (b) caso 2.

Com a análise da flambagem concluída era obtido um fator de correção, sendo o mesmo multiplicado pela carga aplicada, no caso, uma carga unitária, e em seguida este resultado era multiplicado pela quantidade de nós que recebiam essa carga, obtendo-se assim a carga total crítica do modelo.

Como já citado, as ligações entre chapas, consideradas articuladas, foram analisadas inicialmente com espaçamento de 25 cm, com as chapas de 0,106 cm de espessura. Para tanto foram obtidos os valores para as cargas de flambagem mostradas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Cargas de flambagem – caso 1 e caso 2.

Espaçamento entre ligações [cm]	Espessura das chapas [cm]	Caso 1 (painel c/ U interno)			Caso 2 (painel s/ U interno)		
		Carga de flambagem [kN]	Coef. de minoração de resistência	Carga de flambagem final [kN]	Carga de flambagem [kN]	Coef. de minoração de resistência	Carga de flambagem final [kN]
25	0,106	10,56	0,9	9,504	3,33	0,9	2,997

Como pode ser observado, a carga de flambagem obtida no painel sem perfil U interno é bastante inferior à carga vertical solicitante apresentada pela edificação (11,33 kN/m, portanto, 10,197 kN em um painel), não atendendo, nessas condições, o desempenho requerido.

No painel com perfil U interno e espaçamento entre ligações de 25 cm, a carga de flambagem é ainda inferior à mínima requerida, portanto, foram feitas, em seguida, novas análises acerca da flambagem dos painéis, tanto no caso 1 como no caso 2. No caso 1 foram analisadas duas possibilidades: manter a espessura da chapa e diminuir o espaçamento entre ligações, ou manter o espaçamento de 25 cm e aumentar a espessura da chapa para 0,120 cm, sendo os resultados apresentados na Tabela 3.6.

No caso 2 aumentou-se a espessura da chapa para 0,120 cm e em seguida reduziu-se o espaçamento entre ligações, com objetivo de obter a melhor relação entre espaçamento de ligações, espessura de chapa e uso do perfil U interno. Os resultados são apresentados na Tabela 3.7.

Tabela 3.6 – Cargas de flambagem do painel com U interno.

Espaçamento entre parafusos [cm]	Espessura das chapas [cm]	Carga de flambagem [kN]	Coef. de minoração de resistência	Carga de flambagem final [kN]
25	0,106	10,56	0,9	9,504
20	0,106	12,79	0,9	11,511
15	0,106	13,22	0,9	11,898
12,5	0,106	13,39	0,9	12,051
10	0,106	13,55	0,9	12,195
5	0,106	13,84	0,9	12,456
25	0,120	15,20	0,9	13,680

Tabela 3.7 – Cargas de flambagem do painel sem U interno.

Espaçamento entre parafusos [cm]	Espessura das chapas [cm]	Carga de flambagem [kN]	Coef. de minoração de resistência	Carga de flambagem final [kN]
25	0,106	3,33	0,9	2,997
25	0,120	4,84	0,9	4,356
10	0,120	5,22	0,9	4,698

Com base nos resultados apresentados acima, verificou-se que a retirada do perfil U interno compromete bastante a estabilidade do painel, uma vez que, para este caso, mesmo aumentando a espessura da chapa para 0,120 cm e diminuindo o espaçamento entre ligações para 10 cm, a carga crítica de flambagem ainda ficou inferior à carga à qual a

estrutura é solicitada. Portanto, para a análise de flambagem não linear, optou-se por utilizar painéis com perfis U internos, chapas de 0,106 cm de espessura e com espaçamento de ligações a cada 12,5 cm.

Para a análise não linear de flambagem foram modelados três painéis, representando assim parte da parede da edificação que recebe maior carga de vento, além das cargas verticais, sendo que a parte inferior dos painéis teve seus deslocamentos em Y e em Z totalmente restringidos. Na direção X, os deslocamentos foram restringidos nos pontos de união de um painel com o outro, representando a fixação do painel à base por meio das chapas em L chumbadas à fundação e parafusadas aos painéis. A parte superior dos painéis teve o deslocamento em Z impedido, considerando a contribuição da laje na restrição ao deslocamento fora do plano.

Representando a contribuição ao travamento das paredes perpendiculares, as laterais dos painéis extremos tiveram os deslocamentos em Z impedidos nas extremidades. A Figura 3.24 mostra uma vista geral do modelo desenvolvido e a Figura 3.25 o esquema das condições de contorno.

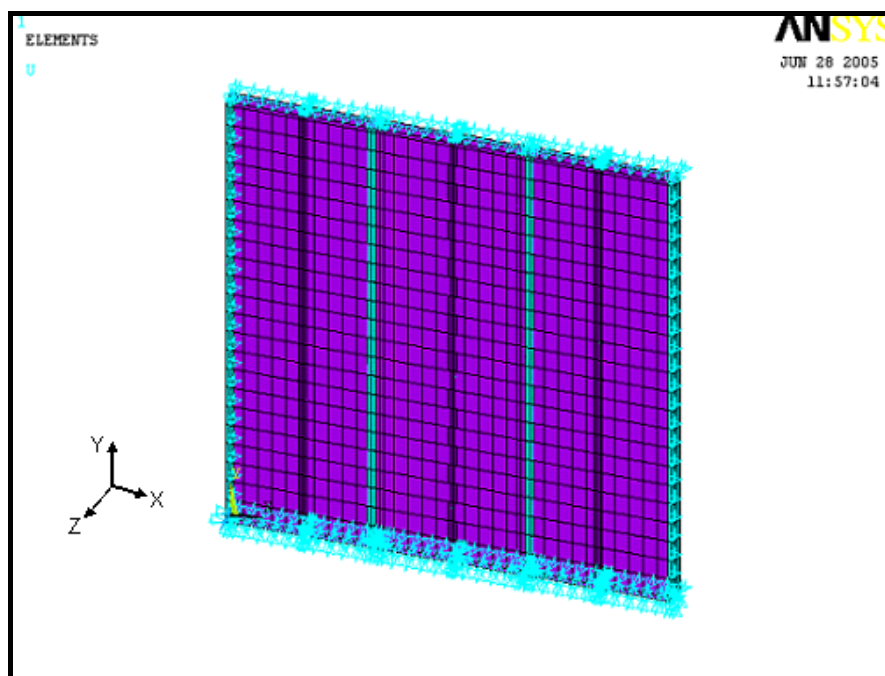


Figura 3.24 – Vista geral do modelo.

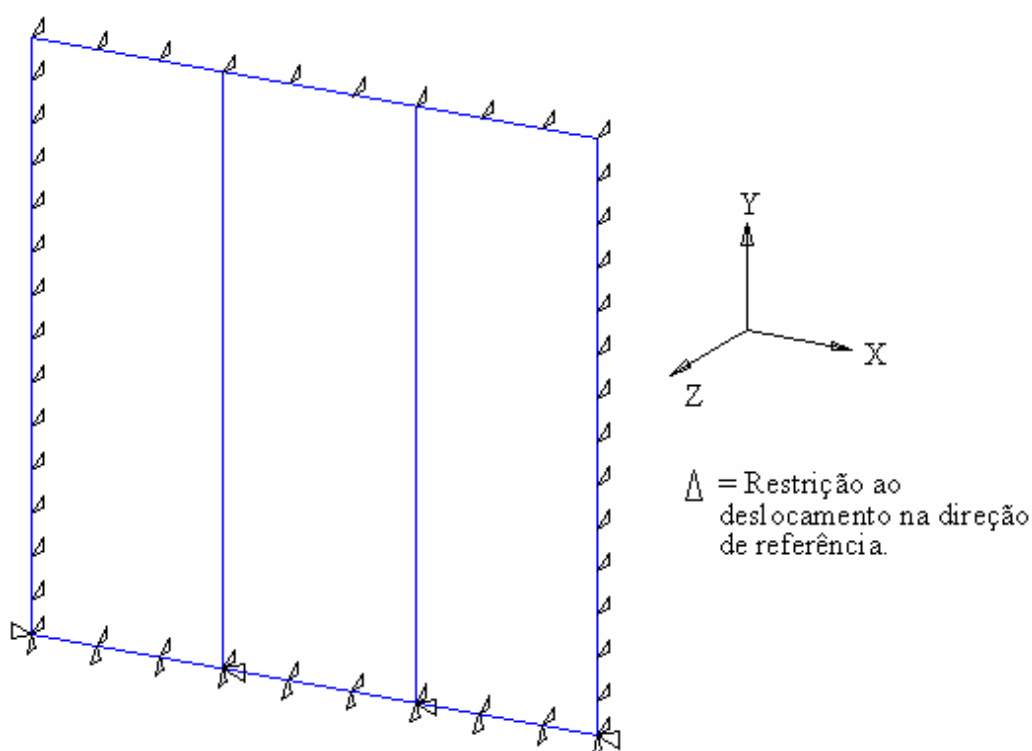


Figura 3.25 – Condições de contorno consideradas.

Inicialmente, a análise não linear de flambagem foi realizada admitindo-se apenas esforço axial nos painéis, não se considerando deformações iniciais provenientes de outros esforços. Para tanto, os três painéis receberam uma força axial unitária em todos os nós superiores do modelo, sendo esta força, na análise não linear, aplicada por meio de pequenos incrementos, de modo que se pudesse obter um pequeno intervalo de força onde a flambagem ocorreria.

Em seguida foi feita a análise da flambagem não linear dos painéis considerando também forças devidas ao vento. Tal análise foi feita para dois casos: força devida ao vento atuando como pressão e força devida ao vento atuando como sucção.

A análise da flambagem, considerando vento, foi realizada da seguinte maneira: um esforço de pressão (ou sucção) da ordem de $8,6 \cdot 10^{-5} \text{ kN/cm}^2$ foi aplicado sobre a superfície externa dos elementos que compõem a lateral dos painéis, representando a face da parede da edificação que recebe o referido esforço.

Após a aplicação da força devida ao vento no modelo, o mesmo recebia a força unitária axial em todos os nós superiores, procedendo-se assim a análise da flambagem não

linear, sendo esta força unitária axial aplicada do mesmo modo utilizado quando da análise sem ação de vento, ou seja, por meio de pequenos incrementos, obtendo-se o intervalo de força no qual a estrutura flambaria.

A seguir são apresentados os modos deformados dos painéis para os casos analisados de flambagem não linear. A Figura 3.26 mostra os painéis deformados sujeitos apenas a forças axiais, atentando-se para o fato de que os dois lados dos painéis tiveram deformações semelhantes, uma vez que o esforço aplicado era simétrico. A Figura 3.27 mostra os painéis deformados quando sujeitos a força axial e esforço de pressão de vento, enquanto a Figura 3.28 mostra os painéis deformados quando sujeitos a força axial e esforço de sucção de vento. As deformações foram ampliadas para melhor visualização do comportamento dos painéis.

