

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

VANESSA CRISTINA SONCIN DA SILVA

**ESTUDO DA ESTABILIDADE E DA CAPACIDADE RESISTENTE DE PAINÉIS
ESTRUTURAIS DO SISTEMA CONSTRUTIVO *LIGHT STEEL FRAMING***

Ilha Solteira

2013

VANESSA CRISTINA SONCIN DA SILVA

**ESTUDO DA ESTABILIDADE E DA CAPACIDADE RESISTENTE DE PAINÉIS
ESTRUTURAIS DO SISTEMA CONSTRUTIVO *LIGHT STEEL FRAMING***

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus
de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para a
obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil
Área de Conhecimento: Estruturas

Prof. Dr. Jefferson Sidney Camacho
Orientador

Prof. Dr. Renato Bertolino Júnior
Co-orientador

Ilha Solteira
2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S586e Silva, Vanessa Cristina Soncin da.
Estudo da estabilidade e da capacidade resistente de painéis estruturais do sistema construtivo Light Steel Framing / Vanessa Cristina Soncin da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2013
206 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas Metálicas, 2013

Orientador: Jefferson Sidney Camacho

Co-orientador: Renato Bertolino Júnior

Inclui bibliografia

1. Light Steel Framing. 2. Instabilidade. 3. Método dos elementos finitos.
4. Não-linearidade.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

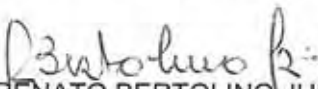
TÍTULO: Estudo da estabilidade de painéis estruturais do sistema construtivo Light Steel Framing

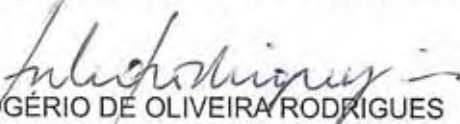
AUTORA: VANESSA CRISTINA SONCIN DA SILVA

ORIENTADOR: Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. RENATO BERTOLINO JUNIOR

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. RENATO BERTOLINO JUNIOR
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. ROGÉRIO DE OLIVEIRA RODRIGUES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. JORGE MUNAIAR NETO
Departamento de Estruturas / Escola de Engenharia de São Carlos-Usp

Data da realização: 18 de janeiro de 2013.

DEDICATÓRIA

A Deus, aos meus pais José e Gislene e à
minha irmã Ana Caroline.

AGRADECIMENTOS

A DEUS

Pela força que me deu para enfrentar mais esta etapa da vida e pela perseverança alimentada diante de todos os obstáculos que surgiram.

À MINHA FAMÍLIA

Pelo amor incondicional e pelo carinho em cada momento feliz ou triste. E ao meu grande amor, Diego Raphael, pelo brilho dos olhos e o calor do coração terem feito minha caminhada mais feliz.

À UNESP

Pela infraestrutura disponibilizada durante o curso e durante a elaboração deste trabalho.

AOS PROFESSORES

Renato Bertolino Júnior: pela exímia orientação, dotada sempre de muita atenção e plena educação;

Jefferson Sidney Camacho: pelo incentivo à novas áreas de estudo;

Roberto Racanicchi, Maicon Albertini e Marcelo Pedreiro: pelo grande apoio e incentivo;

E a cada um dos professores do curso que, cada qual ao seu modo, transmitiu conhecimento e experiência de vida.

AOS AMIGOS E COLEGAS DE CURSO

Pela companhia, apoio e troca de experiências.

À CAPES

Pelo auxílio financeiro.

**“Somos o que fazemos, mas somos,
principalmente, o que fazemos para mudar o que
somos.”**

Eduardo Galeano

RESUMO

O presente trabalho estuda a estabilidade de painéis estruturais do sistema construtivo *Light Steel Framing (LSF)* a partir da modelagem computacional de painéis estruturais, com o intuito de analisar a instabilidade global, os deslocamentos horizontais de topo e os esforços resistentes dos perfis formados a frio que compõem estas estruturas. Realizaram-se análises lineares, não-lineares e de flambagem de geometrias de painéis comumente empregadas e indicadas na literatura, e de formatos diferenciados, buscando encontrar configurações de travamento que pudessem permitir maior estabilidade e a utilização de perfis mais esbeltos do que os indicados por norma para este tipo de sistema construtivo. Constatou-se que os painéis aqui estudados atingem seus estados-limites quando são utilizados perfis de menores espessuras do que aquelas normalmente indicadas, e que a geometria do painel proposto no estudo efetuado mostrou-se viável, tornando-se uma alternativa às configurações comumente empregadas e recomendadas pela literatura em questão e oferecendo estabilidade, capacidade resistente, segurança e economia de material.

Palavras-chave: *Light Steel Framing*. Instabilidade. Método dos elementos finitos. Não-linearidade.

ABSTRACT

This paper studies the stability of structural panels system constructive Light Steel Framing (LSF) from the computational modeling of structural panels, in order to analyze the global instability, the horizontal displacements of the top and the efforts of resistant cold formed steel composing these structures. Analyses linear, nonlinear and buckling geometry of panels commonly used and indicated in the literature, and different formats, seeking to find locking settings that could allow greater stability and the use of thinner profiles than indicated by standard for this type of construction system. It was found that the panels studied here reach their limits states profiles are used when smaller thicknesses than those normally displayed, and the geometry of the panel proposed in the study performed was feasible, becoming an alternative to commonly used settings and recommended by the literature in question and offering stability, bearing capacity, safety and economy of material.

Keywords: *Light Steel Framing*. Buckling. Finite element method. Nonlinearity.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CDHU	Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano
FPC_BF	Fração isolada de painel comumente utilizado com bloqueador e fita metálica
FPC_F	Fração isolada de painel estrutural comumente utilizado com fita metálica
FPPr_DF	Fração isolada de painel estrutural proposto com diagonal e fita metálica
FPPr_F	Fração isolada de painel estrutural proposto com fita metálica
FPS_1BsUe	Fração isolada de painel estrutural sugerido com 1 bloqueador sem perfil Ue
FPS_2BsUe	Fração isolada de painel estrutural sugerido com 2 bloqueadores sem perfil Ue
FPS_D	Fração isolada de painel estrutural sugerido com diagonal
<i>LSF</i>	<i>Light Steel Framing</i>
MEF	Método dos Elementos Finitos
<i>OSB</i>	<i>Oriented Strand Board</i>
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PC	Painel estrutural comumente utilizado sem contraventamento em “X”
PC_J	Painel estrutural comumente utilizado com abertura para janela
PC_J_V	Painel estrutural comumente utilizado com abertura para janela e com contraventamento em “V”
PC_J_X	Painel estrutural comumente utilizado com abertura para janela e com contraventamento em “X”
PC_P	Painel estrutural comumente utilizado com abertura para porta
PC_PJ	Painel estrutural comumente utilizado com abertura para porta e janela
PC_PJ_X	Painel estrutural comumente utilizado com abertura para porta e janela e com contraventamento em “X”
PC_P_X	Painel estrutural comumente utilizado com abertura para porta e com contraventamento em “X”
PC_X	Painel estrutural comumente utilizado com contraventamento em “X”
PPr	Painel estrutural proposto
PPr_J	Painel estrutural proposto com abertura para janela

PPr_P	Painel estrutural proposto com abertura para porta
PPr_PJ	Painel estrutural proposto com abertura para porta e janela
PS	Painel estrutural sugerido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
1.2	JUSTIFICATIVA.....	17
1.3	APRESENTAÇÃO	18
2	SISTEMA CONSTRUTIVO <i>LSF</i>.....	19
2.1	ORIGEM E HISTÓRIA	19
2.2	DEFINIÇÃO.....	22
2.3	VANTAGENS	24
2.4	APLICAÇÕES	25
2.4.1	Residências unifamiliares e edifícios comerciais e residenciais de vários pavimentos.....	26
2.4.2	Hotéis, clínicas, hospitais e estabelecimentos de ensino	30
2.4.3	Unidades Modulares.....	31
2.4.4	Retrofit de edificações	32
2.5	MÉTODOS CONSTRUTIVOS	33
2.5.1	Método stick	34
2.5.2	Método por painéis	35
2.5.3	Construção modular.....	35
2.5.4	Ballon Framing e Platform Framing	37
2.6	ETAPAS DE CONSTRUÇÃO.....	38
2.6.1	Projetos	38
2.6.2	Fundações	39
2.6.3	Estrutura	41
2.6.4	Laje e cobertura	42
2.6.5	Isolamentos	44
2.6.6	Instalações elétricas e hidráulicas	45
2.6.7	Fechamentos e acabamentos	46
2.6.8	Ligações	49
3	PAINÉIS DO SISTEMA LSF	50
3.1	PAINÉIS ESTRUTURAIS	50

3.1.1	Perfis componentes.....	50
3.1.2	Estabilização e travamentos.....	55
3.1.2.1	Contraventamento por fitas metálicas	56
3.1.2.2	Contraventamento por diafragma rígido.....	61
3.1.2.3	Travamento horizontal.....	63
3.1.3	Abertura de vãos	65
3.1.4	Encontro de painéis	68
3.1.4.1	União de painéis de canto	69
3.1.4.2	União de dois painéis formando um “T”	70
3.1.4.3	União de três painéis	71
3.1.5	Ancoragem.....	71
3.1.5.1	Ancoragem provisória	72
3.1.5.2	Ancoragem química com barra roscada	72
3.1.5.3	Ancoragem com fita metálica	73
3.1.5.4	Ancoragem com barra metálica tipo “J”.....	74
3.2	PAINÉIS NÃO-ESTRUTURAIS	75
3.3	INSTABILIDADE DE PÓRTICOS	77
3.4	ESTABILIDADE DE PERFIS DE PAREDES ESBELTAS	79
3.4.1	Flambagem global	80
3.4.2	Flambagem local.....	81
3.4.3	Flambagem distorcional.....	85
4	FERRAMENTAS NUMÉRICAS E PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE	87
4.1	FERRAMENTAS NUMÉRICAS	87
4.2	PROCEDIMENTO PARA MODELAGEM E ANÁLISE DOS PAINÉIS NO PROGRAMA SAP2000	88
4.2.1.	Geometria dos painéis e das frações isoladas	88
4.2.2	Perfis	99
4.2.3	Material	100
4.2.4	Elemento finito	101
4.2.5	Conectividade e graus de liberdade	101
4.2.6	Carregamento vertical	103
4.2.7	Ação do vento	104
4.2.8	Combinações das ações	106
4.2.9	Classificação das estruturas quanto à sensibilidade a deslocamentos laterais	107

4.3	PROCEDIMENTO PARA A VERIFICAÇÃO DOS PERFIS NO PROGRAMA MCALCPERFIS	109
4.4	PROCEDIMENTO PARA A VERIFICAÇÃO DOS ESFORÇOS COMBINADOS.....	110
4.4.1	Verificação de barras submetidas à flexão composta	110
4.4.2	Verificação de barras submetidas ao momento fletor e força cortante combinados.....	111
4.4.3	Verificação de barras submetidas ao enrugamento da alma e momento fletor combinados.....	111
4.5	PROCEDIMENTO PARA A VERIFICAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS MÁXIMOS	112
5	ESTUDO PRELIMINAR.....	113
5.1	CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	115
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	118
6.1	RESULTADOS DA SENSIBILIDADE A DESLOCAMENTOS LATERAIS.....	118
6.2	ESFORÇOS RESISTENTES DETERMINADOS PELO PROGRAMA MCALCPERFIS.....	121
6.3	ESFORÇOS RESISTENTES OBTIDOS MANUALMENTE	123
6.4	ANÁLISE GERAL DOS PAINÉIS COM ELEMENTOS DE 0,95 MM DE ESPESSURA	125
6.4.1	Painéis PC, PC_J, PC_P e PC_PJ.....	126
6.4.2	Painel PC_X.....	127
6.4.3	Painel PC_J_X.....	128
6.4.4	Painel PC_J_V	130
6.4.5	Painel PC_P_X	132
6.4.6	Painel PC_PJ_X	134
6.4.7	Painel PPr	135
6.4.8	Painel PPr_J	137
6.4.9	Painel PPr_P.....	139
6.4.10	Painel PPr_PJ.....	140
6.5	ANÁLISE GERAL DOS PAINÉIS COM ELEMENTOS DE 0,5 MM DE ESPESSURA	142
6.5.1	Painéis PC, PC_J, PC_P, PC_PJ e PC_PJ_X.....	143
6.5.2	Painel PC_X.....	143
6.5.3	Painel PC_J_X e PC_J_V.....	144
6.5.4	Painel PC_P_X	144
6.5.5	Painel PPr	144
6.5.6	Painel PPr_J	145
6.5.7	Painel PPr_P.....	145

6.5.8	Painel PPr_PJ.....	145
6.6	FATORES DE FLAMBAGEM.....	145
6.7	CONFIGURAÇÃO DEFORMADA.....	146
6.8	GRÁFICOS FORÇA X DESLOCAMENTO	151
6.9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	158
7	CONCLUSÕES	161
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	163
	REFERÊNCIAS	164
	ANEXOS.....	170
	ANEXO A - PAINÉIS PC, PC_J, PC_P, PC_PJ E PC_PJ_X COM PERFIS DE 0,5 MILÍMETROS DE ESPESSURA.....	171
	ANEXO B - SOLICITAÇÕES, DESLOCAMENTOS E VERIFICAÇÕES DO PAINEL PC_X COM PERFIS DE 0,5 MILÍMETROS DE ESPESSURA	173
	ANEXO C - SOLICITAÇÕES, DESLOCAMENTOS E VERIFICAÇÕES DO PAINEL PC_J_X COM PERFIS DE 0,5 MILÍMETROS DE ESPESSURA ..	176
	ANEXO D - SOLICITAÇÕES, DESLOCAMENTOS E VERIFICAÇÕES DO PAINEL PC_J_V COM PERFIS DE 0,5 MILÍMETROS DE ESPESSURA ..	180
	ANEXO E - SOLICITAÇÕES, DESLOCAMENTOS E VERIFICAÇÕES DO PAINEL PC_P_X COM PERFIS DE 0,5 MILÍMETROS DE ESPESSURA..	184
	ANEXO F - SOLICITAÇÕES, DESLOCAMENTOS E VERIFICAÇÕES DO PAINEL PPr COM PERFIS DE 0,5 MILÍMETROS DE ESPESSURA	188
	ANEXO G - SOLICITAÇÕES, DESLOCAMENTOS E VERIFICAÇÕES DO PAINEL PPr_J COM PERFIS DE 0,5 MILÍMETROS DE ESPESSURA.....	192
	ANEXO H - SOLICITAÇÕES, DESLOCAMENTOS E VERIFICAÇÕES DO PAINEL PPr_P COM PERFIS DE 0,5 MILÍMETROS DE ESPESSURA	197
	ANEXO I - SOLICITAÇÕES, DESLOCAMENTOS E VERIFICAÇÕES DO PAINEL PPr_PJ COM PERFIS DE 0,5 MILÍMETROS DE ESPESSURA ...	202

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, ante os avanços tecnológicos e o crescimento populacional, tem procurado sistemas mais eficientes de construção com o intuito de ampliar a produtividade, reduzir os desperdícios e atender à demanda (CRASTO, 2005).