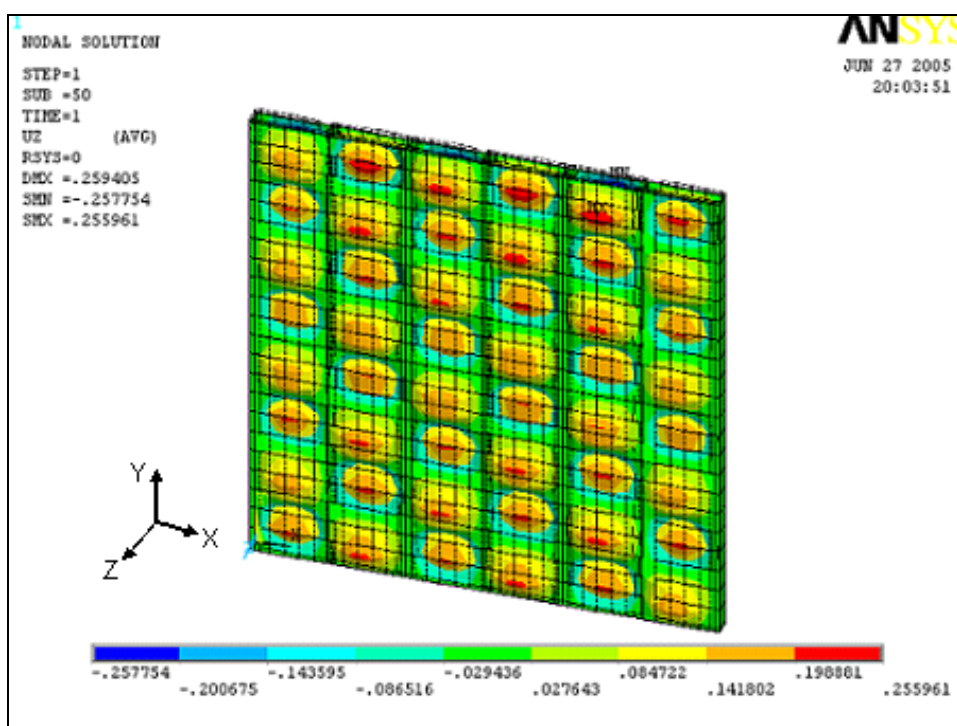
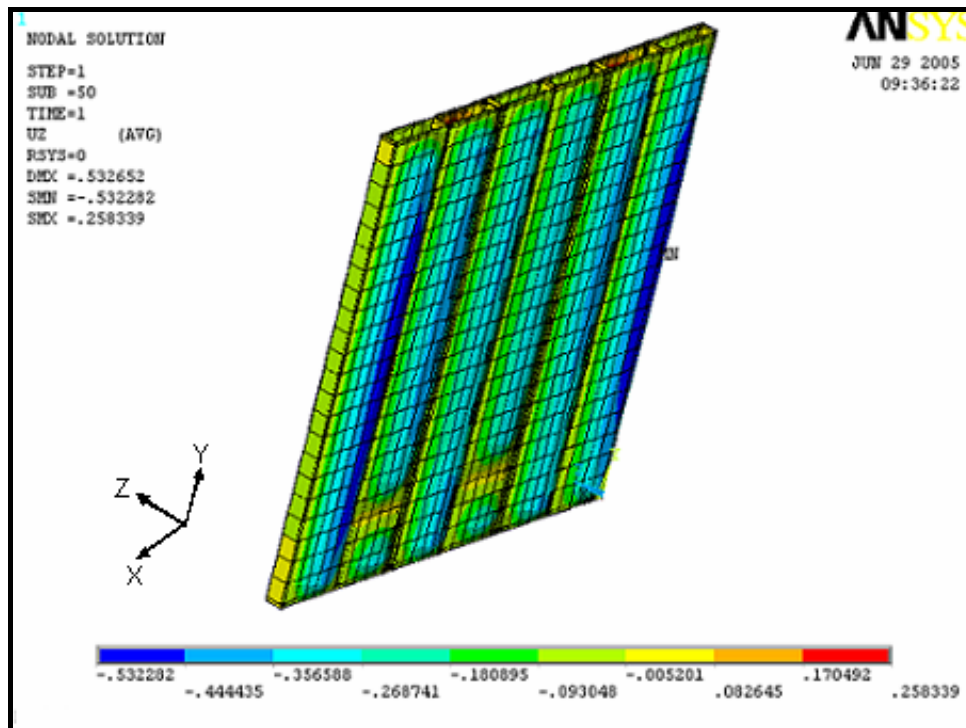
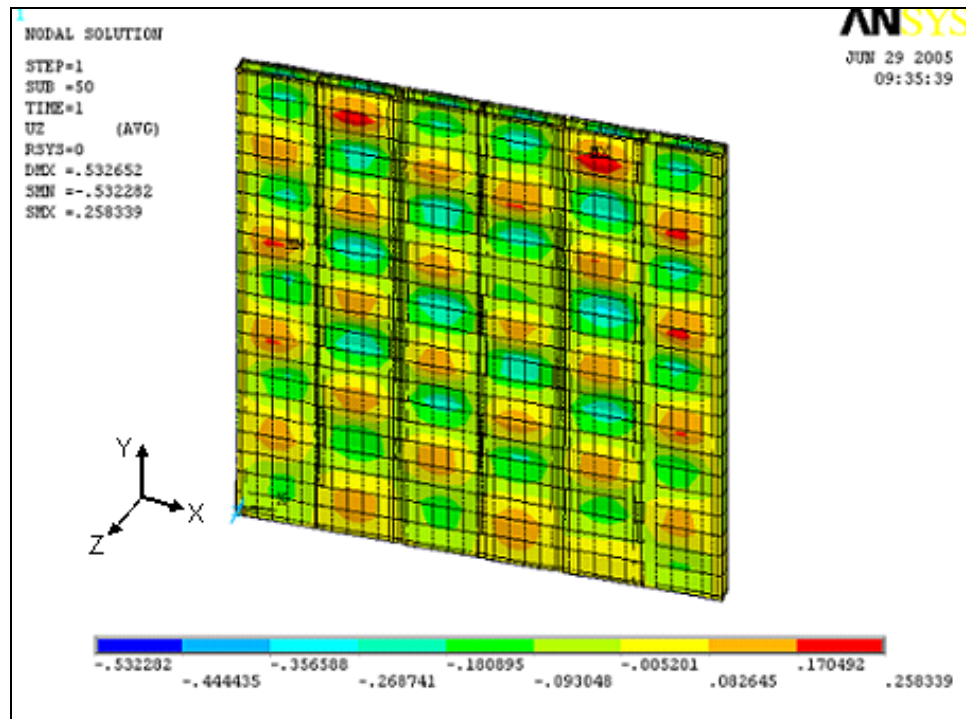


Figura 3.26 – Modo deformado para análise não linear com força axial.

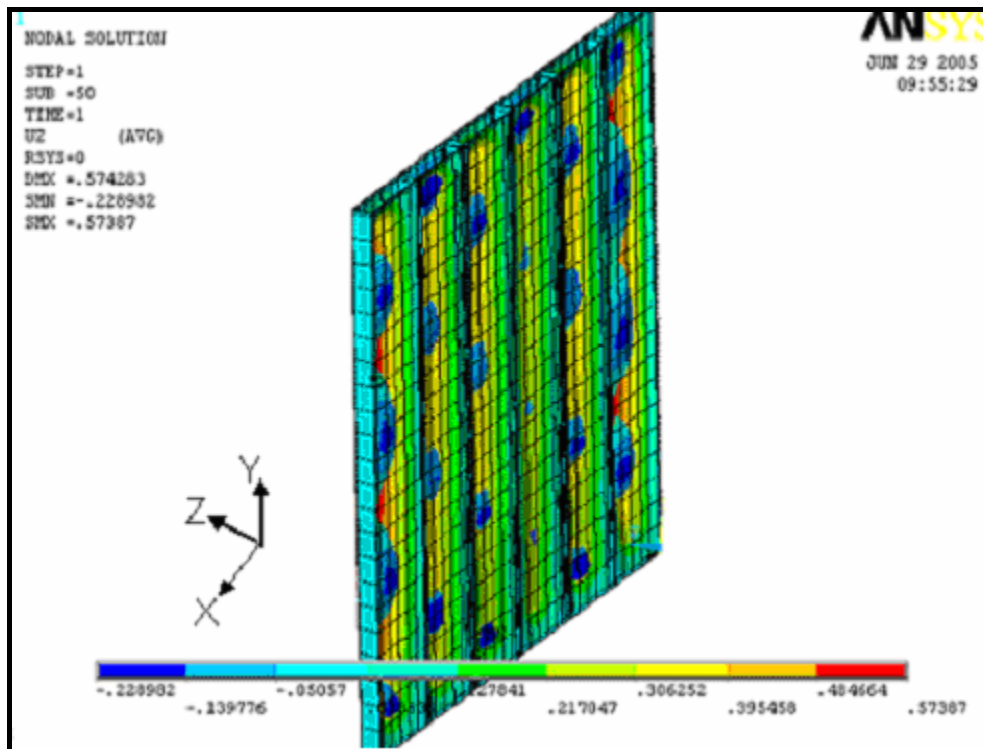


(a)

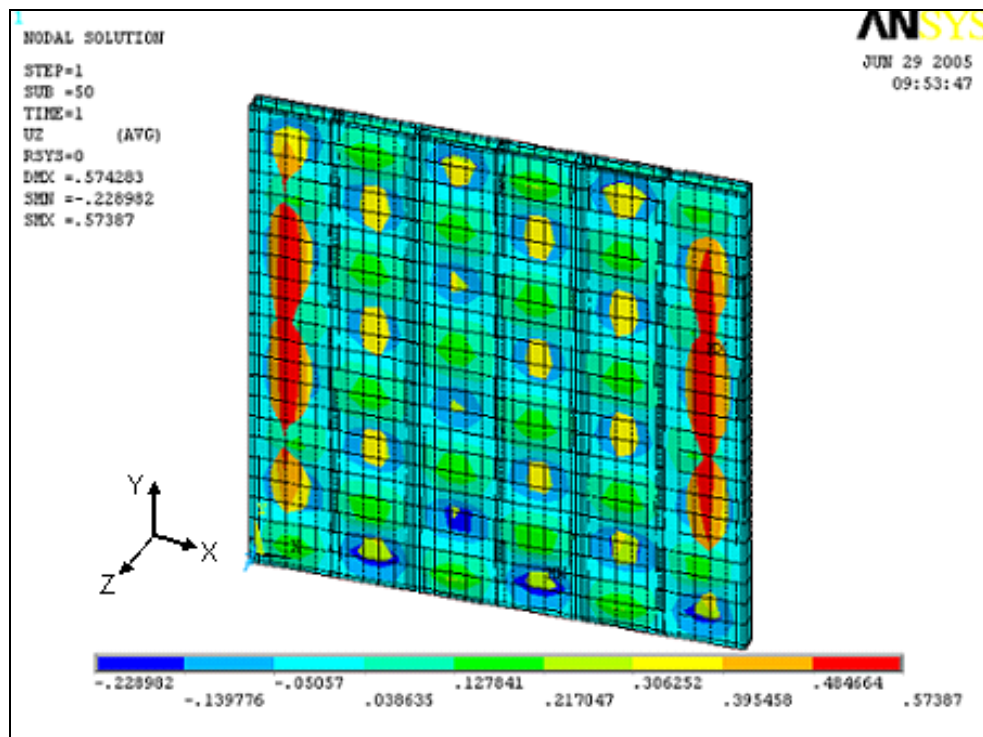


(b)

Figura 3.27 – Modo deformado para análise não linear com força axial e esforço de pressão de vento: (a) vista da face que recebe a pressão; (b) vista da face oposta à que recebe a pressão.



(a)



(b)

Figura 3.28 – Modo deformado para análise não linear com força axial e esforço de sucção de vento: (a) vista da face que recebe a sucção; (b) vista da face oposta à que recebe a sucção.

Fazendo-se uma análise dos modos de deformações apresentados pelos painéis quando sujeitos aos esforços, percebe-se que, diferentemente do modelo que recebeu apenas força axial, os modelos que receberam forças devidas ao vento e forças axiais apresentaram, como já era esperado, modo de deformações diferentes para as duas faces. No entanto, nos dois casos, com esforço de pressão e com esforço de sucção, a face oposta à que recebe o esforço se deforma de maneira semelhante, apresentando ondas de tamanhos regulares ao longo de toda a altura dos painéis.

No caso dos painéis sujeitos à pressão, a face que recebe o esforço se deforma formando ondas de maior dimensão e em quantidades menores, podendo-se observar chapas em que apenas uma onda é formada ao longo de toda a altura do painel, enquanto no caso dos painéis sujeitos à sucção é observada uma quantidade maior de ondas com dimensões inferiores.

A seguir são apresentados os gráficos força x deslocamento dos pontos que mais se deslocaram para os três casos, painéis apenas com força axial (Figura 3.29), painéis com força axial e pressão (Figura 3.30) e painéis com força axial e sucção (Figura 3.31).

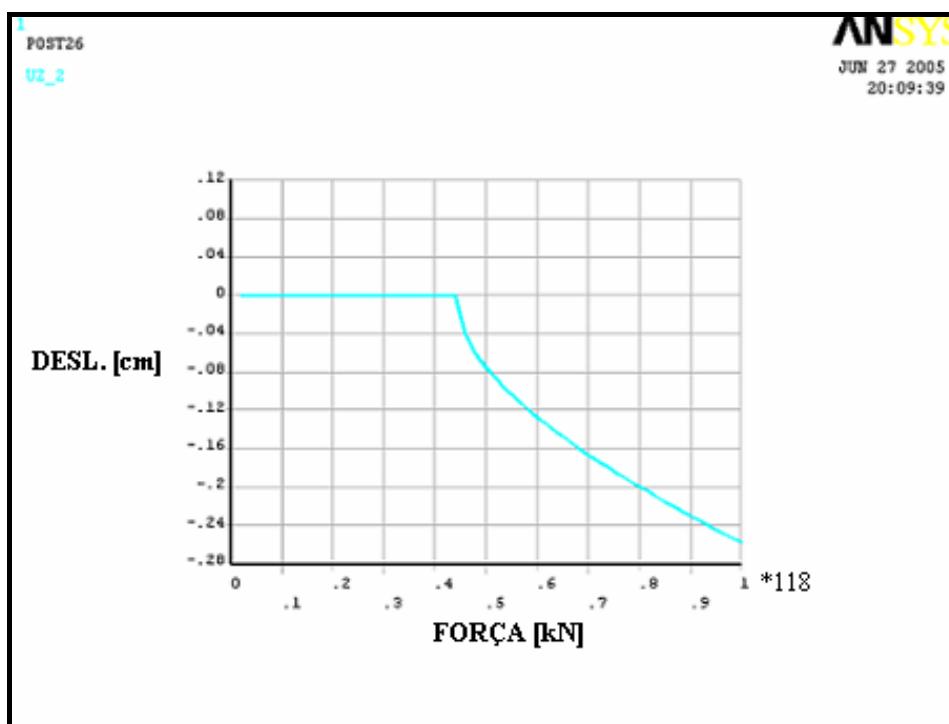
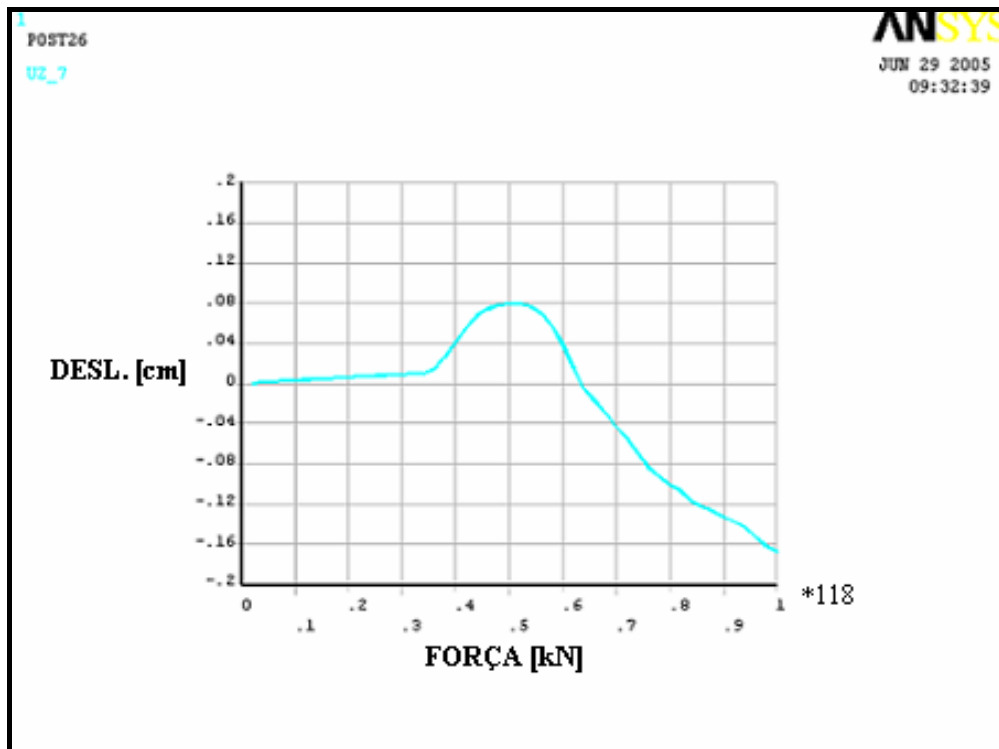
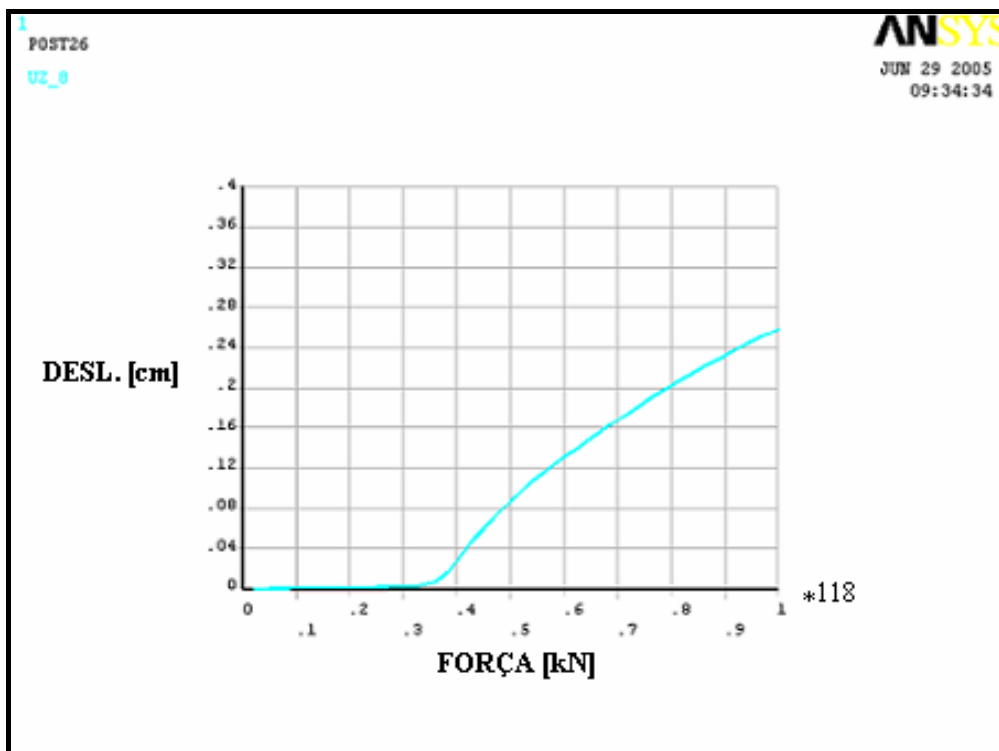


Figura 3.29 – Curva força x deslocamento – força axial.

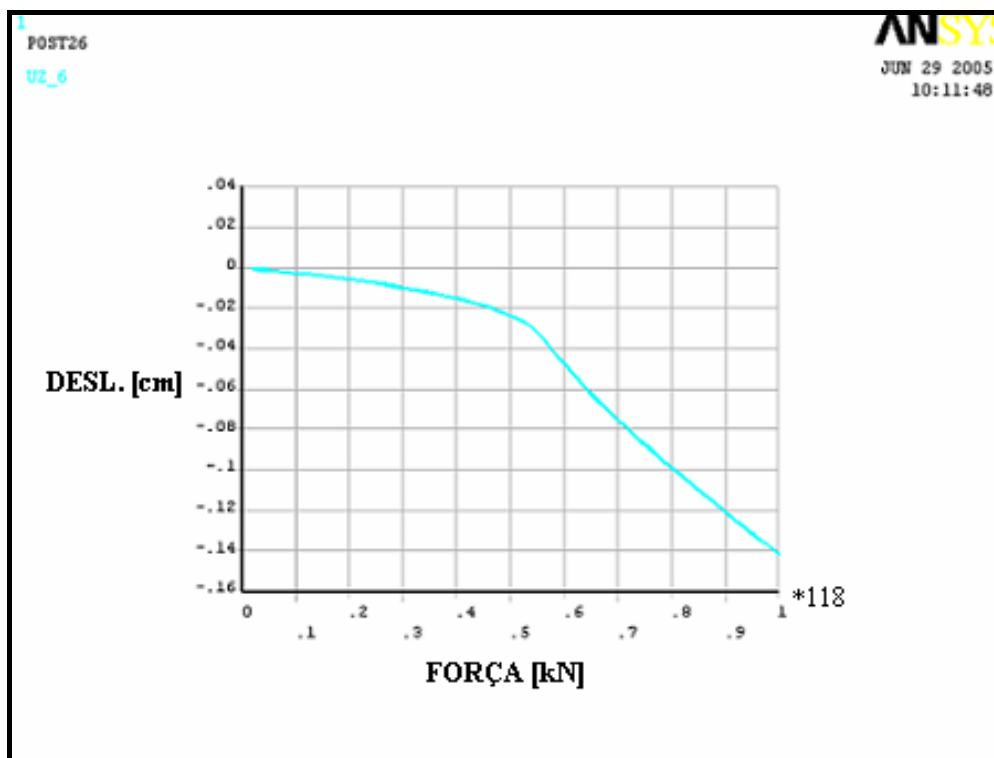


(a)

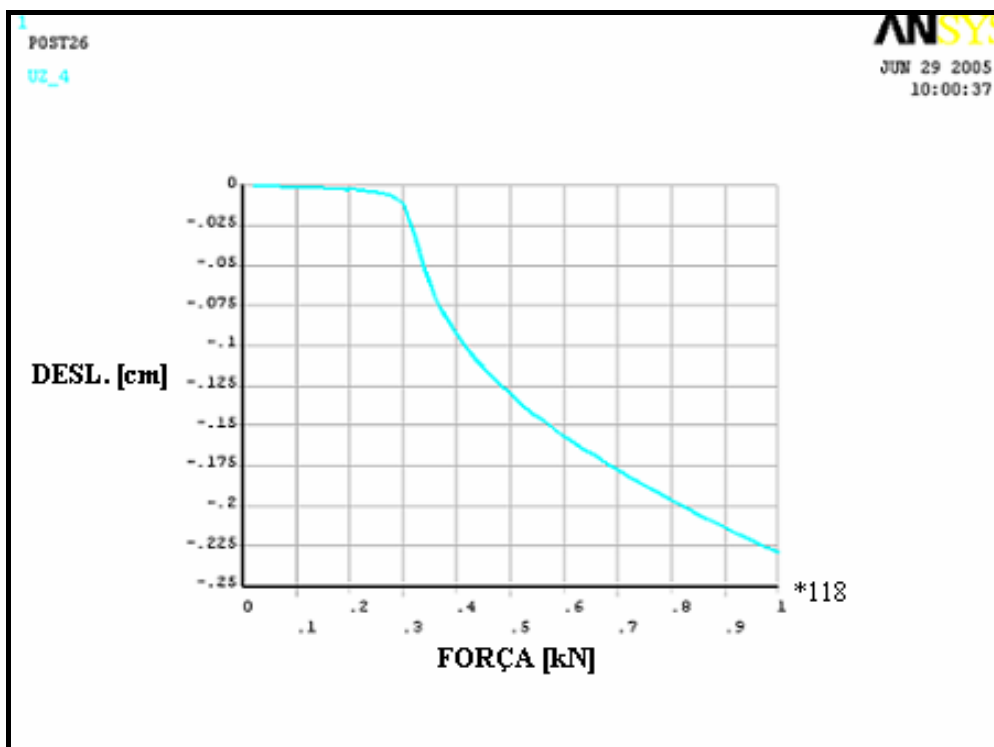


(b)

Figura 3.30 – Curva força x deslocamento – força axial e pressão: (a) ponto da face que recebe a pressão; (b) ponto da face oposta à que recebe a pressão.