Segundo Freitas e Crasto (2006), no Brasil, apesar de a construção civil ser predominantemente artesanal, marcada pela baixa produtividade e principalmente pelo grande desperdício, o mercado tem sinalizado que esta conjuntura deve ser alterada e que o uso de novas tecnologias consiste na melhor forma de permitir a racionalização e a industrialização dos processos.

De acordo com Silva (2003), os construtores têm procurado investir em processos construtivos mais eficientes, que resultem em produtos de melhor qualidade sem aumento expressivo no custo, a fim de se tornarem mais competitivos e de garantirem a sobrevivência de suas empresas no mercado.

O trajeto para modificar o quadro da construção civil brasileira, segundo Dias (2001), passa necessariamente por uma construção industrializada, com mão de obra qualificada, otimização de custos, contenção de desperdícios, padronização, produção seriada e em escala, racionalização e cronogramas rígidos de planejamento e execução.

Todavia, de acordo com Sales (2001), as inovações devem ser economicamente viáveis e compatíveis com os condicionantes nacionais, para que a construção industrializada possa ser um recurso real no panorama brasileiro. Tecnologias que não atendam ou não sejam adaptadas às condições sociais e climáticas do país encontram dificuldades em se estabelecer como uma solução construtiva confiável e eficiente (CRASTO, 2005).

Nesse contexto, a utilização do aço vem aparecendo como uma das alternativas para modificar o cenário do setor da construção civil (FREITAS; CRASTO, 2006). Entretanto, apesar de o Brasil ser um dos maiores produtores mundiais de aço, o uso deste material em estruturas de edificações tem sido pouco significativo quando comparado ao potencial do parque industrial brasileiro (FREITAS; CRASTO, 2006).

O desenvolvimento de produtos siderúrgicos no Brasil expandiu as alternativas de soluções construtivas disponíveis (FREITAS; CRASTO, 2006). Segundo Souza (2005), recentemente em nosso país, uma nova aplicação dos perfis de chapas finas de aço surgiu como alternativa para a estrutura de edificações: é o sistema construtivo industrializado denominado *Light Steel Framing (LSF)*.

Esse sistema construtivo tem uma concepção racional, com fabricação e montagem industrializada e em grande escala, onde os perfis formados a frio em chapa de aço zincado são empregados na composição de paredes estruturais e não-estruturais, vigas de piso, vigas secundárias, estruturas de telhados e servindo como armadura positiva nas lajes mistas com fôrma de aço incorporada (RODRIGUES, 200-).

Contudo, segundo Sales (2001), a construção em aço demanda conhecimento das limitações e potencialidades deste material e de todos os subsistemas que compõem a edificação, incluindo sua compatibilização; requer inclusive, grande atenção ao planejamento e à interação de cada uma das etapas, desde a concepção do projeto até a montagem e finalização do edifício.

Para Pinheiro (2005), a base da popularidade do aço está no fato deste material permitir soluções construtivas arrojadas e estruturalmente eficientes. Todavia, há que se considerar também a afirmação de Rosa (2011), de que a otimização do cálculo estrutural é de especial importância.

As análises a serem realizadas dependem do tipo de comportamento estrutural que se deseja avaliar. Sendo assim, no caso de análises lineares, deve-se considerar a manutenção da geometria inicial e das propriedades físicas específicas do material como referência no equilíbrio do sistema; já para análises não-lineares, deve-se considerar a alteração da geometria ou das propriedades do material ou, ainda, a alteração geométrica e física, resultando, este último caso, em uma dupla não-linearidade (ALBERTINI, 2008).

De acordo com Mendonça e Camotim (2005), o dimensionamento e a verificação da segurança de pórticos de aço podem ser efetuados por meio de métodos rigorosos de análise geometricamente não-lineares em regime elastoplástico, considerando os fenômenos de instabilidade relevantes e incluindo os efeitos das imperfeições iniciais; isto proporciona um

valor muito próximo do valor exato da capacidade resistente dos pórticos associada a determinadas combinações de ações.

Com o advento dos computadores foram desenvolvidos métodos numéricos, dentre eles o Método dos Elementos Finitos (MEF), capazes de transformar o sistema estrutural contínuo em um sistema estrutural discreto, dotado de um número finito de graus de liberdade, possibilitando uma boa resposta no que diz respeito ao comportamento real da estrutura (ALBERTINI, 2008).

Conforme afirmou Albertini (2008), em problemas estáticos, a discretização por meio do MEF dá origem a um sistema de equações algébricas passível de fácil resolução com a utilização de técnicas computacionais adequadas. Todavia, o mesmo autor ainda afirmou que a solução alcançada por este método é uma aproximação da resposta final, sendo que, para refinar tal aproximação, deve-se fazer a escolha certa das condições de contorno, das quantidades e do tipo dos elementos finitos e dispor estes elementos de maneira a simular o mais próximo possível o caso real.

Conforme Rosa (2011), existem programas de análise estrutural que incorporam elementos de barra apropriados para efetuar análises através de métodos rigorosos, porém, deve-se salientar que, apesar de as análises baseadas nestes elementos serem consideradas exatas, elas não incluem todos os efeitos; conduzem sim a resultados com um grau de aproximação muito aceitável, entretanto a contabilização de todos os efeitos ainda é uma tarefa impossível.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo do presente estudo foi analisar a estabilidade de painéis estruturais constituintes de edificações em *LSF* por intermédio de modelagem computacional.

1.1.2 Objetivos específicos

Especificamente, o objetivo foi estudar a estabilidade de painéis de estruturas em *LSF*, buscando o comportamento crítico de instabilidade global, os deslocamentos horizontais e a capacidade resistente de diversas configurações de painéis. O intuito foi realizar modelagens computacionais no programa SAP2000 de geometrias de painéis comumente empregadas e indicadas na literatura, e de formatos diferenciados, buscando encontrar configurações de travamento que pudessem permitir maior estabilidade e economia, e a utilização de perfis mais esbeltos do que os indicados por norma para este tipo de sistema construtivo.

Pretendeu-se, desta forma:

- realizar análise linear estática e de flambagem global de painéis submetidos a carregamentos verticais unitários;
- efetuar análise linear estática, não-linear geométrica e de flambagem global de painéis submetidos a carregamentos verticais e forças horizontais reais;
- verificar a capacidade resistente dos perfis utilizados com o auxílio do programa mCalcPerfis (cuja descrição se encontra no item 4.1) e da NBR 14762 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2010), para análise da melhor configuração de painel, constatando a viabilidade frente aos esforços resistentes de norma das geometrias propostas.

1.2 Justificativa

A presente pesquisa permitiu um maior conhecimento da estabilidade dos painéis de estruturas em *LSF* diante dos esforços solicitantes. Isto proporcionou uma base teórica de avaliação da possibilidade de utilização de configurações de painéis e geometrias de travamento diferentes das que constam na literatura sobre o sistema construtivo em estudo.

Um maior conhecimento do comportamento estrutural dos elementos de aço constituintes do sistema *LSF* poderá proporcionar sua utilização com maior segurança e economia, contribuindo também para minorar o uso de recursos naturais e o desperdício.

1.3 Apresentação

No primeiro capítulo é apresentada uma visão geral do trabalho a ser desenvolvido, descrevendo-se o tema, objetivos gerais e específicos, justificativa e uma apresentação sucinta dos demais capítulos.

No segundo capítulo é exposto o sistema construtivo *LSF*, com sua origem e histórico, definição, vantagens, aplicações, métodos e etapas construtivas.

O terceiro capítulo é dedicado à descrição dos painéis estruturais e não-estruturais utilizados no sistema *LSF*, onde são apresentados os tipos de perfis utilizados, aberturas de vãos, estabilização da estrutura, travamentos e ancoragem dos painéis à fundação e a definição dos tipos de flambagem que podem ocorrer em estruturas que utilizam perfis formados a frio, com elevada relação largura/espessura.

No quarto capítulo é detalhado o material e o método utilizado nas análises. Explica-se, em cada item, os procedimentos e considerações utilizadas em cada uma das etapas do trabalho.

No quinto capítulo são apresentados os resultados das primeiras análises efetuadas e as conclusões dos primeiros resultados do trabalho.

O sexto capítulo apresenta os resultados obtidos nas análises dos painéis com perfis principais de 0,95 mm de espessura e as discussões pertinentes de cada situação específica.

O sétimo capítulo é dedicado às conclusões do trabalho e o oitavo capítulo às sugestões para trabalhos futuros.

Os anexos apresentam as tabelas de esforços solicitantes e verificações dos painéis com perfis de 0,5 mm de espessura.

2 SISTEMA CONSTRUTIVO *LSF*

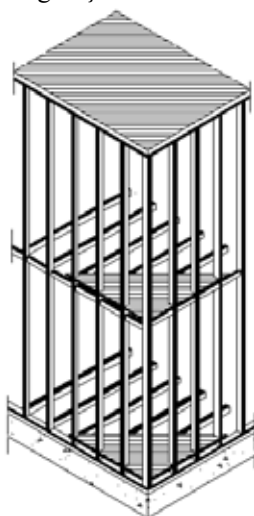
Este capítulo inicia a revisão bibliográfica do trabalho e é dedicado à apresentação do sistema construtivo *LSF*, com sua origem e histórico, definição, vantagens, aplicações, métodos e etapas construtivas.

2.1 Origem e história

A origem do *LSF* remonta ao início do século XIX, com as habitações em madeira construídas pelos colonizadores no território americano (CONSUL STEEL, 2002). Naquela época, a população do país multiplicou-se por dez; sendo assim, foi preciso recorrer à métodos práticos e céleres que permitissem aumentar a produtividade na construção das habitações empregando materiais disponíveis na região, no caso a madeira (FUTURENG, 2003).

Segundo Consul Steel (2002), o método utilizado para a construção das moradias consistia na montagem de uma estrutura formada por peças de madeira serrada de pequena seção transversal, espaçadas em intervalos de 400 mm ou 600 mm, conhecida por *Ballon Framing*, conforme ilustrado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Configuração do sistema *Ballon Framing*



Fonte: Freitas e Crasto (2006)

Esse tipo de sistema construtivo com estrutura em madeira, usualmente designado por *Wood Framing* tornou-se, a partir daquele período, a tipologia residencial mais comum nos Estados Unidos (FREITAS; CRASTO, 2006). Segundo Medeiros (2010), o *Wood Framing* foi capaz de suprir o déficit habitacional norte-americano entre os anos de 1810 e 1860.

No período do término da Segunda Guerra mundial, de acordo com Futureng (2003), o aço era um recurso abundante; além disto, as empresas metalúrgicas haviam obtido experiência no uso deste metal durante a guerra. Considerando também o crescimento da economia americana no período posterior à Segunda Guerra, houve uma evolução nos processos de fabricação de perfis formados a frio (FREITAS; CRASTO, 2006).

Na década de 1990, várias florestas foram vedadas à indústria madeireira, o que levou ao declínio da qualidade da madeira empregue na construção e a grandes flutuações no preço desta matéria-prima. Em 1991, de acordo com Futureng (2003), o preço da madeira utilizada na construção subiu 80% em quatro meses levando muitos construtores a passar a utilizar o aço imediatamente.

De acordo com Frechette (1999 apud CRASTO, 2005), já em 1933, com o grande desenvolvimento da indústria do aço nos Estados Unidos, lançou-se um protótipo de uma residência em *Steel Framing* (Foto 2.1), na Feira Mundial de Chicago, com a utilização de perfis de aço substituindo a estrutura de madeira.

Foto 2.1 - Protótipo de residência em *Steel Framing* na Exposição Mundial de Chicago em 1933



Fonte: Crasto (2005)

A utilização dos perfis de aço em substituição aos de madeira passou a ser vantajosa também devido à maior eficiência e resistência estrutural do aço, o que conferia à estrutura maior capacidade de resistir às catástrofes naturais como terremotos e furacões (FREITAS; CRASTO, 2006). A Foto 2.2 apresenta a notória diferença geométrica entre os perfis estruturais de madeira e os de aço galvanizado.

Foto 2.2 - Perfis estruturais de madeira e aço galvanizado



Fonte: Scharff (1996)

Para Medeiros (2010), foi a passagem do furacão Andrew pela costa leste dos Estados Unidos, em 1992, o fato que impulsionou a utilização do sistema *LSF*; as companhias seguradoras, na época, sobretaxaram as obras em *Wood Framing*, mais suscetíveis à carga de incêndio, o que incentivou o desenvolvimento e a aplicação de estruturas metálicas leves.

No Japão, também foi após a Segunda Guerra mundial que começaram a surgir as primeiras construções em *LSF*; neste período, foi necessário reconstruir quatro milhões de casas destruídas por bombardeios (FREITAS; CRASTO, 2006). O governo japonês restringiu o uso da madeira nas construções autoportantes, tanto para promover construções menos suscetíveis à carga de incêndio, como para proteger os recursos florestais que poderiam ser esgotados (FREITAS; CRASTO, 2006).

Conforme Freitas e Crasto (2006), essas restrições fizeram com que a indústria do aço japonesa encontrasse um nicho de mercado, passando a investir na produção de perfis leves de aço para construção e a substituir os materiais estruturais de madeira; como resultado, o Japão conquistou um mercado e uma indústria altamente desenvolvidos no setor de construções em perfis leves de aço.

No Brasil, segundo Medeiros (2010), o *LSF* começou a ser empregado por intermédio da construtora paulistana Sequência, pioneira na aplicação deste sistema construtivo quando executou um condomínio de casas em São Paulo, no bairro do Brooklin. De acordo com Futureng (2003), o *LSF* tem sido aplicado desde os anos 1990 no Brasil, em edificações destinadas aos padrões de renda média e alta; porém, com a sua propagação e o aumento da escala de produção dos materiais utilizados neste sistema, o custo final da construção diminuiu muito, a ponto de permitir seu emprego em habitações populares.

O desenvolvimento do *LSF* no Brasil segue o mesmo caminho percorrido nas outras regiões do globo: o que se percebe é que são as grandes empresas siderúrgicas e de transformação do aço as responsáveis pelos passos iniciais na sua implantação; isto porque elas estão conscientes do enorme potencial presente no mercado da construção civil (FUTURENG, 2003).