(a)



(b)

Figura 3.31 – Curva força x deslocamento – força axial e sucção: (a) ponto da face que recebe a sucção; (b) ponto da face oposta à que recebe a sucção.

No gráfico da força x deslocamento, para o caso dos painéis sujeitos apenas a força axial (Figura 3.29), verifica-se que, à medida que a força é aplicada, os deslocamentos se mantêm constantes e iguais a zero, uma vez que os painéis não estavam sujeitos a qualquer tipo de esforço anterior que pudesse provocar um deslocamento prévio da estrutura. Esta situação se observa até o ponto onde a estrutura perde a estabilidade, caracterizando-se pela ocorrência de grandes deflexões para um pequeno incremento de força. Neste caso, a perda de estabilidade ocorreu com uma força de aproximadamente 50 kN, para os três painéis, totalizando 270 cm linear de painel. Aplicando-se o coeficiente de minoração de cargas de 0,9, obteve-se uma carga crítica distribuída de aproximadamente 16,67 kN/m.

No caso dos painéis sujeitos a força axial e à pressão de vento (Figura 3.30), o primeiro gráfico mostra o comportamento de um ponto na face lateral que recebe o esforço de pressão e o segundo mostra um ponto na face oposta.

No primeiro, percebe-se que a partir do início da análise começam ocorrer deslocamentos no sentido positivo do eixo de aplicação da pressão. Tais deslocamentos são aumentados gradualmente até o ponto onde a estrutura perde a estabilidade, ocorrendo a partir daí grandes deslocamentos. Observa-se que os deslocamentos continuam no sentido positivo do eixo de aplicação da pressão, no entanto, a força axial tende a produzir os deslocamentos desta face no sentido contrário, ocorrendo assim uma inversão de sentido nos deslocamentos.

Analisando a face lateral dos painéis oposta à que recebe a pressão, observa-se também que há um pequeno deslocamento inicial no sentido positivo do eixo de aplicação da pressão até o ponto onde a estrutura perde a estabilidade, ocorrendo a partir daí, grandes deslocamentos. No entanto, diferentemente da face que recebe a pressão, a face oposta continua se deslocando no mesmo sentido inicial.

Na análise das duas faces dos painéis submetidos à pressão observa-se que a diferença entre elas está no modo de flambagem e na dimensão dos deslocamentos iniciais; no entanto, as duas faces perdem a estabilidade com o mesmo valor de incremento de força, aproximadamente 40 kN, para os três painéis, totalizando 270 cm linear de painel. Aplicando-se o coeficiente de minoração de cargas de 0,9, obteve-se uma carga crítica distribuída de aproximadamente 13,33 kN/m.

No caso dos painéis sujeitos à força axial e à sucção (Figura 3.31), também são analisadas as duas faces laterais, a face sujeita ao esforço de sucção e a face oposta. Em ambas as faces aparecem deslocamentos iniciais devidos à sucção imposta inicialmente, sendo que na face onde a sucção é aplicada esses deslocamentos iniciais apresentam dimensões maiores que os apresentados na face oposta.

Na face oposta à aplicação da sucção a perda de estabilidade é mais evidente, visto que os deslocamentos iniciais são menores, sofrendo um aumento brusco para uma força de flambagem de aproximadamente 35 kN, para os três painéis, totalizando 270 cm linear de painel. Aplicando-se o coeficiente de minoração de cargas de 0,9, obteve-se uma carga crítica distribuída de aproximadamente 11,67 kN/m.

3.6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Com a necessidade de suprir o déficit habitacional brasileiro, novos sistemas construtivos vêm surgindo como alternativas aos processos tradicionais, visando a racionalização e a industrialização da construção.

Ao mesmo tempo em que se propõem soluções inovadoras, surge a necessidade de avaliá-las tecnicamente quanto ao desempenho, com base em critérios que permitam prever o comportamento do edifício durante sua vida útil esperada. No entanto, percebe-se uma escassez de referências técnicas para esse tipo de avaliação, restringindo a utilização dos novos sistemas.

Assim, avaliar o desempenho de um produto significa definir qualitativa e/ou quantitativamente quais as condições que devem ser satisfeitas por ele quando submetido às condições normais de uso, quais os métodos a serem utilizados para tal avaliação e se as condições estabelecidas foram atendidas.

A palavra desempenho é definida como o comportamento em uso do produto, destacando-se o fato de que este deve apresentar certas propriedades para cumprir a função proposta quando sujeito a determinadas influências ou ações durante o seu uso. Assim, a avaliação de desempenho de uma edificação tem por objetivo analisar a adequação ao uso de determinada técnica construtiva independente da solução material adotada. Para que tal finalidade seja alcançada, a avaliação de desempenho deve submeter a edificação e/ou suas

partes constituintes a uma investigação sistemática, capaz de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado da edificação nas condições de uso definidas.

Em função disso, a avaliação de desempenho exige o domínio de uma ampla base de conhecimentos sobre cada aspecto funcional de uma edificação, sobre materiais e técnicas de construção, bem como sobre as diferentes exigências dos usuários nas mais diversas condições de uso.

O resultado do equilíbrio que se estabelece entre o produto e seu meio é chamado de desempenho do produto. Tal equilíbrio só ocorre na prática, com o edifício em utilização submetido às condições de exposição. No entanto, é possível obter-se uma estimativa do seu provável comportamento, ou seja, estimar seu desempenho. Tal estimativa pode ser feita por meio de realização de ensaios e medidas em protótipos e da utilização de modelos matemáticos que simulem o comportamento do edifício, sendo que uma nova solução construtiva é dita aceitável ou não a partir de comparações, onde se toma o tradicional como referência. Os resultados das observações e medidas feitas ao longo dessas investigações permitirão uma avaliação do desempenho provável do produto analisado (SOUZA, R. 1998).

A avaliação de desempenho consiste, portanto, em prever o comportamento do edifício, seus elementos e componentes, quando em utilização normal, sendo tal avaliação baseada em requisitos e critérios de desempenho que expressam condições qualitativas e quantitativas que devem ser atendidas para satisfazer as exigências dos usuários. Para tal devem ser levadas em consideração as limitações e peculiaridades de cada região a que se destina a edificação, bem como fazer uma classificação dentre as exigências humanas, priorizando aquelas de caráter absoluto e que devem ser satisfeitas integralmente (exigências relativas à segurança e higiene), em detrimento àquelas de caráter relativo para as quais é possível estabelecer uma escala de satisfação associada aos custos (exigências relativas a conforto e durabilidade) (MITIDIARI FILHO; SOUZA, R. 199-).

Os requisitos de desempenho provenientes de todas as exigências funcionais de uma edificação podem resultar em uma lista muito extensa, sendo conveniente restringir a avaliação aos requisitos mais fundamentais.

No entanto, as exigências relativas a conforto, principalmente o conforto térmico, passaram a ser uma necessidade dos dias atuais. Pode-se definir conforto como a sensação de bem-estar dentro de um ambiente. Essa sensação pode ser termicamente obtida diminuindo-se as trocas de calor dentro desse ambiente. E quanto melhor a isolamento, menores serão as trocas, e maior será o conforto obtido.

Isolação térmica significa impedir que calores provenientes de outros ambientes atinjam o ambiente que se deseja isolar. Isso pode ser feito com a aplicação de materiais de baixa condutividade térmica, que diminua sensivelmente a propagação do calor.

Alguns fatores são importantes para o conforto térmico humano, podendo-se citar, dentre outros: temperatura e umidade do ar e respiração e evaporação da pele, os quais causam alterações no ambiente. Mas existe um outro fator que também tem grande responsabilidade sobre o resultado térmico do ambiente: a temperatura das paredes.

Um cômodo cuja parede externa receba sol durante grande parte do dia, ao entardecer, a sensação térmica dentro deste será desagradável, pois grande fluxo calorífico estará ocorrendo no interior desse ambiente. Isso causa desconforto para o organismo, a ponto de se evitar estar ali naquele momento.

O sol é nossa maior fonte de calor e a absorção dos raios solares varia de acordo com o coeficiente térmico de cada material, ou seja, cada material, de acordo com a sua estrutura, terá uma temperatura própria, depois da exposição aos raios solares. Assim, a maior causa do aquecimento dos ambientes é a liberação do calor dos materiais que foram aquecidos pelos raios solares.

A isolação contra o frio ocorre da mesma forma do que contra o calor, só que em sentido inverso. Nesse caso, o ambiente externo possui temperatura inferior ao ambiente interno e o isolamento atua impedindo que o calor de dentro do ambiente se dissipe.

Os materiais empregados como isolantes térmicos são aqueles que apresentam um coeficiente de condutividade com valores muito pequenos, ou seja, são os materiais que menos transmitem o calor.

Ventura e Barth (1999) apresentaram um trabalho para caracterização e aplicação do desempenho térmico de painéis metálicos *sandwich*, preenchidos com EPS (Poliestireno

expandido), nas vedações do edifício de quatro pavimentos do Fórum Distrital da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis. Os painéis estudados foram executados com chapas em aço de 0,5 mm de espessura, tendo em sua forma final, 115 cm de largura, 1100 cm de comprimento e núcleo central de 10 cm. O estudo foi feito por meio de comparações com as vedações em alvenaria tradicional.

Para a análise da viabilidade técnica e econômica de isolantes térmicos a serem utilizados no interior dos painéis ora propostos, foi utilizado o trabalho de Rosa Filho (2005), que teve como objetivo principal comparar o desempenho térmico de diversos materiais isolantes para a edificação estudada. Para tal fim, foram analisadas as seguintes características: a resistência térmica total (R_T), a transmitância térmica (U) e o atraso térmico (ϕ), definidas, segundo a NBR 15220-1 (2005), da seguinte maneira:

A resistência térmica total é o somatório das resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.

A transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total de um elemento construtivo (parede, cobertura, etc), sendo definida como o fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de área, passa através do componente. Para os cálculos de transmitância térmica, além da resistência térmica do elemento, são utilizados os valores das resistências térmicas superficiais dos componentes.

O atraso térmico é o tempo em horas que leva uma diferença de temperatura na superfície externa para manifestar-se na superfície interna de um fechamento, e depende da capacidade térmica do componente construtivo.

As propriedades dos materiais considerados neste estudo são: a condutividade térmica (λ), a densidade de massa aparente do material (ρ), o calor específico (c) e a espessura de cada camada, em metros.

Para componentes formados por camadas paralelas perpendiculares ao fluxo de calor, como é o caso dos painéis propostos, a resistência térmica total, a transmitância térmica e o atraso térmico são dados pelas Equações 3.26, 3.27 e 3.28 respectivamente, de acordo com a NBR 15220-2 (2005).

$$R_T = R_{Si} + R_t + R_{Se} \quad (3.26)$$

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3.27)$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (\text{para elementos constituídos por diferentes materiais superpostos}) \quad (3.28)$$

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} \quad (\text{para elementos constituídos por um único material})$$

onde:

R_T = resistência térmica total

R_{Si} = resistência superficial interna

R_t = resistência térmica de superfície a superfície da parede

R_{Se} = resistência superficial externa

U = transmitância térmica

φ = atraso térmico

B_1 = obtido pela Equação 3.29

B_2 = obtido pela Equação 3.30

C_T = capacidade térmica

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} \quad (3.29)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)^1 \quad (3.30)$$

onde:

$$B_0 = C_T - C_{Text} \quad (3.31)$$

λ = condutividade térmica

ρ = densidade de massa aparente

c = calor específico

C_T = capacidade térmica

¹ O índice “ext” se refere à última camada do componente, junto à face externa. Considerar B_2 nulo caso seja negativo.

A resistência térmica de superfície a superfície da parede é obtida fazendo-se o somatório do quociente da espessura pela condutividade térmica de cada material componente desta parede.

Segundo Michaloski (2002), quanto maior o atraso térmico das paredes externas, menor o desconforto térmico no ambiente interno. Para a situação de verão, um atraso térmico de cerca de 4 a 5 horas corresponderia a uma situação aceitável.

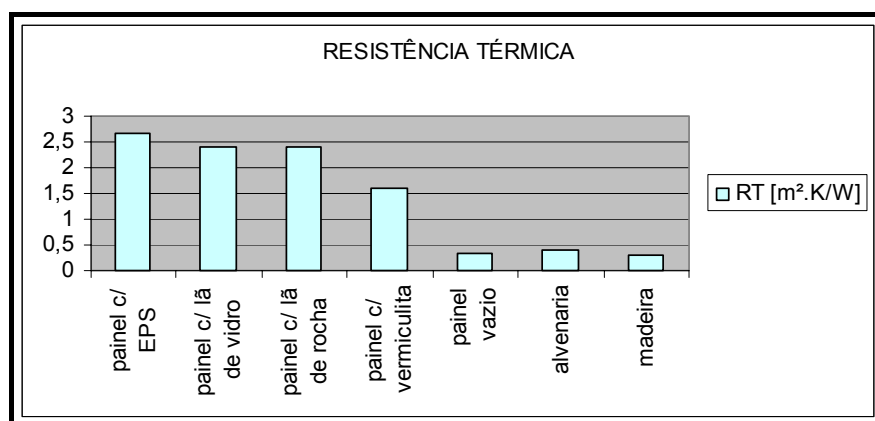
A análise do desempenho térmico de painéis de vedação foi feita com base nos estudos de Rosa Filho (2005), *em fase de elaboração*, por meio de um comparativo de desempenho destes painéis, variando-se os materiais isolantes, com paredes de alvenaria de blocos cerâmicos e com paredes de madeira. A alvenaria considerada como base comparativa é executada com blocos cerâmicos de 8 furos quadrados (9,0 x 19,0 x 19,0 cm), assentados na menor dimensão, com argamassa de assentamento de 1,0 cm, chapisco e reboco totalizando 2,5 cm de cada lado, resultando espessura total da parede de 14,0 cm, e a parede de madeira maciça, com pranchas de 4 cm de espessura por 14 cm de largura.

Na Tabela 3.8 e na Figura 3.32 são apresentados os resultados teóricos, obtidos por Rosa Filho (2005), para algumas opções de materiais isolantes possíveis de serem utilizados no interior dos painéis propostos, bem como os resultados para a alvenaria de blocos cerâmicos e para a parede de madeira maciça, que serviram como base comparativa.

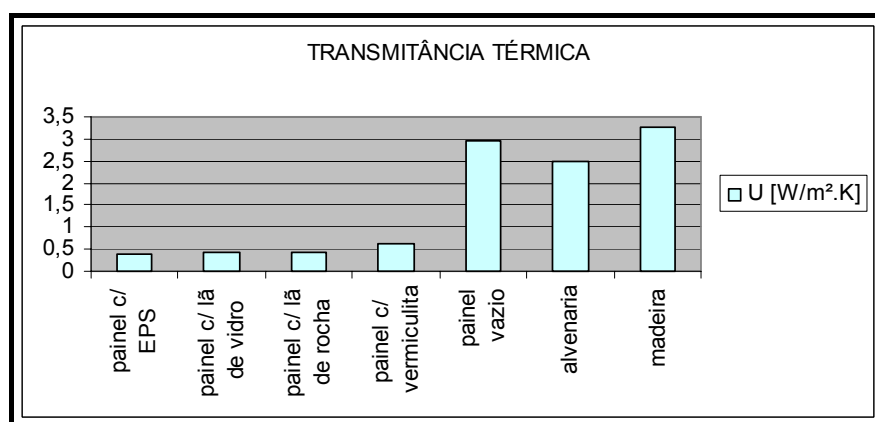
Tabela 3.8 – Resultados teóricos de materiais isolantes.

Tipo de vedação	Resistência térmica total [(m ² .K)/W] (R _T)	Transmitância térmica [W/(m ² .K)] (U)	Atraso térmico [horas] (φ)
Painel c/ EPS	2,670	0,375	2,68
Painel c/ lã de vidro	2,392	0,418	2,11
Painel c/ lã de rocha	2,392	0,418	2,26
Painel c/ vermiculita	1,599	0,625	2,87
Painel vazio	0,340	2,941	0,49
Alvenaria de blocos cerâmicos	0,400	2,490	3,30
Parede em madeira maciça	0,308	3,247	2,17

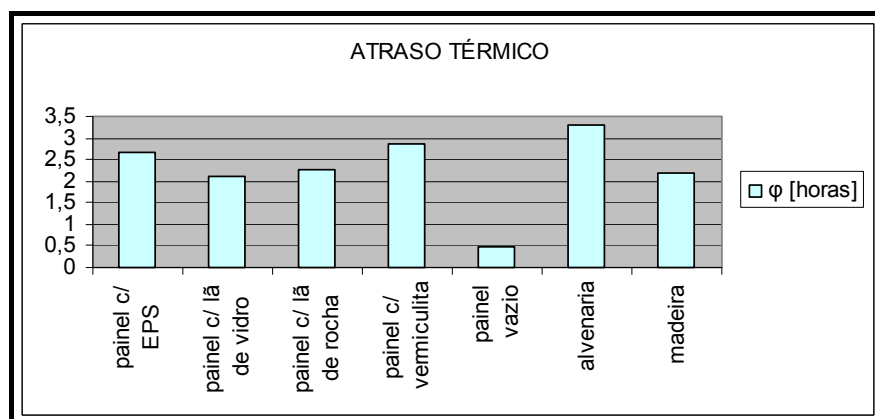
Fonte: ROSA FILHO (2005).



(a)



(b)



(c)

Figura 3.32 – Parâmetros térmicos das vedações em estudo: (a) resistência térmica; (b) transmitância térmica; (c) atraso térmico.

Fonte: ROSA FILHO (2005).

Pela análise dos dados apresentados, percebe-se que os painéis preenchidos com isolante térmico (EPS, lã de vidro, lã de rocha ou vermiculita), apresentam transmitâncias térmicas bastante reduzidas quando comparados com o painel sem isolante térmico e quando comparados com a alvenaria de bloco cerâmico ou com a parede de madeira maciça, contribuindo de maneira eficaz para reduzir o fluxo de calor através das vedações.

O atraso térmico dos painéis de vedação preenchidos com isolante não apresenta grande diferença em relação ao atraso térmico de paredes de alvenaria de bloco cerâmico, sendo que a maior diferença é para o painel com lã de vidro, sendo o atraso térmico deste caso apenas 36% inferior ao atraso térmico da alvenaria analisada, e bem próximo do atraso térmico da parede de madeira maciça. Tal fato se deve à contribuição da elevada resistência térmica dos painéis.

3.7 ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS

Nesta etapa do trabalho foi feita uma análise comparativa dos custos envolvidos na execução do sistema construtivo proposto, sendo aqui analisados os custos relativos a materiais e mão-de-obra.

Como na análise do comportamento térmico da edificação, na análise de custos também foram feitos estudos comparativos entre o sistema proposto e o sistema construtivo de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos e o sistema construtivo em paredes de pranchas de madeira maciça.

A escolha destes dois sistemas construtivos como comparativos do sistema proposto foi embasada em dois fatos: a escolha do primeiro pelo fato da alvenaria ser o sistema mais difundido no cenário nacional, e a escolha do segundo por ser um sistema construtivo também pré-fabricado, onde grande parte da obra é industrializada, precisando apenas ser montada no local.

Nos três sistemas analisados foram quantificadas para efeitos de comparação apenas as etapas de fundação e vedação vertical da construção, por serem estas duas etapas as que diferem de um sistema pra outro. Em ambos os casos a etapa de vedação foi considerada até a fase final, com pintura ou envernizamento, no caso da madeira, não se considerando a colocação de portas e janelas.

Para a elaboração dos custos do sistema em alvenaria de blocos cerâmicos foram utilizados dados técnicos do Programa de Subsídio Habitacional de Interesse Social (PSH) criado para execução de casas populares com 44,52 m², fornecidos pela Prefeitura Municipal de Uberlândia, por meio da Secretaria Municipal de Habitação. Os dados utilizados são os seguintes: tipo de fundação empregada e especificações de materiais utilizados (blocos cerâmicos, argamassas, concretos, etc).

Na elaboração dos custos do sistema construtivo composto por paredes de pranchas de madeira maciça foram utilizados dados fornecidos pela Central de Atendimento CASAREAL. Os dados fornecidos referem-se a custo por metro quadrado de material para vedação e montagem e custo da fundação, sendo tais valores utilizados para a elaboração dos custos de uma residência de 46,80 m² (área da residência analisada para o sistema construtivo proposto).

Na elaboração dos custos referentes ao sistema proposto de painéis de chapas de aço foram consideradas duas situações para a fundação da edificação: fundação em *radier*, sendo este já executado de forma a substituir o contrapiso, e a fundação em brocas com vigas baldrame, utilizando-se as mesmas prescrições utilizadas para a fundação do sistema em alvenaria de blocos cerâmicos.

Os materiais isolantes térmicos considerados na composição dos custos do sistema construtivo proposto foram o EPS, a lã de vidro e a vermiculita, não sendo possível fazer o comparativo utilizando-se a lã de rocha, uma vez que a mesma não foi encontrada disponível no mercado.

Para a elaboração dos custos de cada sistema, foi utilizada como base para a quantificação dos índices referentes à mão-de-obra a TCPO 2003 (Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos).

No Apêndice A são mostradas as planilhas de custo para o sistema proposto, com a fundação em *radier* e com a fundação em brocas e baldrame. Estão também no Apêndice A as planilhas de custo dos dois sistemas construtivos utilizados para comparação. A Tabela 3.9 mostra um quadro resumo dos custos levantados para os quatro casos analisados.

Tabela 3.9 – Custos dos sistemas construtivos estudados.