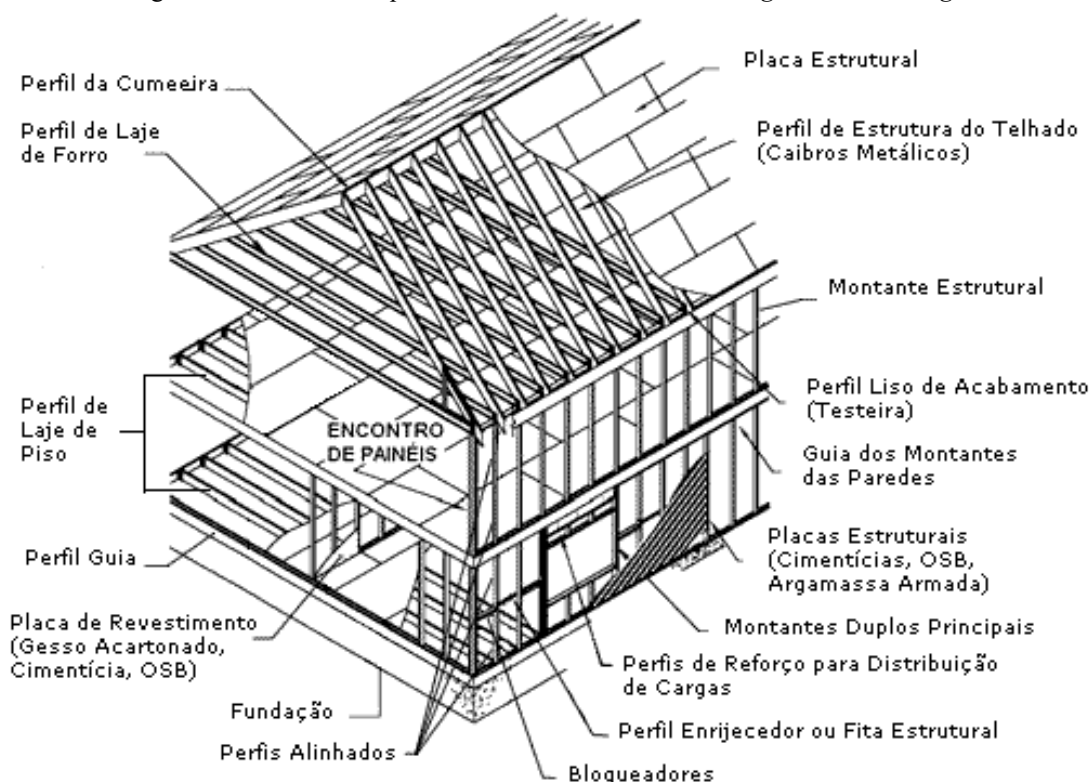
Empresas brasileiras como Usiminas, Cosipa, Açominas, Companhia Siderúrgica Nacional, Gerdau e Acesita utilizam a estratégia de aproveitar a disposição do governo brasileiro em investir em habitação social para ganharem mercado neste segmento com novos produtos (FUTURENG, 2003).

Nos últimos dez anos, entre os principais responsáveis pelos avanços do *LSF* no Brasil está o desenvolvimento dos fornecedores. No início era necessário importar praticamente tudo e as indústrias não se interessavam devido ao pequeno volume ou à falta de crença no uso massificado do sistema; hoje, os componentes têm garantia de qualidade e são todos feitos no Brasil (MEDEIROS, 2010).

2.2 Definição

Segundo Freitas e Crasto (2006), o sistema *LSF*, também conhecido por Sistema Autoportante de Construção a Seco, é um sistema construtivo de concepção racional, onde as estruturas são compostas por perfis formados a frio de aço galvanizado constituindo painéis estruturais e não-estruturais, vigas secundárias e de piso e tesouras de telhado, possibilitando uma construção industrializada, a seco e com rapidez de execução (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Desenho esquemático de uma residência em *Light Steel Framing*



Fonte: Amemiya Construções em Steel Frame LTDA (2009)

De acordo com a definição de Burstrand (1998 apud VIVAN; PALIARI, 2011, p.5), o sistema *LSF* “[...] consiste na utilização, exclusivamente, de materiais “secos”, como, por exemplo, os perfis de aço formados a frio para estrutura, placas de gesso acartonado para vedação e lã de rocha para isolamento térmico.” Segundo a mesma autora, os produtos empregados, além de sustentáveis, possuem grande precisão dimensional por serem produzidos na indústria.

Para Freitas e Crasto (2006, p.12), a expressão *Steel Framing* pode ser definida por um “[...] processo pelo qual compõe-se um esqueleto estrutural em aço formado por diversos elementos individuais ligados entre si, passando estes a funcionar em conjunto para resistir às cargas que solicitam a edificação e dando forma a mesma.”

O sistema *LSF* vai além de uma estrutura; ele é formado por vários componentes e subsistemas, dentre eles o de fundação, de fechamento interno e externo, de isolamento termoacústico e de instalações hidráulicas e elétricas (CONSUL STEEL, 2002).

De acordo com Freitas e Crasto (2006), esse sistema construtivo é denominado por várias publicações de *Light Gauge Steel Frame*, onde *gauge* é uma unidade de medida praticamente em desuso atualmente, que define a espessura das chapas metálicas.

2.3 Vantagens

Para Crasto (2005), as vantagens do uso do sistema *LSF* em edificações se devem às seguintes circunstâncias:

- os elementos construtivos utilizados são produzidos industrialmente, com matéria-prima, processo de fabricação, características técnicas e acabamentos passando por rigoroso controle de qualidade;
- a utilização do aço permite maior precisão dimensional e melhor desempenho estrutural;
- os perfis formados a frio são de simples obtenção, uma vez que são amplamente empregados;
- os elementos utilizados são leves e permitem maior facilidade no transporte, manuseio e montagem das estruturas;
- o processo de galvanização das chapas empregadas na fabricação dos perfis permite maior durabilidade da estrutura;
- o aço é um material 100% reciclável;
- as instalações hidráulicas e elétricas são facilitadas com a utilização de perfis previamente perfurados e painéis de fechamento;
- o desperdício e o uso de recursos naturais são reduzidos devido à possibilidade de construção a seco;
- o sistema permite grande flexibilidade nos projetos arquitetônicos e rapidez de execução das construções.

De acordo com Metálica (1999a), esse sistema proporciona alívio nas fundações, uma vez que as paredes leves e portantes reduzem o peso estrutural e distribuem melhor os esforços. A última referência destacou ainda que com o *LSF* é possível se obter um resultado

termoacústico superior ao alcançado através do sistema convencional devido à combinação de materiais de isolamento e fechamento, como lã de vidro e elementos impermeabilizantes.

Pomaro (2012, p.1) fez a seguinte afirmação:

A genialidade da construção em *Light Steel Frame* encontra-se na matemática precisa, responsável pelo encaixe perfeito dos perfis de aço leve, parafusos, lã mineral ou de pet e placas, que resultam na sustentabilidade da obra com recursos altamente diferenciais como o conforto térmico e acústico.

Para Casa Micura (198-), dentre as vantagens para o consumidor desse sistema construtivo estão: rapidez na entrega, execução modular que possibilita ampliações conforme a necessidade, garantia de durabilidade, alta qualidade, manutenção de baixo custo, imunidade ao ataque de insetos nas estruturas de aço galvanizado dos telhados e possibilidade de se fazer a obra sobre pilotis, evitando grandes aterros em terrenos com desníveis.

Como vantagens para o empreendedor, a Casa Micura (198-) destaca: melhoria de produtividade por meio de um processo construtivo industrializado realizado por profissionais qualificados, redução significativa de mão de obra, rapidez no retorno do capital investido, ausência de desperdícios e erros, facilidade nas atividades de assentamento de esquadrias e redução no custo de materiais de revestimento devido à precisão das medidas e da consequente estrutura perfeitamente nivelada e aprumada.

Com a utilização de componentes pré-fabricados em praticamente todas as etapas da obra, o sistema *LSF* proporciona uma redução significativa das atividades de fluxo; colabora com o aumento da eficiência da produção no canteiro de obras e potencializa os princípios da *Lean Construction*, uma filosofia de gestão que preza pela redução do ciclo de desenvolvimento e produção com o mínimo de desperdícios, contribuindo para o avanço da construção civil (VIVAN; PALIARI, 2011).

2.4 Aplicações

Por apresentar grande flexibilidade nos projetos arquitetônicos, o sistema *LSF* pode ser aplicado em vários tipos de edificações, dentre eles os apresentados a seguir.

2.4.1 Residências unifamiliares e edifícios comerciais e residenciais de vários pavimentos

As Fotos 2.3 a 2.8 apresentam a variedade de estilos e formatos que pode ser obtida com a utilização do sistema *LSF* em residências unifamiliares e edifícios comerciais e residenciais de vários pavimentos.

Foto 2.3 - Residência em Jundiaí – SP



Fonte: Construtora Sequência (2005)

Foto 2.4 - Residência em Cotia - SP



Fonte: Crasto (2005)

Foto 2.5 - Residência em Oxford - Inglaterra



Fonte: Crasto (2005)

Foto 2.6 - Edifício em Dublin - Irlanda



Fonte: Freitas e Crasto (2006)

Foto 2.7 - Edifício na Inglaterra



Fonte: Crasto (2005)

Foto 2.8 - Edifício em Granja – SP



Fonte: Construtora Sequência (2005)

Dentro do contexto residencial, as vantagens do sistema *LSF* também podem ser aproveitadas na construção de moradias em programas habitacionais. Programas governamentais como o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e Minha Casa, Minha Vida estão incentivando o desenvolvimento da construção civil e o acesso ao imobiliário (SANTIAGO; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2010). Por meio do Programa Minha Casa, Minha vida, o governo pretende construir um milhão de moradias, com um investimento de R\$ 34 bilhões (RODOBENS NEGÓCIOS IMOBILIÁRIOS, 2012).

De acordo com Fortes, Araújo e Rodrigues (2010), esse programa gerará competitividade no setor da construção civil, elevará o nível de qualidade das construtoras e fornecedoras e incitará investimentos em alternativas construtivas de menor prazo de entrega, menores impactos ambientais e menores custos, criando oportunidades para pequenas, médias e grandes empresas.

Para Santiago, Rodrigues e Oliveira (2010) é difícil que o déficit habitacional possa ser sanado utilizando-se somente a construção civil tradicional, que apresenta como características uma execução lenta e pouco produtiva devido à escassez de mão de obra e à lentidão inerente dos sistemas artesanais. Neste contexto, os mesmos autores acreditam que devem ser utilizados sistemas construtivos industrializados a fim de prover a demanda de moradias em menor tempo, já que tais sistemas permitem uma produção em larga escala, com o emprego de mão de obra especializada e produtiva.

A utilização dos sistemas em aço na construção habitacional em série se destaca pela mínima produção de resíduos no canteiro de obras, agilidade na montagem, capacidade resistente e durabilidade estrutural, diminuição dos transtornos no entorno da obra e também pela praticidade na fabricação de *kits* metálicos que podem ser padronizados para uma produção em larga escala (FORTES; ARAÚJO; RODRIGUES, 2010).

A fabricação dos painéis do sistema *LSF* pode se dar tanto no canteiro de obras quanto em oficinas montadas próximo a este local; os painéis podem ser facilmente carregados por duas pessoas em qualquer das duas situações, o que faz deste sistema construtivo uma excelente opção para a construção de moradias em programas habitacionais (MEDEIROS, 2010).

Um exemplo da utilização do sistema *LSF* em moradias de programas sociais está na construção de casas de interesse social em Avaré, no interior de São Paulo (Foto 2.9). Um empreendimento da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU) para o Projeto Vila Dignidade, um programa habitacional voltado ao atendimento de idosos por meio da construção de moradias com áreas de convivência social em pequenas vilas, construiu 22 casas de 42 m² ao custo unitário de R\$ 44.300 (FORTES; ARAÚJO; RODRIGUES, 2010).

Foto 2.9 - Unidade da Vila Dignidade - SP



Fonte: Fortes, Araújo e Rodrigues (2010)

Outro exemplo está na construção de um complexo de edifícios nas comunidades Pavão, Pavãozinho e Cantagalo, no Rio de Janeiro (Foto 2.10). A obra foi destinada a 206 famílias que viviam em área de risco e só foi possível graças ao uso da estrutura metálica que

viabilizou os trabalhos sobre um terreno em área de topografia acidentada e ruas estreitas que restringiam o acesso ao canteiro de obras (FORTES; ARAÚJO; RODRIGUES, 2010).

Foto 2.10 - Complexo de edifícios nas comunidades Pavão, Pavãozinho e Cantagalo – RJ



Fonte: Fortes, Araújo e Rodrigues (2010)

2.4.2 Hotéis, clínicas, hospitais e estabelecimentos de ensino

As Fotos 2.11 e 2.12 demonstram que o sistema *LSF* também pode ser empregado em construções de maior porte como hotéis, clínicas, hospitais e estabelecimentos de ensino.

Foto 2.11 - Hotel na Inglaterra



Fonte: Crasto (2005)

Foto 2.12 - Clínica em Belo Horizonte - MG



Fonte: Construtora Sequência (2005)

2.4.3 Unidades Modulares

Nesse caso, utilizam-se módulos individuais prontos de banheiros (Foto 2.13), cozinhas ou outras dependências na construção dos edifícios (Foto 2.14) (FREITAS; CRASTO, 2006).

Foto 2.13 - Módulos de banheiros prontos e posicionados no Hotel Mondial Airport Business – SP



Fonte: Dias (2001)

Foto 2.14 - Edifício na Inglaterra formado por 1425 módulos em *LSF*



Fonte: Crasto (2005)

2.4.4 Retrofit de edificações

Para o caso de *retrofit* de edificações, o sistema *LSF* é utilizado na construção de mezaninos, coberturas (Foto 2.15), substituição de telhados (Foto 2.16) e revestimento de fachadas (Foto 2.17) (FREITAS; CRASTO, 2006).

Foto 2.15 - Telhado de residência em Itu - SP



Fonte: Construtora Sequência (2005)

Foto 2.16 - Reforma de telhados substituindo por tesouras fabricadas com perfis formados a frio



Fonte: Crasto (2005)

Foto 2.17 - Reforma de fachada usando *Light Steel Framing*



Fonte: Freitas e Crasto (2006)

2.5 Métodos construtivos

A seguir estão descritos os métodos construtivos que podem ser empregados no sistema *LSF*, cada qual com suas particularidades.

2.5.1 Método stick

Nesse método (Foto 2.18), cortam-se os perfis metálicos na obra e a partir deles montam-se, no local, os painéis, pilares, contraventamentos, lajes e tesouras de telhados (FREITAS; CRASTO, 2006).

Foto 2.18 - *Steel Framing* montado pelo método *stick*



Fonte: Scharff (1996)

O método *stick* é utilizado em locais onde a pré-fabricação é inviável e possui como vantagens a facilidade de execução das ligações e de transporte dos componentes até o canteiro de obras; o construtor não precisa possuir um local específico para a pré-fabricação do sistema (CRASTO, 2005). Como desvantagens, Crasto (2005) destacou que a montagem é lenta e que é necessária uma mão de obra mais especializada comparada ao método por painéis.

Para o Centro Brasileiro da Construção em Aço - CBCA (2003), é sempre melhor minimizar as necessidades de cortes em campo uma vez que o material pré-cortado, além de permitir redução significativa do tempo de construção no local, apresenta maior vantagem devido ao fato de os fornecedores utilizarem um cortador do tipo guilhotina que dobra o revestimento galvanizado sobre as extremidades, impedindo a corrosão.

2.5.2 Método por painéis

Segundo Freitas e Crasto (2006), nesse método, painéis estruturais ou não-estruturais, tesouras de telhado, vigas e contraventamentos são pré-fabricados fora do canteiro de obra (Foto 2.19) e montados no local através dos materiais convencionais de conexão, como parafusos auto-atarraxantes.

Foto 2.19 - Elementos estruturais como tesouras e painéis pré-fabricados em oficinas e levados à obra para montagem da estrutura



Fonte: Crasto (2005)

No método por painéis, apesar do construtor precisar de um local apropriado como, por exemplo, uma oficina para a confecção dos componentes, também existem vantagens importantes como maior velocidade de montagem, minimização dos trabalhos na obra, maior controle de qualidade e grande precisão dimensional devido às condições mais propícias de montagem proporcionadas pela fábrica (CRASTO, 2005).

2.5.3 Construção modular

No caso das construções modulares, são entregues no local da obra unidades totalmente pré-fabricadas na indústria; os módulos são dotados de todos os acabamentos internos como

revestimentos, bancadas, louças sanitárias, instalações elétricas e hidráulicas e mobiliários fixos (CRASTO, 2005).

A Foto 2.20 apresenta um módulo de banheiro, um exemplo comum desse tipo de construção. Já a Foto 2.21 traz módulos empilhados na forma da construção final.

Foto 2.20 - Módulo de banheiro



Fonte: Crasto (2005)

Foto 2.21- Unidades modulares empilhadas na forma da construção final; o vazio que se vê ao centro formará a circulação de acesso às unidades

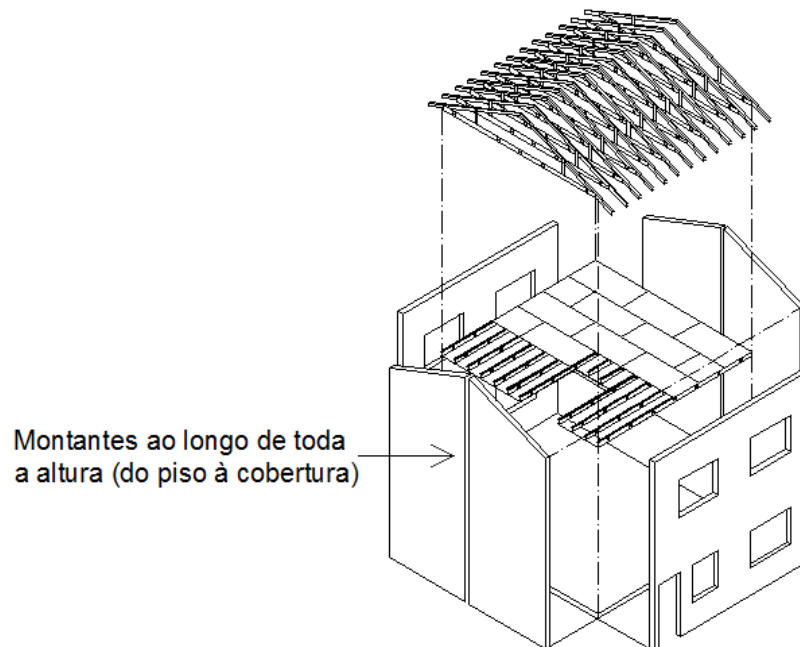


Fonte: Crasto (2005)

2.5.4 Ballon Framing e Platform Framing

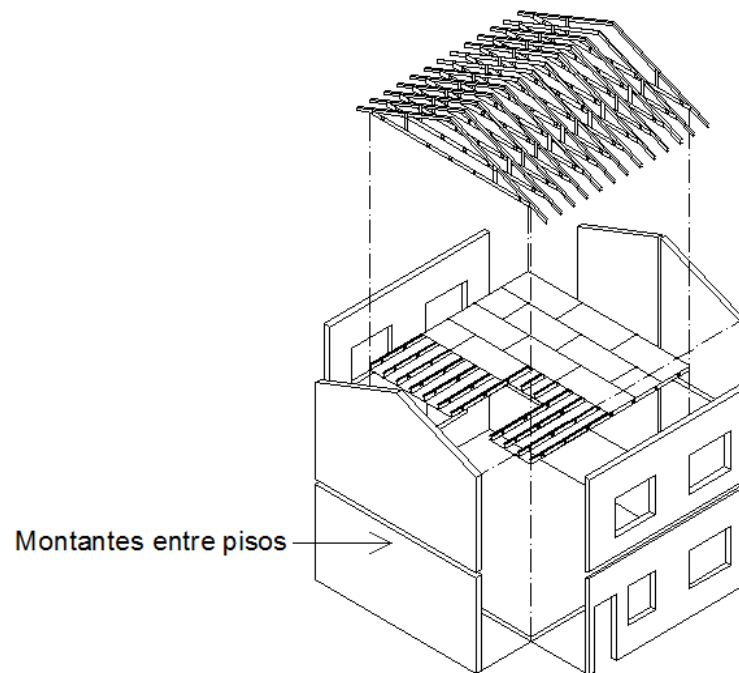
As construções na forma *Ballon* ou *Platform* podem ser montadas a partir das construções do tipo *stick* ou por painéis (FREITAS; CRASTO, 2006). De acordo com a mesma referência, na construção *Ballon Framing* os painéis são grandes, indo além de um pavimento, e a estrutura do piso é fixada nas laterais dos montantes, que vão do piso à cobertura da estrutura (Figura 2.3); já na construção *Platform Framing*, utilizada nas edificações atuais, os painéis são estruturalmente descontínuos, com montantes entre pisos, uma vez que pisos e paredes são construídos em sequência, um pavimento de cada vez (Figura 2.4).

Figura 2.3 - Esquema de construção tipo *Ballon*



Fonte: Crasto (2005)

Figura 2.4 - Esquema de construção tipo *Platform*



Fonte: Crasto (2005)

Na construção do tipo *Platform Framing*, as ações que atuam no piso são transmitidas axialmente aos montantes, diferentemente do carregamento excêntrico que ocorre no *Ballon Framing* e, além disso, a menor dimensão dos montantes nas construções *Platform* permite que não haja limitação no transporte e possibilita uma melhor qualidade de execução e um maior aproveitamento dos recursos (CONSUL STEEL, 2002).

2.6 Etapas de construção

O sistema construtivo *LSF* possui as mesmas etapas de construção dos demais processos construtivos de igual finalidade, porém com suas particularidades. Sendo assim, descreve-se abaixo, sucintamente, cada uma dessas etapas, com suas características e pormenores.

2.6.1 Projetos

No processo construtivo tradicional é comum a falta de informações nos projetos executivos e a falta de compatibilização entre os subsistemas, gerando problemas que, muitas vezes, acabam sendo resolvidos pelo próprio pessoal da obra (CRASTO, 2005).

Quando o sistema construtivo em questão é um sistema racionalizado e industrializado, essas atitudes não podem ser tomadas. Neste caso, Melhado (1994) e Crasto (2005) afirmaram que o projeto deve ser elaborado contemplando, além da visão do produto e da sua função, os vários subsistemas, aspectos de produção e os meios estratégicos, físicos e tecnológicos necessários para a execução do processo de construção, tudo com riqueza de detalhes.

Para Crasto (2005), no sistema construtivo *LSF* os projetos executivos de arquitetura são diferentes daqueles efetuados para construções convencionais, que fornecem apenas informações de forma genérica; para este sistema racionalizado, quanto maior o nível de precisão e detalhamento dos projetos, maior será a qualidade e o desempenho na montagem da obra.

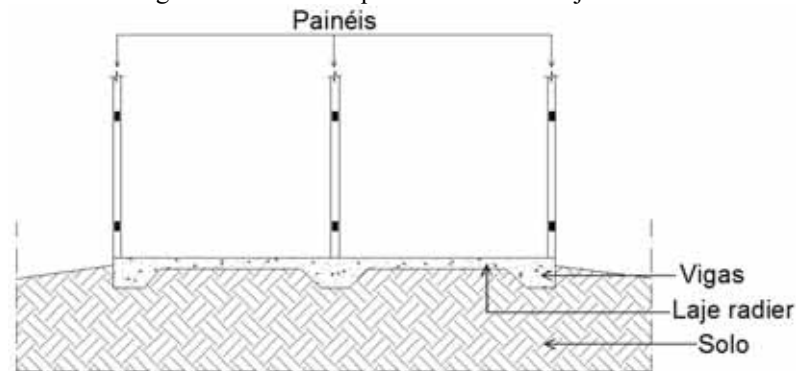
Como a construção utilizando o sistema *LSF* é muito rápida e os materiais são comprados de acordo com um cronograma preciso, é necessário que os projetos arquitetônicos e de instalações estejam prontos antes do início da obra (METÁLICA, 1999b).

2.6.2 Fundações

Segundo Freitas e Crasto (2006), como a estrutura em *LSF* e seus componentes de fechamento são muito leves, este sistema exige menos da fundação se comparado às construções convencionais, porém a fundação deve ser contínua para que suporte os painéis em toda a sua extensão, já que a estrutura distribui as cargas uniformemente ao longo dos painéis estruturais. LP Building Products (200-) informou que o *LSF* pode ser feito com qualquer tipo de fundação, porém, por sua estrutura leve e distribuição uniforme de cargas, os dois tipos mais utilizados são o *radier* e a sapata corrida.

Os painéis metálicos são montados sobre uma fundação executada considerando o isolamento contra umidade e com as alimentações elétricas e hidráulicas já instaladas (CAMPOS, 200-). Freitas e Crasto (2006) afirmaram que sempre que o terreno permite, a laje *radier* é a fundação mais empregada para esse tipo de sistema construtivo (Figura 2.5). O *radier* é utilizado em toda a extensão da edificação, inclusive nas calçadas laterais, áreas para varanda e garagem (METÁLICA, 1999b).

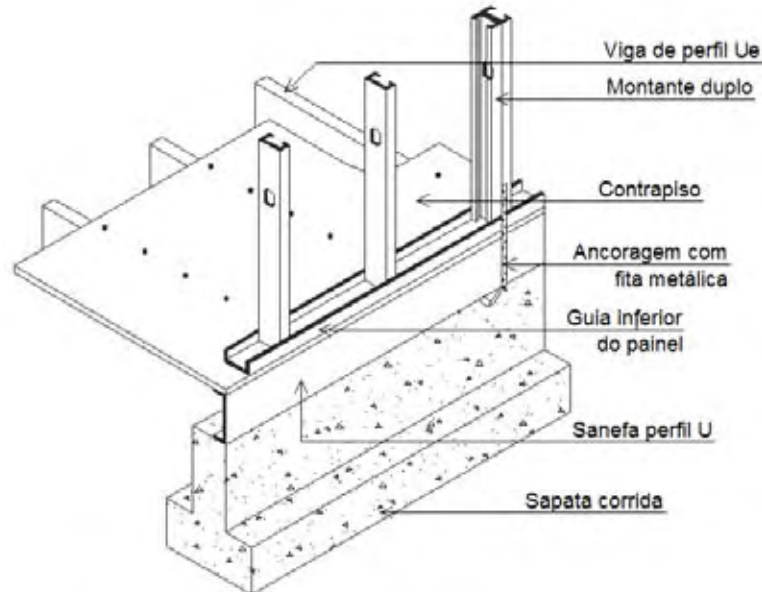
Figura 2.5 - Corte esquemático de uma laje *radier*



Fonte: Crasto (2005)

Também pode ser utilizada como fundação a sapata corrida ou viga baldrame, feita de concreto armado, blocos de concreto ou alvenaria (FREITAS; CRASTO, 2006). Neste caso, o contrapiso do pavimento térreo é realizado em concreto ou com perfis galvanizados apoiados sobre a fundação (Figura 2.6), constituindo uma estrutura que suporta os materiais que formam a superfície do contrapiso (FREITAS; CRASTO, 2006).

Figura 2.6 - Corte detalhado de fundação do tipo sapata corrida



Fonte: Crasto (2005)

Consul Steel (2002) e Crasto (2005) destacaram que o correto funcionamento dos subsistemas da edificação está intimamente ligado à qualidade da fundação, o que prova que uma fundação bem projetada e construída implica em maior precisão de montagem e, conseqüentemente, maior eficiência estrutural.

2.6.3 Estrutura

O conceito estrutural do projeto segundo o sistema *LSF* é dividir o carregamento de forma que cada um dos vários elementos estruturais resista a uma parcela da carga total, o que permite a utilização de perfis mais esbeltos, leves e, portanto, mais fáceis de manipular (BEVILAQUA, 2005).

Os painéis (Foto 2.22) são compostos por elementos verticais denominados montantes, que se encaixam em elementos horizontais chamados de guias (FREITAS; CRASTO, 2006). Como os materiais de fechamento estão enquadrados em módulos de 600 mm, a modulação ou malha de distribuição dos montantes, usualmente de 400 mm ou 600 mm, permite a minimização do desperdício destes materiais complementares (CAMPOS, 200-).

Foto 2.22 - Painéis do sistema construtivo *LSF*



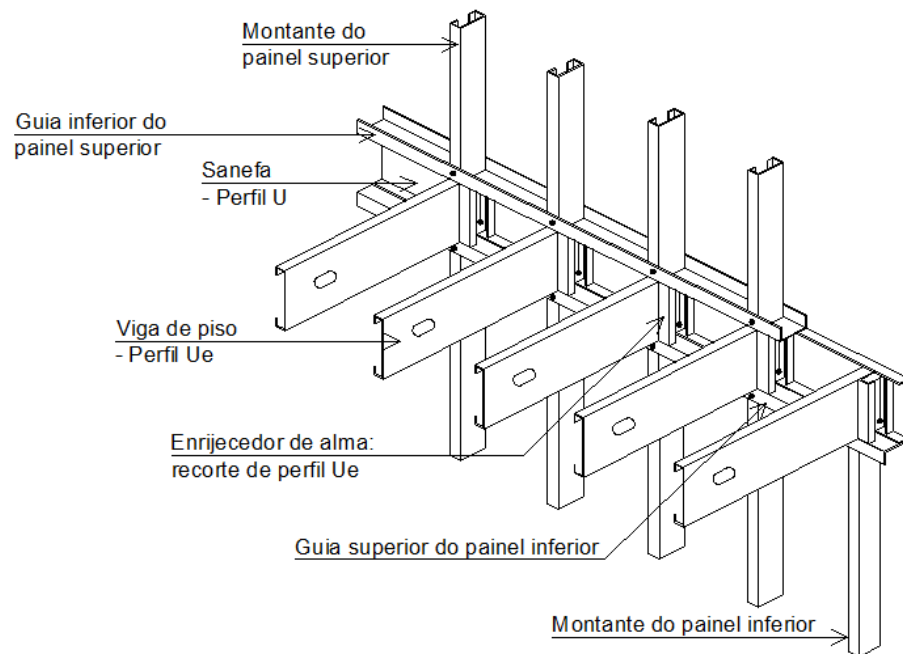
Fonte: Metálica (1999b)

A disposição dos montantes nos painéis, suas características geométricas e de resistência, o sistema de fixação entre as peças com parafusos auto-atarraxantes, os elementos de contraventamento e as placas de fechamento estruturais fazem com que o sistema estrutural como um todo seja capaz de absorver e transmitir as ações verticais e horizontais (CAMPOS, 200-).