Sistema Construtivo		Custo Total (R\$) para etapas de fundação e vedação vertical
Painéis de chapas de aço, fundação em <i>radier</i> .	Preenchidos com vermiculita	15.655,17
	Preenchidos com EPS	16.568,53
	Preenchidos com lã de vidro	17.025,21
Painéis de chapas de aço, fundação em brocas e baldrames.	Preenchidos com vermiculita	15.530,08
	Preenchidos com EPS	16.443,44
	Preenchidos com lã de vidro	16.900,12
Vedação em alvenaria de blocos cerâmicos.		6.101,74
Vedação em pranchas de madeira maciça de 4 cm de espessura.		15.736,94

Analisando os dados da Tabela 3.9, nota-se que o custo da edificação utilizando os painéis de chapas de aço se mostrou muito superior ao custo utilizando-se paredes em alvenaria de blocos cerâmicos, entretanto, não foram quantificados nos referidos custos os quantitativos de perdas que, como se sabe são grandes em uma obra tradicional em alvenaria, e bastante reduzidos no caso da construção industrializada. Comparando ainda com os custos da edificação em paredes de madeira maciça, um sistema construtivo também industrializado, constatou-se que esta apresentou um custo bastante próximo ao da construção proposta com os referidos painéis.

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 CONCLUSÕES

Neste item, são apresentadas as conclusões obtidas para o sistema construtivo proposto no presente trabalho. Pode-se dizer que as conclusões são de dois tipos: as relacionadas ao sistema construtivo e as relacionadas ao comportamento estrutural.

Quanto ao comportamento estrutural, a principal conclusão que se chega é que o sistema estrutural proposto resiste aos esforços solicitantes axiais e de vento, como segue:

- Na análise do comportamento do painel pelo método do auto valor, onde foi considerada apenas esforço axial, obteve-se uma carga de flambagem linearmente distribuída de 13,39 kN/m (considerando-se coeficiente de minoração da resistência de 0,9), para o caso de um painel com espaçamento de 12,5 cm entre ligações, sendo este valor aceitável, uma vez que a carga axial atuante linearmente distribuída é de 11,33 kN/m.
- Fazendo-se a análise não linear, observou-se que quando os três painéis estavam submetidos apenas a esforço axial, a carga crítica de flambagem, já minorada, foi de aproximadamente 45 kN, ou seja, aproximadamente 16,67 kN/m. Enquanto na análise de um painel sozinho sujeito apenas a esforço axial pelo método do auto valor com a mesma espessura de chapa e com o mesmo espaçamento entre ligações a carga crítica distribuída foi de 13,39 kN/m. Pode-se dizer que tal comportamento se deve à contribuição das paredes perpendiculares, representando restrições laterais, oferecendo maior rigidez ao conjunto.

- O caso mais crítico na análise de flambagem pelo método não linear é para os painéis submetidos à sucção do vento, sendo para este caso, a carga de flambagem linearmente distribuída de aproximadamente 11,67 kN/m (aplicando o coeficiente de minoração de resistência de 0,9), portanto, os painéis propostos com chapas de 0,106 cm de espessura e espaçamento entre ligações de 12,5 cm apresentam-se resistentes aos carregamentos impostos pela edificação de pequeno porte estudada.

Na análise do comportamento térmico de materiais isolantes a serem utilizados no interior de painéis, conclui-se que a vermiculita expandida foi a que apresentou melhor desempenho, devendo-se, no entanto, realizar novas análises, com o objetivo de se estudar o desempenho acústico desses materiais.

Com relação aos custos, o projeto que se apresentou mais viável para utilização dos painéis foi a utilização do isolante térmico vermiculita como preenchimento desses, observando-se que o emprego da fundação em brocas e baldrames ou em *radier* não representou diferenças significativas nos custos finais.

Finalizando, a conclusão que se faz quanto à utilização do sistema proposto, ao invés do tradicional sistema de paredes de alvenaria, é o ganho de industrialização e tecnologia aplicada à construção civil, aliado à redução no tempo de execução, reduzindo assim os gastos com canteiros de obras, além da possibilidade da edificação do sistema proposto poder ser desmontada e reaproveitada.

4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa não esgota todos os aspectos relevantes sobre o estudo do comportamento do sistema construtivo proposto, dada a complexidade do assunto, então, sugere-se algumas linhas para a continuidade da pesquisa:

- Ensaaios experimentais dos painéis de chapas finas de aço submetidos a combinações de ações axiais e de vento, para permitir a aferição dos resultados numéricos;
- Considerar elementos de ligação na união das chapas e elementos de contato entre chapas;

-
- Analisar as aberturas de portas e janelas nas paredes consideradas estruturais;
 - Estudo da influência da temperatura de incêndio nos painéis metálicos, de modo a assegurar a segurança estrutural requerida em condições de incêndio;
 - Ensaios experimentais e modelagens numéricas para avaliação dos materiais termo-isolantes com possibilidade de uso no interior dos painéis do sistema proposto;
 - Análises numéricas e experimentais para avaliação do conforto acústico, da durabilidade e da projeção de vida útil dos painéis propostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSYS. **User's Manual**. Versão 9.0.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980. 6p.

_____. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 110p.

_____. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 21p.

_____. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 53p.

_____. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 8p.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 34p.

BARROS, M. M. B. **O desafio da implantação de inovações tecnológicas no sistema produtivo das empresas construtoras**. In: I Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, Vedações Verticais. São Paulo: EPUSP, 1998. p. 249-285.

BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em aço**. 4. ed. São Paulo: Pini, v.1, 284 p. 1986.

CASAREAL. **Central de atendimento CASAREAL** e Disponível em: <<http://www.casareal.ind.br>> Acesso em: 28 jun. 2005.

CASAS INDUSTRIALIZADAS. Disponível em: <http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.phd>. Acesso em: 27 ago. 2004.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Sistema construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços revestidos (steel framing):** Requisitos e Condições Mínimas para Financiamento pela Caixa. Disponível em: <http://www.cbca-ibs.com.br/downloads/Doc.Caixa_01ago03.pdf> Acesso em: 27 ago. 2004.

_____. **Guia do construtor em steel framing.** Disponível em: <http://www.cbca-ibs.com.br/downloads/Guia_do_Construtor_em_Steel_Framing.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2004.

_____. **Tabelas de dimensionamento estrutural para edificações com o sistema steel framing.** Disponível em: <http://www.cbca-ibs.com.br/downloads/Tabelas_de_dimensionamento.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2004.

_____. **Detalhes construtivos para construções em steel framing.** Disponível em: <http://www.cbca-ibs.com.br/downloads/Detalhes_construtivos_para_Steel_Framing.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2004.

CHODRAUI, G. M. B. **Flambagem por distorção da seção transversal em perfis de aço formados a frio submetidos à compressão centrada e à flexão.** 186 p. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

DAEDALUS SYSTEMS. **Innovative Affordable Housing.** Disponível em: <<http://www.daedalusproject.com/news/system/index.htm>>. Acesso em: 20 maio 2005.

DAVIES, J. M.; FRAGOS, A. S. **Shear strength of empty and infilled cassettes.** In: Thin-Walled Structures. [S.l.]: Elsevier Science, 2003. v. 41, p. 109-125. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 08 abr. 2005.

DAVIES, J. M.; FRAGOS, A. S. **The local shear buckling of thin-walled cassettes infilled by rigid insulation.** In: Journal of Constructional Steel Research. [S.l.]: Elsevier Science, 2004. v. 60, p. 581-599. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 08 abr. 2005.

EINSFELD, R. A.; PACHECO, M. **Utilização de painéis estruturados em habitações residenciais de madeira.** In: VII EBRAMEM, Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. São Carlos: EESC-USP, 2000. Anais, 9p.

FARIA NETO, A. M.; FARIA, A. M.; MACÊDO, A. N. **Projeto e execução de casa popular em painéis pré-fabricados de argamassa e madeira.** In: VIII EBRAMEM, Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Uberlândia: UFU, 2000. Anais, 9p.

FONSECA, B.; SIMÕES, T.; MARTINS, V. **Fabrico e uso de estruturas metálicas.** 64 p. Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Instituto Politécnico de Tomar, Ourém, 2002.

FRANCO, L. S. **O projeto de vedações verticais: características e importância para a racionalização do processo de produção.** In: I Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, Vedações Verticais. São Paulo: EPUSP, 1998. p. 221-236.

HABITAR. **Tecnologia das Habitações: Sistemas Construtivos.** Disponível em: <<http://arq.ufmg.br/habitar/sis9.html>> Acesso em: 06 out. 2004.

INOUE, H. **Sistemas diafragma com painéis de chapa fina, aplicados à edificações estruturadas em aço.** 104 p. Tese de Doutorado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

INSTITUTO DO BAMBU. Disponível em: <<http://www.institutodobambu.com.br>>. Acesso em: 29 set. 2004.

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE (IISI). **Inovações em aço. Construções residenciais em todo mundo.** 1996. 6 v.

LAFARGE GYPSUM. **Drywall**, 2004. CD-ROM.

MICHALOSKI, A. O. **Avaliação do desempenho térmico por meio de simulação computacional de habitações populares implantadas na vila tecnológica de Curitiba.** 208 p. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.

MITIDIERI FILHO, C. V.; SOUZA, R. **Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular**. Conceituação e Metodologia. 4p. [199-].

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 191 p. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. **PCI design handbook: precast and prestressed concrete**. 5.ed. Chicago: PCI, 1998.

PEREIRA, T. C. A. **Avaliação de desempenho de sistemas racionalizados de vedação para edifícios com estruturas metálicas**. 127 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

PEREIRA JÚNIOR, C. J. **Edifícios de pequeno porte contraventados com perfis de chapa fina de aço**. 141 p. Tese de Doutorado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

PÉREZ, S. V. S. **Análise experimental da instabilidade distorcional em perfis de paredes finas e seção aberta sob força de compressão excêntrica**. 152 p. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

PFEIL, W. **Estruturas de aço**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v.1, 284 p. 1986.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. **Secretaria Municipal de Habitação: Programa de Subsídio Habitacional de Interesse Social (PSH)**. Uberlândia, 2005.

ROSA FILHO, O. C. **Estudo comparativo de materiais isolantes térmicos para utilização em painéis de chapas de aço**. (Pesquisa em fase de elaboração). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SABBATINI, F. H. **A industrialização e o processo de produção de vedações: Utopia ou elemento de competitividade empresarial?** In: I Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, Vedações Verticais. São Paulo: EPUSP, 1998a. p. 1-19.

SABBATINI, F. H. **O processo de produção das vedações leves de gesso acartonado.** In: I Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, Vedações Verticais. São Paulo: EPUSP, 1998b. p. 21-48.

SILVA, A. **Comportamento diafragma de paredes de madeira no sistema leve plataforma.** 142 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

SILVA, G. G. **Arquitetura do Ferro no Brasil.** São Paulo: Nobel, 248 p. 1988.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G. **Painéis de Vedação.** In: Bibliografia Técnica Para o Desenvolvimento da Construção em Aço. [S.l.:s.n.], 200-.

SOUZA, R. **Avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitação.** In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Tecnologia de Edificações. São Paulo, 1998. Disponível em: <<http://pcc2339.pcc.usp.br/Arquivos/Aula%2002%20MA%20Desempenho%20Tec%20Edif%20Pini%20p.%20529-532.pdf>> Acesso em: 29 set. 2004.

SOUZA, U. E. L. **Produtividade e custos dos sistemas de vedação vertical.** In: I Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, Vedações Verticais. São Paulo: EPUSP, 1998. p. 237-248.

TCPO 2003: **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos.** 1.ed. São Paulo: Pini, 2003.

USIMINAS. Grupo de Desenvolvimento do Uso do Aço. **Telhados residenciais padrão:** Projetos básicos de engradamentos metálicos. Belo Horizonte, 1992.