2.6.4 Laje e cobertura

Segundo Freitas e Crasto (2006), a estrutura de piso (Figura 2.7) se baseia no mesmo princípio dos painéis, com perfis galvanizados espaçados de acordo com uma modulação determinada pelas cargas a que estão submetidos, sendo que, na maioria dos casos, essa modulação é a mesma para os painéis, lajes e telhados.

Figura 2.7 - Estrutura de piso em *Light Steel Framing*



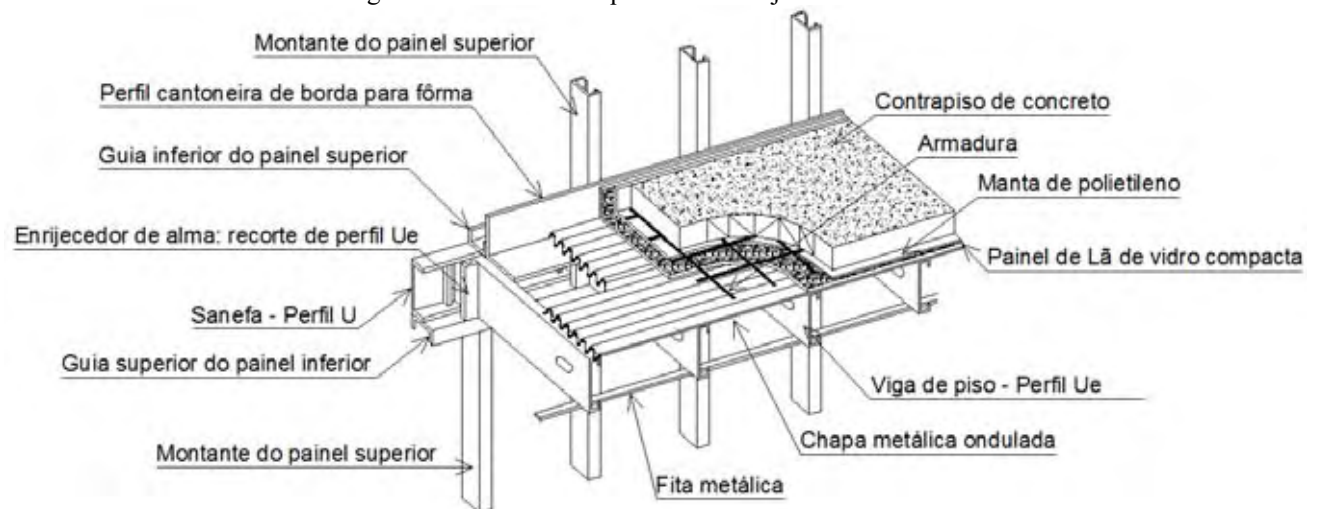
Fonte: Crasto (2005)

No sistema *LSF* a laje pode ser seca ou úmida. A laje seca (Foto 2.23) é composta por painéis de madeira do tipo *Oriented Strand Board (OSB)* ou placas cimentícias apoiadas nas vigas de piso; já a laje úmida (Figura 2.8) é composta por fôrmas de aço galvanizado preenchidas com concreto e tela eletrosoldada (CAMPOS, 200-).

Foto 2.23 - Placas de *OSB* utilizadas para laje seca

Fonte: Crasto (2005)

Figura 2.8 – Desenho esquemático de laje úmida



Fonte: Crasto (2005)

Para a cobertura (Foto 2.24), sobre uma estrutura de tesouras metálicas ou um telhado estruturado com caibros e vigas, podem ser utilizadas telhas do tipo *shingle*, metálicas, de cerâmica ou asfálticas fixadas sobre placas de *OSB* (METÁLICA, 1999b).

Foto 2.24 - Cobertura com placas de *OSB* para fixação de telhas *shingles*



Fonte: Crasto (2005)

2.6.5 Isolamentos

Segundo Freitas e Crasto (2006), no sistema *LSF* os princípios de isolamento termoacústico estão baseados em conceitos atuais de isolamento multicamada onde o espaço entre as placas leves de fechamento é preenchido por material isolante, como lã mineral (Foto 2.25). Para elevar o desempenho do sistema são colocadas mais camadas de placas ou aumenta-se a espessura da lã mineral (FREITAS; CRASTO, 2006).

Foto 2.25 - Instalação de lã de vidro em painel



Fonte: Freitas e Crasto (2006)

2.6.6 Instalações elétricas e hidráulicas

No sistema construtivo em questão, as instalações elétricas, hidráulicas e sanitárias são as mesmas utilizadas nas edificações convencionais, apresentando o mesmo desempenho (DOMARASCKI; FAGIANI, 2009). Porém, segundo Terni, Santiago e Pianheri (2008), algumas particularidades devem ser levadas em conta:

- empregar espaçadores plásticos no caso da utilização de tubulações de cobre, isolando-as do aço galvanizado dos perfis e impedindo a formação de corrosão galvânica;
- parafusar os registros hidráulicos a peças auxiliares horizontais, garantindo melhor firmeza para sua operação.

Apesar da possibilidade de utilização de materiais convencionais, há disponibilidade no mercado de materiais elétricos e hidráulicos especialmente projetados para o sistema construtivo *LSF* como, por exemplo, caixas elétricas que se fixam diretamente nas placas de gesso acartonado (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

A passagem das tubulações e conduítes elétricos através dos montantes e vigas é feita através de furos nos perfis, efetuados de acordo com a normalização existente; entretanto, no caso de tubulações sanitárias, nas quais os diâmetros são normalmente mais elevados, é aconselhável que o seu caminhamento seja feito sob a laje, do modo mais curto possível e conduzido para as paredes (TERNI; SANTIAGO; PIANHERI, 2008).

Conforme afirmaram Terni, Santiago e Pianheri (2008), no sistema *LSF* as paredes funcionam como *shafts*, o que permite fácil visualização das interferências entre os sistemas elétrico e hidráulico durante a execução das instalações e facilita o trabalho e a manutenção destes subsistemas (Foto 2.26).

Foto 2.26 - Facilidade de visualização de interferências entre instalações elétricas e hidráulicas



Fonte: Terni, Santiago e Pianheri (2008)

2.6.7 Fechamentos e acabamentos

No Brasil, os produtos mais utilizados para o fechamento de edificações estruturadas em aço são o *OSB*, a placa cimentícia e o gesso acartonado (FREITAS; CRASTO, 2006). Também são utilizados painéis de aço no caso de fechamento de galpões, centros comerciais, industriais e de ensino (FREITAS; CRASTO, 2006).

O *OSB* (Foto 2.27) possui propriedades de resistência e estabilidade que possibilitam seu uso como diafragma rígido quando é aplicado aos painéis estruturais e às lajes de piso, porém, independente do acabamento final, estas placas requerem proteção contra umidade através de mantas ou membranas de polietileno de alta densidade, uma vez que este material é mais empregado como fechamento externo, sujeito às intempéries (FREITAS; CRASTO, 2006).

Foto 2.27 - Fachada com fechamento externo em OSB



Fonte: Crasto (2005)

As placas cimentícias (Foto 2.28) são confeccionadas pela mistura de cimento *portland*, quartzo e fibras de celulose, e submetidas ao processo de autoclavagem, que reduz o coeficiente de dilatação e absorção de umidade e possibilita a obtenção de um produto com boa estabilidade dimensional (BEVILAQUA, 2005). Estas placas podem ser usadas como fechamento externo, interno ou em pisos, porém, neste último caso, é necessário um substrato de apoio que proporcione esforços resistentes à flexão (FREITAS; CRASTO, 2006).

Foto 2.28 - Fechamento com placas cimentícias



Fonte: Loturco (2003)

As placas de gesso acartonado (Foto 2.29), mais leves, constituem o fechamento das divisórias internas e da face interna dos painéis (FREITAS; CRASTO, 2006). Existem placas normais, hidrófugas e resistentes ao fogo (BEVILAQUA, 2005).

Foto 2.29 - Fechamento com placas de gesso acartonado



Fonte: Clique Arquitetura (2011)

Para o acabamento das fachadas pode ser utilizado tijolo à vista, *siding* vinílico (Foto 2.30), argamassa ou painel cimentício de várias cores e texturas; já para o acabamento das paredes internas, as placas podem receber tinta acrílica, papel de parede, peças de granito ou mármore, azulejos ou revestimentos cerâmicos (METÁLICA, 1999b).

Foto 2.30 - Fechamento com *siding* vinílico



Fonte: Crasto (2005)

2.6.8 Ligações

Segundo Freitas (2004), o emprego de parafusos auto-atarraxantes têm aumentado de forma significativa, principalmente como dispositivo de ligação entre componentes leves. Estes parafusos não utilizam porcas para a realização da ligação por eles constituída.

De acordo com Freitas e Crasto (2006), os parafusos auto-atarraxantes e auto-perfurantes representam o tipo de material de ligação mais utilizado em construções no sistema *LSF* no Brasil. No mercado existe uma série de tipos destes elementos para cada ligação específica (metal/metal e chapa/metal), permitindo fixações tanto no canteiro de obra como na pré-fabricação dos componentes utilizados (FREITAS; CRASTO, 2006).

Entre os vários tipos de parafusos auto-atarraxantes, Davis (1991 apud FREITAS, 2004) classificou-os em dois grupos distintos, em função da necessidade ou não de um pré-furo, onde cada grupo se subdivide em subgrupos, dependendo dos tipos de rosca, ponta, cabeça e arruela.

Os parafusos chamados de auto-brocantes possuem em sua extremidade uma ponta de broca e produzem seu próprio furo, formam sua própria rosca e realizam a fixação em uma simples e única operação (FREITAS, 2004). A Foto 2.31 apresenta este processo em uma ligação metálica.

Foto 2.31 - Exemplo de fixação com parafuso auto-atarraxante e auto-brocante



Fonte: Freitas (2004)

Os parafusos empregados no sistema construtivo *LSF* são de aço carbono com tratamento cementado e temperado; são também recobertos com uma proteção zinco eletrolítica para evitar a corrosão e sustentar características similares às estruturas galvanizadas (FREITAS; CRASTO, 2006).

3 PAINÉIS DO SISTEMA *LSF*

Este capítulo é dedicado à descrição dos painéis estruturais e não-estruturais utilizados no sistema *LSF*. Apresenta-se os tipos de perfis utilizados, aberturas de vãos, estabilização da estrutura, travamentos e ancoragem dos painéis à fundação e a definição dos tipos de instabilidade que podem ocorrer em estruturas que utilizam perfis formados a frio com elevada relação largura/espessura.

3.1 Painéis estruturais

Os painéis, quando são estruturais ou autoportantes, suportam as cargas da edificação, podendo ser internos ou externos (FREITAS; CRASTO, 2006). Em uma comparação do sistema *LSF* com o sistema de alvenaria, os painéis fazem o papel dos pilares e das vigas (LACERDA; SÁ, 1999).

Nos painéis estruturais, a disposição dos montantes na estrutura, suas características geométricas, capacidade resistente e os sistemas de fixação devem ser capazes de absorver e transmitir tanto as ações horizontais perpendiculares ao plano dos painéis quanto as cargas verticais axiais (BEVILAQUA, 2005).

De acordo com Rodrigues (2006), a separação entre os montantes está diretamente relacionada com a solicitação que cada um dos perfis irá ser submetido, sendo que, quanto maior a separação, maior a carga a ser resistida.

3.1.1 Perfis componentes

Segundo a NBR 15253 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT, 2005), os perfis formados a frio utilizados no sistema *LSF* devem possuir resistência ao escoamento mínima de 230 MPa e serem fabricados a partir de bobinas de aço revestidas com zinco ou liga alumínio-zinco pelo processo contínuo de imersão a quente ou eletrodeposição, com revestimento de acordo com o Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Revestimento mínimo

Tipo de revestimento	Perfis estruturais		Perfis não-estruturais	
	Massa mínima do revestimento ¹⁾ (g/m ²)	Designação do revestimento conforme normas	Massa mínima do revestimento (*) (g/m ²)	Designação do revestimento conforme normas
Zincado por imersão a quente	180	Z180 (NBR 7008:2003)	100	Z100 (NBR 7008:2003)
Zincado por eletrodeposição	180	90/90 (NBR 1464:2003)	100	50/50 (NBR 1464:2003)
Alumínio-zinco por imersão a quente	150	AZ150 (NM 86:1996)	100	AZ100 (NM 86:1996)

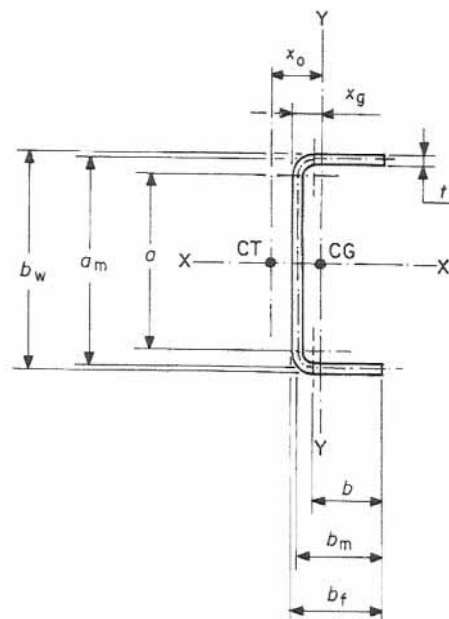
¹⁾ A massa mínima refere-se ao total nas duas faces (média do ensaio triplo) e sua determinação deve ser conforme a NM 278.