VAZQUEZ, E. G. **Análise teórica e experimental da instabilidade torcional de perfis formados a frio sob compressão centrada.** 173 p. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

VENTURA, G. J.; BARTH, F. **Aplicação e desempenho térmico dos painéis metálicos sandwich nas vedações do fórum da UFSC.** In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Florianópolis: UFSC, 1999. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/Scripts/downloadpdf.asp?CD_BIBLIOGRAFIA=21652> Acesso em: 26 jan. 2005.

VON KRÜGER, P. G. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estruturas metálicas.** 186 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

APÊNDICE A

Neste apêndice apresentam-se as planilhas de custo para o sistema construtivo proposto e para os sistemas construtivos em alvenaria de blocos cerâmicos e em paredes de pranchas de madeira.

Tabela A.1 – Custos do sistema construtivo proposto – fundação em *radier*.

DADOS								
Quantidade de painéis				esp. painel (m): 0,10				
Externos (2,40m x 2,80m):		27						
Externos (2,40m x 0,70m):		2						
Externos (2,20m x 2,80m):		1						
Internos (2,40m x 2,80m):		13						
Internos (2,40m x 0,70m):		5						
Internos (2,20m x 2,80m):		3						
CHAPAS METÁLICAS PARA CONFECÇÃO DOS PAINÉIS								
Comp. (m)	Altura (m)	Área (m ²)	kg/m ²	kg/painel	R\$/kg	R\$ (por painel)	Qtde. Painel	R\$
2,40	2,80	6,72	8,32	55,9104	4,70	262,78	40	10.511,16
2,40	0,70	1,68	8,32	13,9776	4,70	65,69	7	459,86
2,20	2,80	6,16	8,32	51,2512	4,70	240,88	4	963,52
							TOTAL:	11.934,54
CHAPAS METÁLICAS PARA ACABAMENTO NOS CANTOS								
Comp. (m)	Altura (m)	Área (m ²)	kg/m ²	kg/painel	R\$/kg	R\$ (por ligação)	Qtde. Ligações	R\$
0,10	2,80	0,28	8,32	2,3296	4,70	10,95	13	142,34
0,10	0,70	0,07	8,32	0,5824	4,70	2,74	6	16,42
							TOTAL:	158,76
CHAPAS METÁLICAS PARA FIXAÇÃO À FUNDAÇÃO								
Comp. (m)	Altura (m)	Área (m ²)	kg/m ²	Qtde. Ligações	kg total	R\$/kg	R\$	
0,10	0,10	0,01	8,32	124	10,3168	4,70	48,49	
						TOTAL:	48,49	
CHAPAS METÁLICAS PARA VEDAÇÕES SUPERIOR E INFERIOR DOS PAINÉIS								

Comp. (m)	Larg. (m)	Área (m ²)	kg/m ²	kg/painel	R\$/kg	R\$ (por painel)	Qtde. Painel	R\$
0,90	0,20	0,18	8,32	1,498	4,70	7,04	47	330,82
0,80	0,20	0,16	8,32	1,331	4,70	6,26	4	25,03
							TOTAL:	355,85

Execução de pintura em superfície metálica com tinta esmalte com duas demãos

Componente	Unid.	Consumo	Qtde.	R\$ unit.	R\$	
Aj. Pintor	h	205,63	205,63 h	1,59	327,14	
Pintor	h	205,63	205,63 h	2,27	467,35	
Tinta esmalte	l	41,13	2,28 lata	22,82	52,14	
Aguarrás mineral	l	7,71	7,71 l	4,55	35,09	
					TOTAL:	881,71

R\$ TOTAL DE CHAPA DE AÇO TRABALHADA E PINTADA = 13.379,35

Execução de *radier* de 15 cm de espessura em concreto estrutural virado em obra - 1:5:5 (cimento/areia/brita1)

Componente	Unid.	Consumo	Qtde.	R\$ unit.	R\$	
Servente	h	38,86	38,86 h	1,59	61,83	
Pedreiro	h	8,26	8,26 h	2,27	18,78	
Brita	m ³	5,10	5,10 m ³	30,00	153,00	
Areia	m ³	5,10	5,10 m ³	29,00	147,90	
Cimento	m ³	1,02	28,33 sc	16,00	453,33	
					TOTAL:	834,84

Armadura de tela de aço CA-60 B para *radier* (dimensões da trama: 100x100mm/ tipo da malha: quadrangular/ diâmetro do fio:4,20mm/ largura 2,45m)

Componente	Unid.	Consumo	Qtde.	R\$ unit.	R\$	
Aj. de armador	h	4,49	4,49 h	1,59	7,14	
Armador	h	2,24	2,24 h	2,27	5,10	
Tela de aço	m ²	51	51 m ²	10,00	510,00	
Arame recozido (Ø=1,25mm)	kg	1,12	1,12 kg	4,80	5,39	
					TOTAL:	527,63

R\$ TOTAL DE FUNDAÇÃO E CONTRA-PISO = 1.362,46

MATERIAL ISOLANTE - VERMICULITA (superfina)

Larg. (m)	Altura (m)	Vol. (m ³)	R\$/m ³	R\$ (por painel)	Qtde. Painel	R\$
0,90	2,80	0,252	80,00	20,16	40	806,40
0,90	0,70	0,063	80,00	5,04	7	35,28
0,80	2,80	0,224	80,00	17,92	4	71,68
					TOTAL:	913,36

MATERIAL ISOLANTE - ISOPOR EM CHAPA (10 cm de espessura)						
Larg. (m)	Altura (m)	Área (m ²)	R\$/m ³	R\$ (por painel)	Qtde. Painel	R\$
0,90	2,80	2,52	160,00	40,32	40	1.612,80
0,90	0,70	0,63	160,00	10,08	7	70,56
0,80	2,80	2,24	160,00	35,84	4	143,36
					TOTAL:	1.826,72
MATERIAL ISOLANTE - LÃ DE VIDRO (10 cm de espessura)						
Larg. (m)	Altura (m)	Área (m ²)	R\$/m ²	R\$ (por painel)	Qtde. Painel	R\$
0,90	2,80	2,52	10,00	50,40	40	2.016,00
0,90	0,70	0,63	10,00	12,6	7	88,20
0,80	2,80	2,24	10,00	44,8	4	179,20
					TOTAL:	2.283,40
TOTAL (Com isolante vermiculita) =						15.655,17
TOTAL (Com isolante isopor em chapa) =						16.568,53
TOTAL (Com isolante lã de vidro) =						17.025,21

Tabela A.2 – Custos do sistema construtivo proposto – fundação em brocas e baldrames.

R\$ TOTAL DE CHAPA DE AÇO TRABALHADA E PINTADA = 13.379,35						
Execução de brocas com diâmetro de 20 cm e profundidade de 1,50 m, ferragem de espera de 50 cm - 1:5:5 (cimento/areia/brita1) - 18 brocas						
Componente	Unid.	Consumo	Qtde. (com)		R\$ unit.	R\$
Cimento	m ³	0,1696	4,712	sc	16,00	75,40
Areia média	m ³	0,8482	0,848	m ³	29,00	24,60
Brita 1	m ³	0,8482	0,848	m ³	30,00	25,45
Ferro 8 mm	ml	144	12	barra	13,45	161,40
					TOTAL:	286,84
Execução de canaletas do baldrame (14x19x39) - 1:4:4 (cimento/areia/brita1) - 118 canaletas						
Componente	Unid.	Consumo	Qtde. (com)		R\$ unit.	R\$
Cimento	m ³	0,3060	8,501	sc	16,00	136,01
Areia média	m ³	1,2241	1,224	m ³	29,00	35,50
Brita 1	m ³	1,2241	1,224	m ³	30,00	36,72
Ferro 8mm	ml	138,06	11,51	barra	13,45	154,74
					TOTAL:	362,98

Execução de embasamento dos baldrames com tijolos maciços de barro 5x10x20 com argamassa mista de cimento, cal e areia - traço 1:1:9						
Componente	Unid.	Consumo	Qtde. (com)		R\$ unit.	R\$
Tijolo	un	512	512	un	0,15	76,80
Cimento	m ³	0,0159	0,441	sc	16,00	7,06
Areia média	m ³	0,0159	0,883	m ³	29,00	25,60
Brita 1	m ³	0,1430	0,143	m ³	30,00	4,29
					TOTAL:	113,75
Execução de contrapiso - 1:3:6 (cimento/areia/brita1) - esp. = 5 cm						
Componente	Unid.	Consumo (m ³)	Qtde. (com)		R\$ unit.	R\$
Cimento	m ³	0,39	10,833	sc	16,00	173,33
Areia média	m ³	1,17	1,170	m ³	29,00	33,93
Brita 1	m ³	2,34	2,340	m ³	30,00	70,20
					TOTAL:	277,46
Execução de perfuração em terra, manual, para broca - Ø = 20 cm						
Componente	Unid.	Cons./m	Qtde. (m)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Servente	h	1,50	27	40,50	1,59	64,43
					TOTAL:	64,43
Execução de escavação manual para vala em solo de 1ª categoria (qualquer tipo de solo, exceto rocha)						
Componente	Unid.	Cons./m ³	Qtde. (m ³)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Servente	h	4,00	0,920	3,68	1,59	5,86
					TOTAL:	5,86
Reaterro manual de vala apiloado						
Componente	Unid.	Cons./m ³	Qtde. (m ³)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Pedreiro	h	0,35	0,2761	0,097	2,27	0,22
Servente	h	3,50	0,2761	0,966	1,59	1,54
					TOTAL:	1,76
Execução de concreto estrutural virado em obra						
Componente	Unid.	Cons./m ³	Qtde. (m ³)	Total de horas	R\$/hora	R\$

Servente	h	6,00	4,412	26,47	1,59	42,12
					TOTAL:	42,12
Lançamento, adensamento e acabamento de concreto em estrutura						
Componente	Unid.	Cons./m³	Qtde. (m³)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Pedreiro	h	1,62	3,564	5,77	2,27	13,12
Servente	h	1,62	3,564	5,77	1,59	9,19
					TOTAL:	22,31
Lançamento, adensamento e acabamento de concreto em fundação						
Componente	Unid.	Cons./m³	Qtde. (m³)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Pedreiro	h	2,00	0,848	1,70	2,27	3,86
Servente	h	6,00	0,848	5,09	1,59	8,10
					TOTAL:	11,95
Execução de embasamento dos baldrames com tijolos maciços de barro 5x10x20 com argamassa mista de cimento, cal e areia - traço 1:1:9						
Componente	Unid.	Cons./m³	Qtde. (m³)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Pedreiro	h	7,00	0,498	3,49	2,27	7,92
Servente	h	7,00	0,498	3,49	1,59	5,55
					TOTAL:	13,47
Execução de corte e dobra de aço para estruturas em geral						
Componente	Unid.	Cons./kg	Qtde. (kg)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Aj. de armador	h	0,08	111,414	8,91	1,59	14,18
Armador	h	0,08	111,414	8,91	2,27	20,26
					TOTAL:	34,44
R\$ TOTAL DE FUNDAÇÃO E CONTRA-PISO =				1.237,37		
MATERIAL ISOLANTE - VERMICULITA (superfina)						
Larg. (m)	Altura (m)	Vol. (m³)	R\$/m³	R\$ (por painel)	Qtde. Painel	R\$
0,90	2,80	0,252	80,00	20,16	40	806,40
0,90	0,70	0,063	80,00	5,04	7	35,28
0,80	2,80	0,224	80,00	17,92	4	71,68
					TOTAL:	913,36
MATERIAL ISOLANTE - ISOPOR EM CHAPA (10 cm de espessura)						

Larg. (m)	Altura (m)	Área (m ²)	R\$/m ³	R\$ (por painel)	Qtde. Painel	R\$
0,90	2,80	2,52	160,00	40,32	40	1.612,80
0,90	0,70	0,63	160,00	10,08	7	70,56
0,80	2,80	2,24	160,00	35,84	4	143,36
TOTAL:						1.826,72
MATERIAL ISOLANTE - LÃ DE VIDRO (10 cm de espessura)						
Larg. (m)	Altura (m)	Área (m ²)	R\$/m ²	R\$ (por painel)	Qtde. Painel	R\$
0,90	2,80	2,52	10,00	50,40	40	2.016,00
0,90	0,70	0,63	10,00	12,6	7	88,20
0,80	2,80	2,24	10,00	44,8	4	179,20
TOTAL:						2.283,40
TOTAL (Com isolante vermiculita) =						15.530,08
TOTAL (Com isolante isopor em chapa) =						16.443,44
TOTAL (Com isolante lã de vidro) =						16.900,12

Tabela A.3 – Custos do sistema construtivo em alvenaria de blocos cerâmicos.