Fonte: ABNT (2005)

A NBR 15253 (ABNT, 2005) também informou que o dimensionamento dos perfis estruturais deve ser feito com a utilização da espessura da chapa de aço sem considerar o revestimento, e que as bobinas de matéria-prima de fabricação dos perfis para os painéis devem ter espessura nominal (com revestimento) mínima de 0,8 mm, exceto em elementos sem função estrutural, e máxima de 3,0 mm.

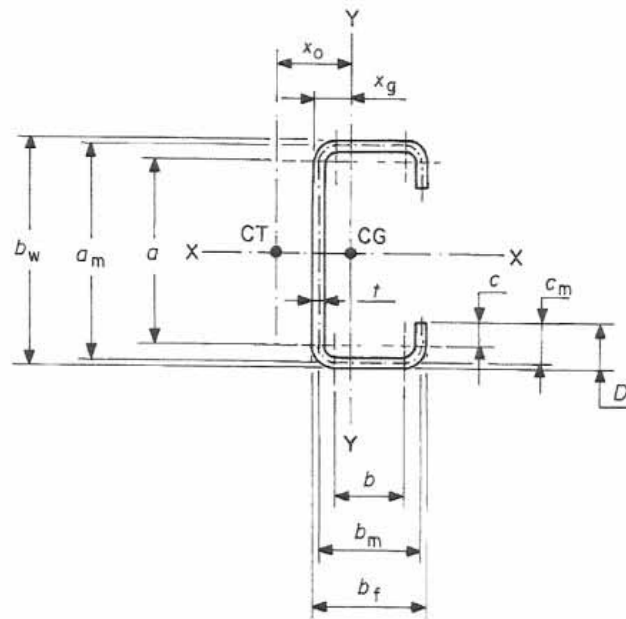
Os principais perfis componentes dos painéis são os de seção transversal do tipo U simples (Figura 3.1), denominados guias, ou seja, elementos horizontais situados nos limites superior e inferior do painel, e os elementos verticais de seção transversal do tipo U enrijecido (Figura 3.2), denominados montantes, que se encaixam nas guias (FREITAS; CRASTO, 2006).

Figura 3.1 - Perfil U simples



Fonte: ABNT (2005)

Figura 3.2 - Perfil U enrijecido



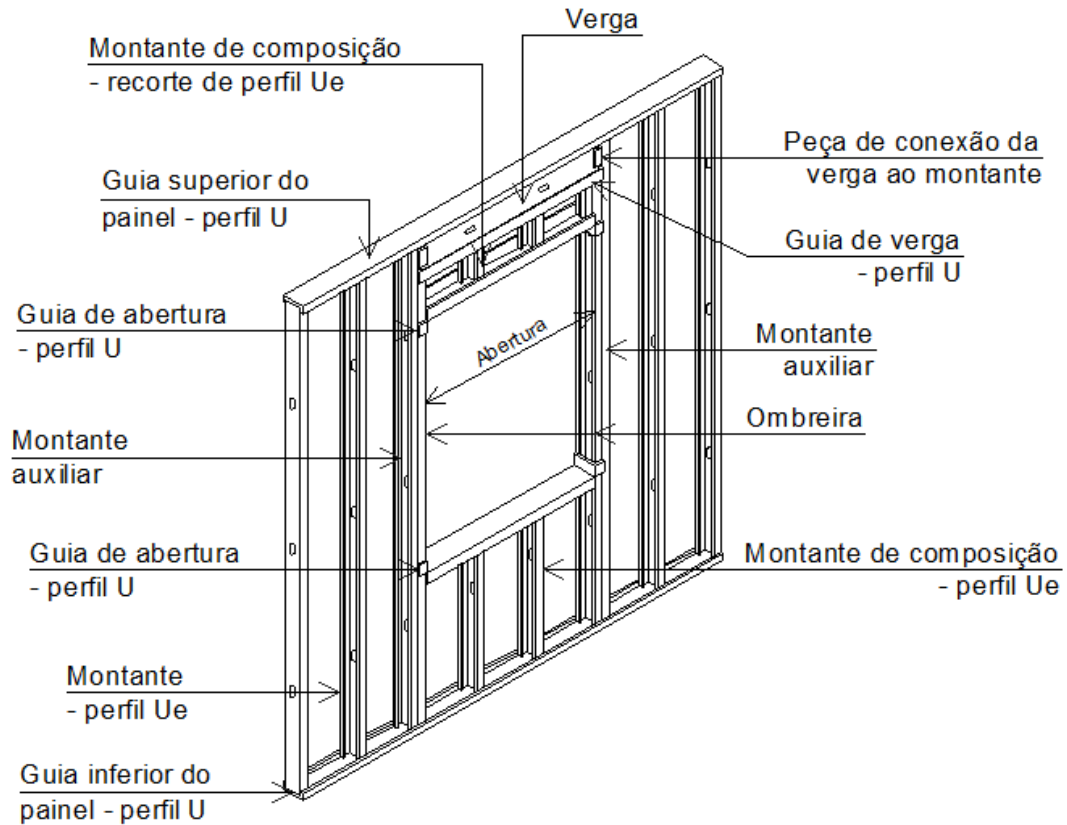
Fonte: ABNT (2005)

De acordo com Rodrigues (2006) e Freitas e Crasto (2006), os principais elementos constituintes dos painéis e suas definições são os seguintes (Figura 3.3 e 3.4):

- Montante: perfil utilizado na vertical, responsável pela capacidade resistente da estrutura e pela transmissão dos esforços;
- Guia: perfil empregado na base e no topo dos painéis de parede. Não devem transmitir nem resistir a esforços;
- Bloqueador: perfil utilizado na horizontal para travamento lateral dos montantes;
- Fita: fita de aço galvanizado utilizada em combinação com os bloqueadores, compondo o sistema de travamento lateral dos montantes, ou também na diagonal, como elemento de contraventamento;
- Verga: perfil utilizado na horizontal, sobre as aberturas de portas e janelas, para apoiar a estrutura do entrepiso ou do painel do andar superior;
- Ombreira: perfil empregado na vertical para apoio da verga ou de painel de parede sobre a abertura;
- Montante auxiliar: perfil utilizado nos limites laterais de aberturas ou perfil fixado à ombreira;

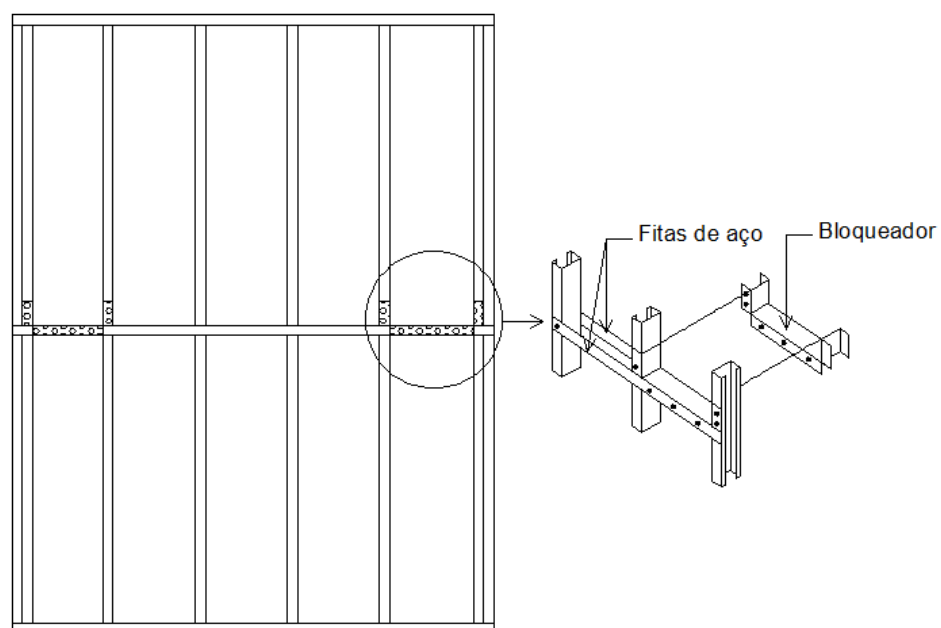
- Montante de composição: perfil utilizado na vertical, sobre e abaixo das aberturas.

Figura 3.3 - Desenho esquemático de painel estrutural com abertura



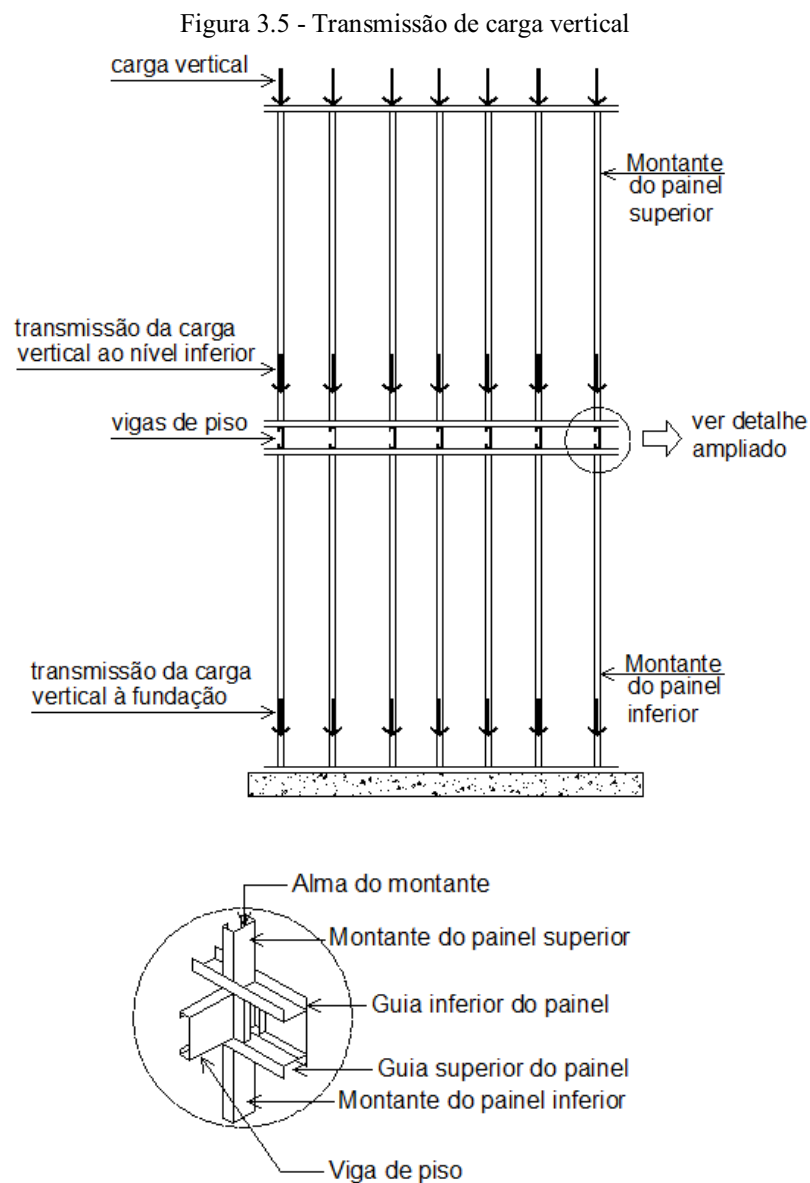
Fonte: Freitas e Crasto (2006)

Figura 3.4 - Componentes de um painel estrutural



Fonte: Rodrigues (2006)

Segundo Freitas e Crasto (2006), os montantes dos painéis transferem as cargas verticais por contato direto através de sua alma, sendo que suas seções devem estar em coincidência de um nível a outro da estrutura, respeitando o conceito de estrutura alinhada utilizado no sistema construtivo *LSF* (Figura 3.5). Conforme Elhajj e Bielat (2000), as cargas dos painéis devem ser descarregadas diretamente nas fundações, em outros painéis estruturais ou sobre uma viga principal.

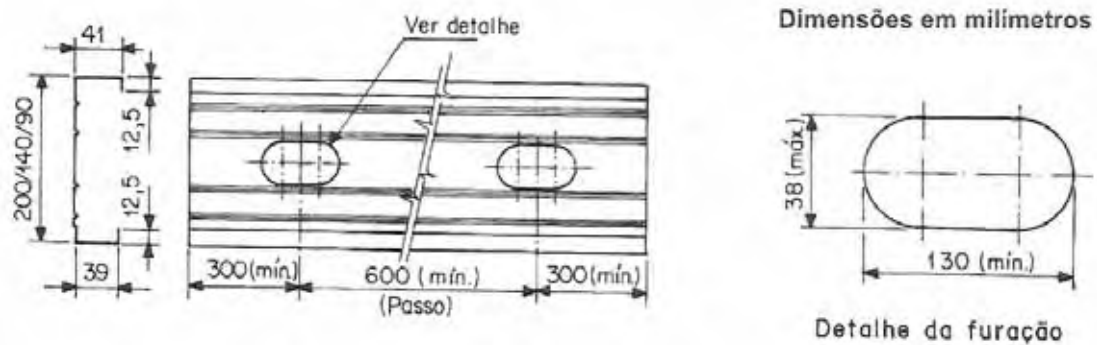


Fonte: Freitas e Crasto (2006)

No que diz respeito às aberturas nos perfis, a NBR 15253 (ABNT, 2005) permite que se façam estas aberturas sem a utilização de reforços desde que sejam devidamente consideradas

no dimensionamento, que o maior eixo da furação coincida com o eixo longitudinal central da alma do perfil e que a geometria dos furos esteja de acordo com a Figura 3.6.

Figura 3.6 - Aberturas nos perfis



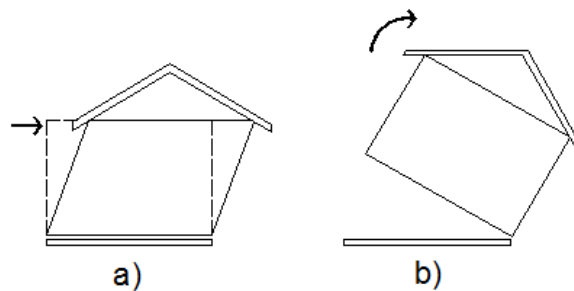
Fonte: ABNT (2005)

3.1.2 Estabilização e travamentos

Segundo Rodrigues (2006), uma vez que os montantes não são capazes por si só de absorverem esforços horizontais no plano dos painéis, ocasionados principalmente pela ação de vento e sismos, é necessário fornecer à estrutura elementos adicionais adequados para resistir e transmitir efetivamente tais esforços.

Essas ações horizontais podem ocasionar um movimento de distorção do edifício (Figura 3.7-a), deslocando-o lateralmente, ou um movimento de tombamento com rotação (Figura 3.7-b), elevando a estrutura e rotacionando-a por ocorrência de ventos com direções assimétricas (BEVILAQUA, 2005).

Figura 3.7 - Efeitos da carga de vento na estrutura: a) distorção e b) tombamento



Fonte: Bevilaqua (2005)

Além de uma ancoragem estrutural adequada à fundação, para que o painel resista aos esforços horizontais é necessário enrijecê-lo em seu plano a partir do uso de contraventamentos em diagonais metálicas ou de placas que atuem como diafragma rígido (FREITAS; CRASTO, 2006).

Para que uma estrutura seja considerada contraventada, além de existir um sistema de contraventamento constituído por diagonais ou paredes de cisalhamento, é necessário que este sistema tenha elevada rigidez em relação à estrutura (DÓRIA, 2007). Segundo Ballio (1983), um sistema de contraventamento suficiente para conter um pórtico deve aumentar em pelo menos cinco vezes a rigidez da estrutura.

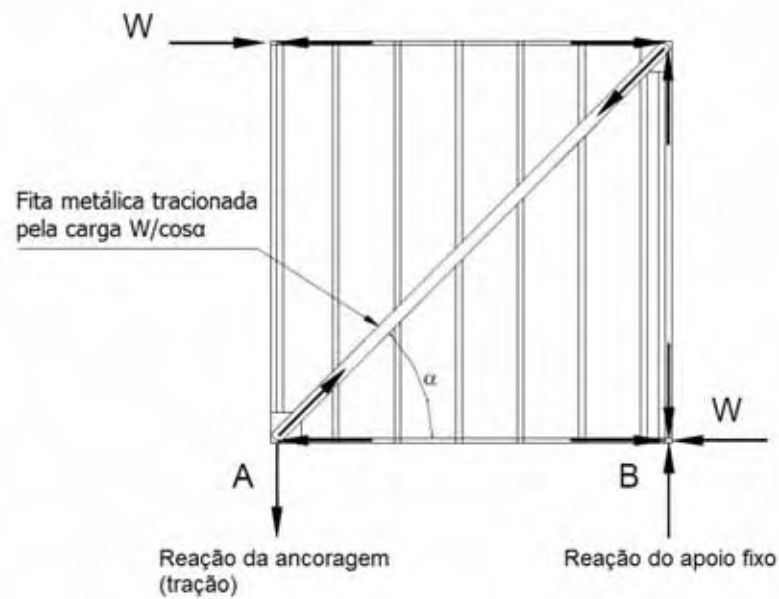
De acordo com Rodrigues (2006), a estabilidade global das edificações projetadas segundo o sistema *LSF* é geralmente proporcionada pelo contraventamento em fitas de aço galvanizado dispostas em diagonal na forma de “X”, “K”, “V” ou “^” nos painéis estruturais, tendo a função de resistir apenas a esforços normais de tração.

Quando se trata de ações verticais, Rodrigues (2006) informou que a estabilidade é garantida pela transferência das ações dos pisos às vigas de entrepiso, e destas aos montantes e às fundações, desde que se tenha feito um correto dimensionamento e montagem destes elementos.

3.1.2.1 Contraventamento por fitas metálicas

Conforme Bevilaqua (2005), um painel, quando submetido a uma força lateral W como a da Figura 3.8, tende a deslocar-se de forma horizontal e rotacionar em torno do ponto B.

Figura 3.8 - Esforços devidos a aforças laterais



Fonte: Consul Steel (2002)

A utilização de uma ancoragem suficiente no ponto A e fitas metálicas na diagonal evitam os efeitos de rotação, deslocamentos e a deformação do painel em seu plano (BEVILAQUA, 2005).

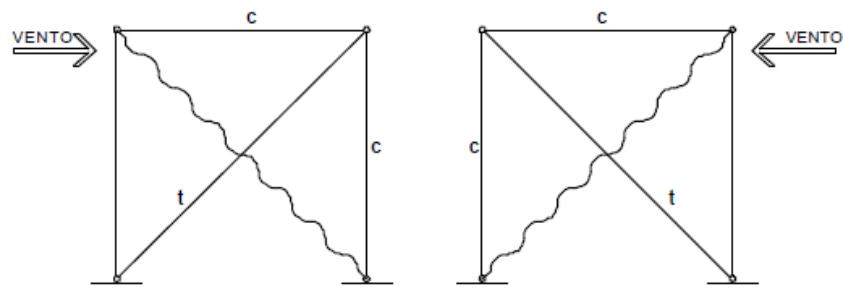
De acordo com Freitas e Crasto (2006), o método mais comum de contraventamento é em forma de “X” (Foto 3.1), a partir de fitas em aço galvanizado fixadas nas faces dos painéis solicitadas ora à tração, ora à compressão, de acordo com o sentido da força horizontal aplicada (Figura 3.9).

Foto 3.1 - Painel com contraventamento em “X”



Fonte: Crasto (2005)

Figura 3.9 - Solicitação das diagonais de contraventamento

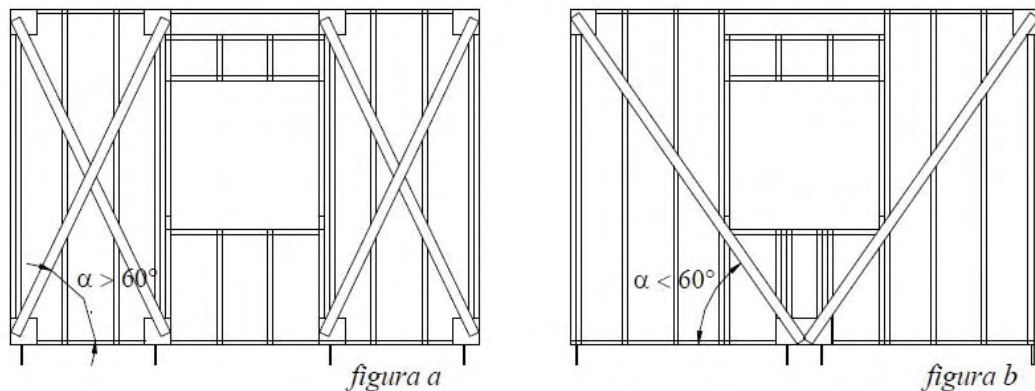


Fonte: Dias (1997)

O maior desempenho desse tipo de contraventamento é alcançado quando o ângulo entre a guia inferior do painel e a fita de aço está compreendido entre 30° e 60° (CONSUL STEEL, 2002). Isto porque, na medida em que o ângulo se aproxima de zero, tanto a tração na fita quanto a reação de ancoragem diminuem, fazendo com que a fita tenha uma menor atuação no contraventamento da estrutura (RODRIGUES, 2006). Para ângulos grandes, são necessárias fitas de seções maiores, já que a tração e a reação de ancoragem aumentam com o aumento do ângulo (CONSUL STEEL, 2002).

O ideal é que sejam previstos painéis cegos para a colocação de contraventamentos (FREITAS; CRASTO, 2006). Porém, quando se coloca este tipo de elemento em painéis com aberturas, para não serem utilizadas diagonais com inclinações muito acentuadas (Figura 3.10-a) e, conseqüentemente, com seções maiores, poderá optar-se por uma disposição diferente, como mostra a Figura 3.10-b.

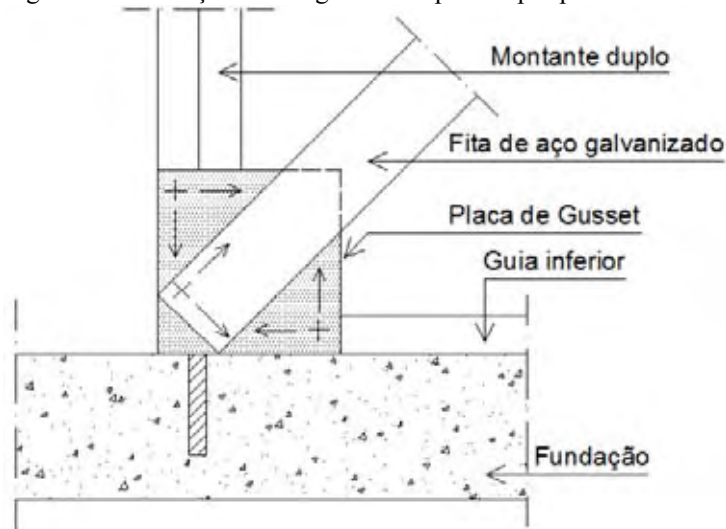
Figura 3.10 - Diferentes disposições de diagonais de contraventamento



Fonte: Consul Steel (2002)

Conforme informação de Freitas e Crasto (2006), a diagonal é fixada ao painel através de uma placa de aço galvanizado aparafusada em montantes duplos, onde também deve estar a ancoragem do painel para que haja a absorção dos esforços transmitidos pelo contraventamento (Figura 3.11).

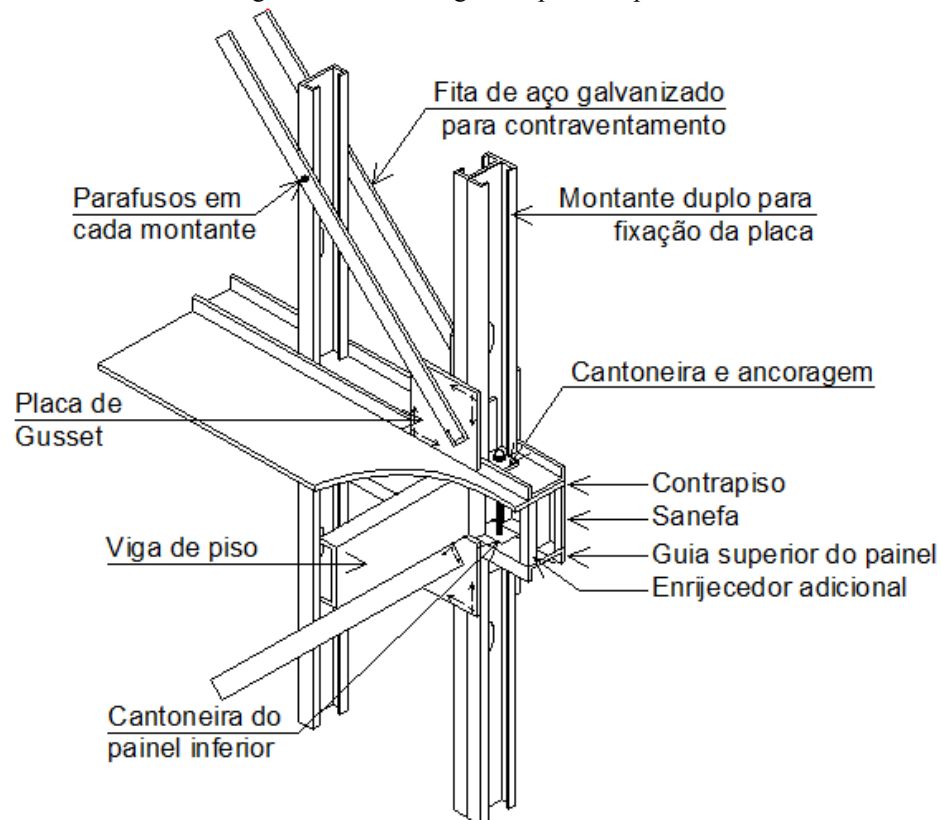
Figura 3.11 - Fixação das diagonais nos painéis por placa de *Gusset*



Fonte: Freitas e Crasto (2006)

Quando se trata de painéis de andares superiores ao térreo, a ancoragem também se dá nos montantes que recebem a diagonal e os esforços são transmitidos para o painel que se encontra imediatamente abaixo (Figura 3.12), onde deve haver os devidos contraventamentos e ancoragens (FREITAS; CRASTO, 2006).

Figura 3.12 - Ancoragem de painel superior



Fonte: Freitas e Crasto (2006)

De acordo com Freitas e Crasto (2006), o contraventamento deve ser colocado nas duas faces dos painéis, a fim de que se evite o efeito de rotação que pode ocorrer nos montantes duplos, onde são fixadas as diagonais.

No momento da colocação das diagonais de contraventamento, é muito importante certificar-se de que elas estejam tensionadas, isto porque, caso não estejam, o painel se deformará até que as fitas comecem a ser tensionadas e iniciem seu trabalho (CONSUL STEEL, 2002).

Segundo Freitas e Crasto (2006), quando um painel possui muitas aberturas e o contraventamento em “X” não é possível de ser realizado, uma opção é o contraventamento em “K” (Foto 3.2). Ele forma uma treliça vertical e funciona à tração e à compressão, porém apresenta dificuldades em relação às conexões, possíveis excentricidades e a necessidade de montantes adjacentes mais resistentes nos painéis a sotavento (DAVIES, 1999 apud CRASTO, 2005).

Foto 3.2 - Contraventamento em “K”



Fonte: Crasto (2005)

3.1.2.2 Contraventamento por diafragma rígido

Uma placa pode ser considerada um diafragma rígido quando é colocada no exterior de um painel e atribuí à estrutura de aço a capacidade resistente necessária para absorver as ações laterais que atuam sobre ela e que esta é incapaz de absorver por si mesma (CONSUL STEEL, 2002).

De acordo com Crandell (2004 apud BEVILAQUA, 2005), as paredes tradicionais *Shear Wall* que são utilizadas no sistema *LSF* impedem a rotação dos painéis e permitem a transmissão dos esforços de tração e compressão às suas bases; elas são formadas por painéis estruturais compostos de perfis metálicos e fechamento em placas de *OSB* que são conectadas por parafusos dimensionados para resistir ao esforço cortante atuante (Foto 3.3).

Foto 3.3 - Pannel em *LSF* com fechamento em *OSB*



Fonte: Bevilaqua (2005)

Não é somente a placa utilizada que define o desempenho estrutural dos painéis diafragma; a capacidade resistente dos perfis que formam o painel, o tipo e a composição dos chumbadores, a relação altura/largura da parede e o tipo, medida e separação dos parafusos de fixação das placas nos perfis são outros elementos e características das quais depende o comportamento estrutural deste tipo de painel (BEVILAQUA, 2005).

Segundo Freitas e Crasto (2006), para que placas estruturais de *OSB* possam funcionar como diafragmas rígidos devem ser tomados alguns cuidados na instalação relativos à união de placas consecutivas em coincidência com vértices de aberturas, tipo e quantidade de parafusos de conexão, encontro de vértices de várias placas, encontro de painéis e cantos de paredes.

Bevilaqua (2005) concluiu em sua pesquisa que o uso de placas de *OSB* como diafragmas rígidos horizontais e verticais é de grande valia, uma vez que, ao eliminar as diagonais metálicas no mesmo lado das placas, proporciona maior simplicidade na execução dos painéis de piso e parede; além disso, viabiliza a utilização do sistema *LSF* em prédios com maiores altitudes, onde apenas os contraventamentos em chapas metálicas não são suficientes para estabilizar lateralmente a estrutura.