DADOS						
Bloco cerâmico:	9x19x19					
Arg. para assentamento (1 cm):	1:1:9 (cimento:cal:areia)					
Arg. para chapisco (0,5 cm / lado):	1:3 (cimento:areia)					
Arg. para reboco (2 cm / lado):	1:2:9 (cimento:cal:areia)					
QUANTITATIVO DE MATERIAL						
Execução de alvenaria com tijolo cerâmico furado 9x19x19, assentado na menor dimensão, juntas de 10 mm c/ argamassa mista de cimento, cal e areia - traço 1:1:9						
Componente	Unid.	Cons./m ²	Qtde. (com)		R\$ unit.	R\$
Bloco cerâmico	un	25	25	un	0,30	7,50
Cimento	m ³	0,0013	0,037	sc	16,00	0,59
Cal hidratada	m ³	0,0013	0,074	sc	5,00	0,37
Areia média	m ³	0,0120	0,012	m ³	29,00	0,35
TOTAL:						8,81
Execução de chapisco para parede interna e externa c/ argamassa de cimento e areia, e = 5 mm - traço 1:3						
Componente	Unid.	Cons./m ²	Qtde. (com)		R\$ unit.	R\$
Cimento	m ³	0,0033	0,093	sc	16,00	1,48
Areia média	m ³	0,0100	0,010	m ³	29,00	0,29

TOTAL: 1,77					
Execução de reboco para parede interna e externa c/ argamassa de cimento, cal e areia, e = 20 mm - traço 1:2:9					
Componente	Unid.	Cons./m ²	Qtde. (com)	R\$ unit.	R\$
Cimento	m ³	0,0044	0,123 sc	16,00	1,98
Cal hidratada	m ³	0,0089	0,494 sc	5,00	2,47
Areia média	m ³	0,0400	0,040 m ³	29,00	1,16
TOTAL:					5,60
Qtde. alv. (m ²)	R\$ unit.	R\$ TOTAL			
128,52	16,19	2.080,34			
Execução de brocas com diâmetro de 20 cm e profundidade de 1,50 m, ferragem de espera de 50 cm - 1:5:5 (cimento/areia/brita1) - 18 brocas					
Componente	Unid.	Consumo	Qtde. (com)	R\$ unit.	R\$
Cimento	m ³	0,1696	4,712 sc	16,00	75,40
Areia média	m ³	0,8482	0,848 m ³	29,00	24,60
Brita 1	m ³	0,8482	0,848 m ³	30,00	25,45
Ferro 8 mm	ml	144	12 barra	13,45	161,40
TOTAL:					286,84
Execução de canaletas do baldrame (14x19x39) - 1:4:4 (cimento/areia/brita1) - 118 canaletas					
Componente	Unid.	Consumo	Qtde. (com)	R\$ unit.	R\$
Cimento	m ³	0,3060	8,501 sc	16,00	136,01
Areia média	m ³	1,2241	1,224 m ³	29,00	35,50
Brita 1	m ³	1,2241	1,224 m ³	30,00	36,72
Ferro 8mm	ml	138,06	11,51 barra	13,45	154,74
TOTAL:					362,98
Execução de embasamento dos baldrames com tijolos maciços de barro 5x10x20 com argamassa mista de cimento, cal e areia - traço 1:1:9					
Componente	Unid.	Consumo	Qtde. (com)	R\$ unit.	R\$
Tijolo	un	512	512 un	0,15	76,80
Cimento	m ³	0,0159	0,441 sc	16,00	7,06
Areia média	m ³	0,0159	0,883 m ³	29,00	25,60
Brita 1	m ³	0,1430	0,143 m ³	30,00	4,29
TOTAL:					113,75
Execução de contrapiso - 1:3:6 (cimento/areia/brita1) - esp. = 5 cm					

Componente	Unid.	Consumo (m³)	Qtde. (com)	R\$ unit.	R\$	
Cimento	m³	0,39	10,833 sc	16,00	173,33	
Areia média	m³	1,17	1,170 m³	29,00	33,93	
Brita 1	m³	2,34	2,340 m³	30,00	70,20	
TOTAL:					277,46	
Execução de vergas e contravergas (10/15) - 1:5:5 (cimento/areia/brita1)						
Componente	Unid.	Consumo	Qtde. (com)	R\$ unit.	R\$	
Cimento	m³	0,0891	2,475 sc	16,00	39,60	
Areia média	m³	0,4455	0,446 m³	29,00	12,92	
Brita 1	m³	0,4455	0,446 m³	30,00	13,37	
Ferro 6.3mm	ml	12,10	2 barra	9,96	19,92	
TOTAL:					85,80	
Execução de pintura com tinta látex PVA em parede interna e externa, com emassamento com massa corrida, com duas demãos.						
Componente	Unid.	Consumo	Qtde. (com)	R\$ unit.	R\$	
Selador	l	30,84	30,84 l	11,66	359,65	
Massa corrida	kg	179,93	5,57 lata	47,30	263,49	
Tinta látex PVA	l	43,70	2,428 lata	47,27	114,75	
TOTAL:					737,89	
TOTAL PARA MATERIAL: 3.945,07						
QUANTITATIVO DE MÃO-DE-OBRA						
Execução de alvenaria com tijolo cerâmico furado 9x19x19, assentado na menor dimensão, juntas de 10 mm c/ argamassa mista de cimento, cal e areia - traço 1:1:9						
Componente	Unid.	Cons./m²	Qtde. (m²)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Pedreiro	h	1,00	128,52	128,52	2,27	292,09
Servente	h	1,12	128,52	143,94	1,59	229,00
TOTAL:					521,09	
Execução de chapisco para parede interna e externa c/ argamassa de cimento e areia, e = 5 mm - traço 1:3						
Componente	Unid.	Cons./m²	Qtde. (m²)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Pedreiro	h	0,10	257,04	25,70	2,27	58,42
Servente	h	0,15	257,04	38,56	1,59	61,34
TOTAL:					119,76	

Execução de reboco para parede interna e externa c/ argamassa de cimento, cal e areia, e = 20 mm - traço 1:2:9						
Componente	Unid.	Cons./m ²	Qtde. (m ²)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Pedreiro	h	0,60	257,04	154,22	2,27	350,51
Servente	h	0,80	257,04	205,63	1,59	327,14
					TOTAL:	677,65
Execução de perfuração em terra, manual, para broca - Ø = 20 cm						
Componente	Unid.	Cons./m	Qtde. (m)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Servente	h	1,50	27	40,50	1,59	64,43
					TOTAL:	64,43
Execução de escavação manual para vala em solo de 1ª categoria (qualquer tipo de solo, exceto rocha)						
Componente	Unid.	Cons./m ³	Qtde. (m ³)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Servente	h	4,00	0,920	3,68	1,59	5,86
					TOTAL:	5,86
Reaterro manual de vala apiloado						
Componente	Unid.	Cons./m ³	Qtde. (m ³)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Pedreiro	h	0,35	0,2761	0,097	2,27	0,22
Servente	h	3,50	0,2761	0,966	1,59	1,54
					TOTAL:	1,76
Execução de concreto estrutural virado em obra						
Componente	Unid.	Cons./m ³	Qtde. (m ³)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Servente	h	6,00	4,858	29,15	1,59	46,37
					TOTAL:	46,37
Lançamento, adensamento e acabamento de concreto em estrutura.						
Componente	Unid.	Cons./m ³	Qtde. (m ³)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Pedreiro	h	1,62	4,010	6,50	2,27	14,76
Servente	h	1,62	4,010	6,50	1,59	10,33
					TOTAL:	25,10
Lançamento, adensamento e acabamento de concreto em fundação						
Componente	Unid.	Cons./m ³	Qtde. (m ³)	Total de horas	R\$/hora	R\$
Pedreiro	h	2,00	0,848	1,70	2,27	3,86
Servente	h	6,00	0,848	5,09	1,59	8,10

						TOTAL:	11,95
Execução de embasamento dos baldrames com tijolos maciços de barro 5x10x20 com argamassa mista de cimento, cal e areia - traço 1:1:9							
Componente	Unid.	Cons./m³	Qtde. (m³)	Total de horas	R\$/hora	R\$	
Pedreiro	h	7,00	0,498	3,49	2,27	7,92	
Servente	h	7,00	0,498	3,49	1,59	5,55	
						TOTAL:	13,47
Execução de corte e dobra de aço para estruturas em geral							
Componente	Unid.	Cons./kg	Qtde. (kg)	Total de horas	R\$/hora	R\$	
Aj. de armador	h	0,08	114,536	9,16	1,59	14,58	
Armador	h	0,08	114,536	9,16	2,27	20,82	
						TOTAL:	35,40
Execução de emassamento de parede interna e externa com massa corrida							
Componente	Unid.	Cons./m²	Qtde. (m²)	Total de horas	R\$/hora	R\$	
Aj. de pintor	h	0,20	257,04	51,41	1,59	81,79	
Pintor	h	0,30	257,04	77,11	2,27	175,25	
						TOTAL:	257,04
Execução de pintura de parede interna e externa com látex PVA							
Componente	Unid.	Cons./m²	Qtde. (m²)	Total de horas	R\$/hora	R\$	
Aj. de pintor	h	0,35	257,04	89,96	1,59	143,12	
Pintor	h	0,40	257,04	102,82	2,27	233,67	
						TOTAL:	376,80
						TOTAL PARA MÃO-DE-OBRA:	2.156,67
						TOTAL:	6.101,74

Tabela A.4 – Custos do sistema construtivo pré-fabricado em madeira.

Sistema construtivo em madeira maciça, com paredes de pranchas de 4 cm de espessura por 14 cm de largura.			
Descrição	R\$/m²	Qtde. (m²)	R\$
Material p/ vedações (s/ acabamento)	265,00	46,8	12.402,00
Montagem	20,00	46,8	936,00
Fundação			1.404,00
		TOTAL:	14.742,00

Acabamento das vedações com três demãos de verniz						
Componente	Unid.	Consumo	Qtde.		R\$ unit.	R\$
Aj. Pintor	h	77,11	77,11	h	1,59	122,68
Pintor	h	102,82	102,82	h	2,27	233,67
Verniz sintético	l	48,84	48,84	l	9,76	476,65
Selador p/ madeira	l	7,71	7,71	l	11,90	91,76
Aguarrás mineral	l	15,42	15,42	l	4,55	70,17
					TOTAL:	994,94
					TOTAL:	15.736,94