Conforme informaram Freitas e Crasto (2006), é muito importante fazer a distinção entre placa de fechamento externo e placa estrutural que atua como diafragma rígido, já que nem sempre ambas podem cumprir a mesma função. As placas estruturais utilizadas na face externa dos painéis geralmente podem funcionar como fechamento externo, porém nem todas

as placas de fechamento possuem as características necessárias para atuarem como diafragma rígido e resistir às ações horizontais (CONSUL STEEL, 2002). Desta maneira, segundo Freitas e Crasto (2006), é necessário o uso de contraventamento com diagonais metálicas nos casos em que não são utilizadas placas de fechamento com função estrutural.

3.1.2.3 Travamento horizontal

Nos montantes, constituídos de perfis U enrijecidos, o centro de gravidade da seção transversal não é coincidente com o centro de torção, o que pode causar flambagem por flexo-torção destes elementos; sendo assim, é necessário a utilização de componentes capazes de evitar tal deformação (CONSUL STEEL, 2002).

Segundo Elhajj e Bielat (2000), os montantes devem ser travados lateralmente a partir de fitas de aço galvanizado e bloqueadores em perfis U enrijecidos ou U simples (Foto 3.4), diminuindo os comprimentos de flambagem em relação ao eixo de menor inércia e de flambagem por flexo-torção.

Foto 3.4 - Bloqueador e fita fixados ao painel para travamento horizontal

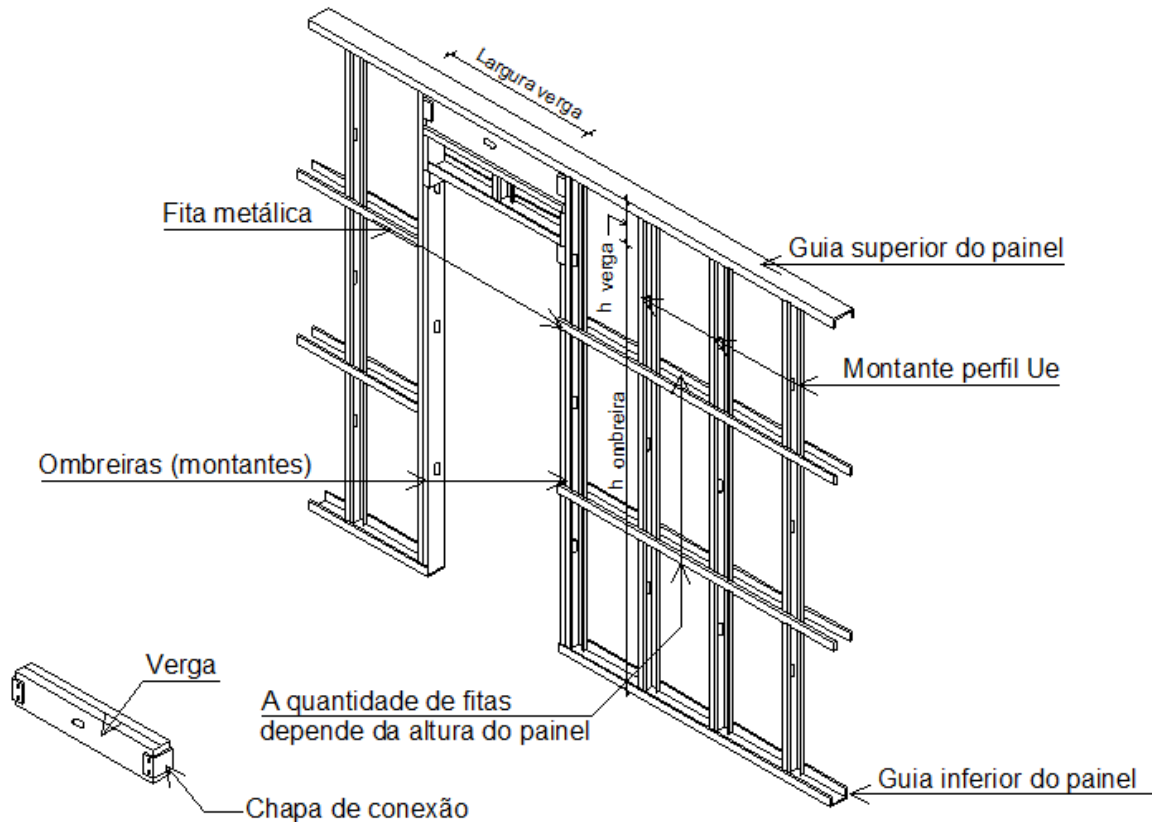


Fonte: Crasto (2005)

De acordo com Pereira Junior (2004), a fita metálica, além de diminuir o comprimento de flambagem dos montantes, evita a rotação dos mesmos quando submetidos aos carregamentos normais de compressão. Elas devem ser de aço galvanizado, ter pelo menos 38 mm de largura por 0,84 mm de espessura e estarem localizadas a meia altura em painéis de até 2,50 m e a cada 1,00 m aproximadamente em painéis entre 2,75 m e 3,00 m (ELHAJJ; BIELAT, 2000).

As fitas (Figura 3.13) devem ser instaladas ao longo do painel, na horizontal, aparafusadas em todos os montantes por um parafuso e fixadas em ambos os lados do painel (exceto nos casos em que se usam placas de diafragma rígido na face externa), e seus extremos devem coincidir com os montantes duplos ou triplos utilizados nos encontros dos painéis (CONSUL STEEL, 2002).

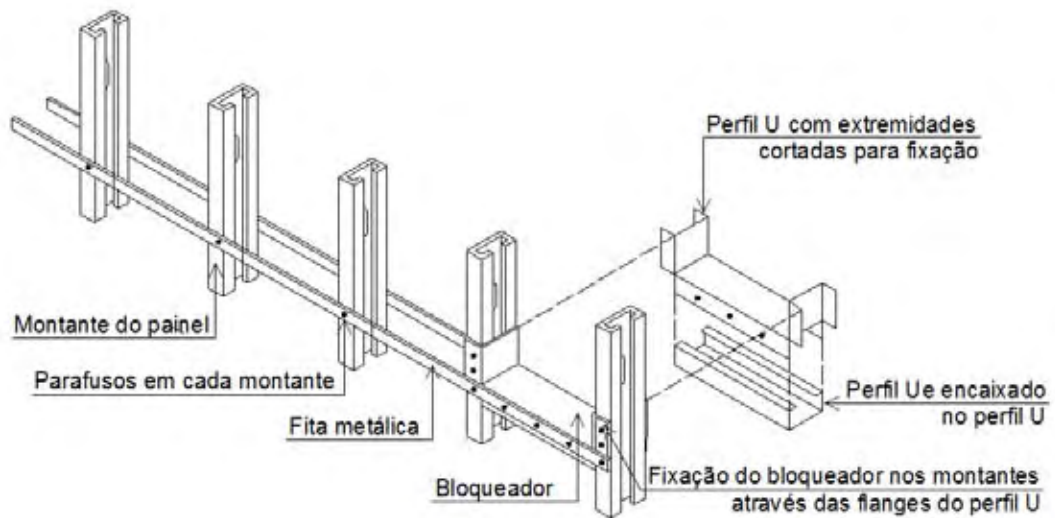
Figura 3.13 - Fita metálica para travamento de painel



Fonte: Crasto (2005)

Os bloqueadores (Figura 3.14), que se localizam entre os montantes nas extremidades dos painéis e a intervalos de 3,60 m, são formados da seguinte maneira: um perfil U simples 20 cm maior que o vão é cortado nas mesas a 10 cm de cada extremidade e dobrado, nestes segmentos, em 90°; posteriormente, um perfil Ue é encaixado nesta peça cortada e dobrada e ambos, então, podem ser aparafusados à fita metálica (ELHAJJ; BIELAT, 2000).

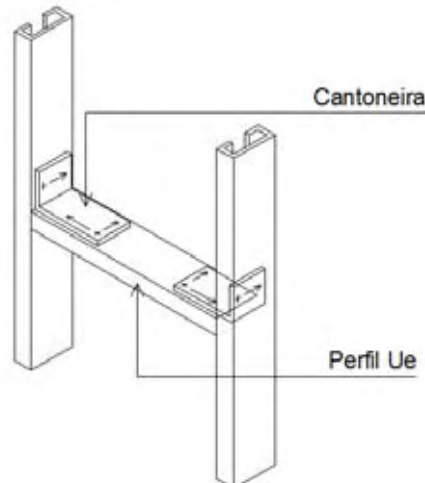
Figura 3.14 - Esquema de travamento horizontal do painel através de bloqueadores



Fonte: Crasto (2005)

Segundo Scharff (1996 apud CRASTO, 2005, p. 61), uma “[...] outra forma de fixar o bloqueador aos montantes é utilizar o perfil Ue cortado na largura do vão e conectá-lo aos montantes por meio de cantoneiras aparafusadas em ambas as peças [...]” (Figura 3.15).

Figura 3.15 - Esquema de fixação de bloqueador através de cantoneiras



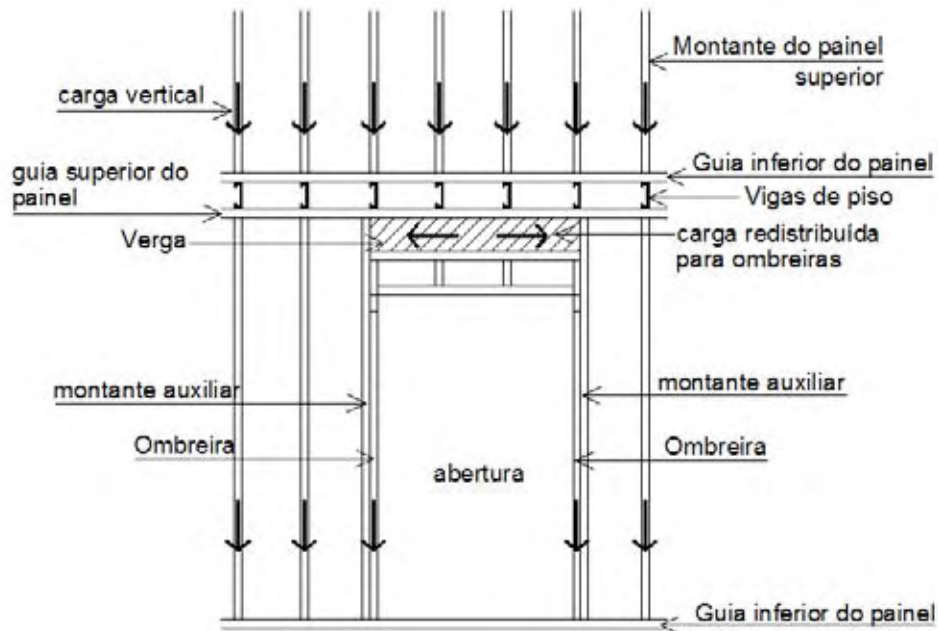
Fonte: Crasto (2005)

3.1.3 Abertura de vãos

Quando são feitas aberturas nos painéis estruturais para a colocação de portas e janelas devem ser utilizadas vergas para que as cargas que eram transmitidas através dos montantes, agora

interrompidos, sejam redirecionadas aos montantes laterais, denominados ombreiras, conforme a Figura 3.16 (BEVILAQUA, 2005).

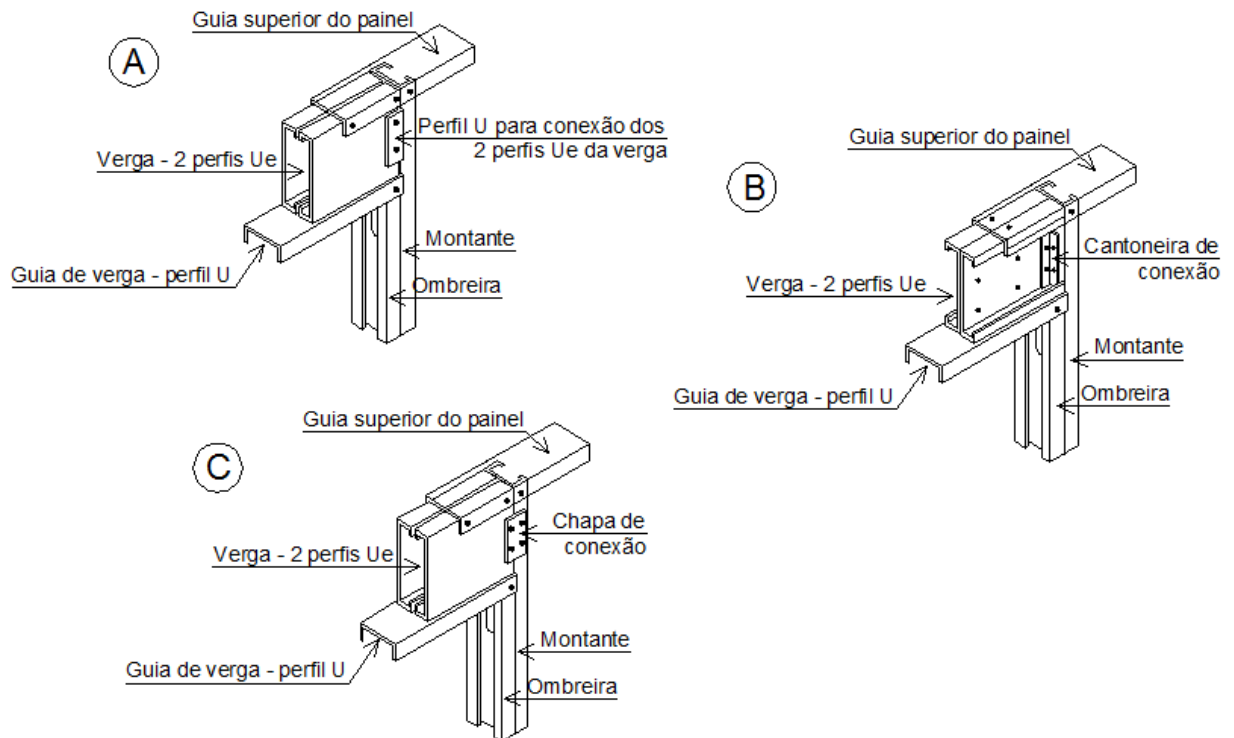
Figura 3.16 - Distribuição dos esforços através da verga para ombreiras



Fonte: Crasto (2005)

Segundo Freitas e Crasto (2006), as vergas podem ser feitas por várias combinações (Figura 3.17), porém sua composição básica se dá por dois perfis U enrijecidos conectados por uma peça, geralmente um perfil U, aparafusada em cada uma de suas extremidades e por uma peça denominada guia de verga, que é fixada às mesas inferiores dos perfis U e às ombreiras, para evitar a rotação da verga. De acordo com as mesmas autoras, a guia da verga também possibilita a fixação dos *cripples*, que são montantes de composição, sem função estrutural, situados entre a verga e a abertura para a fixação das placas de fechamento.

Figura 3.17 - Tipos de vergas

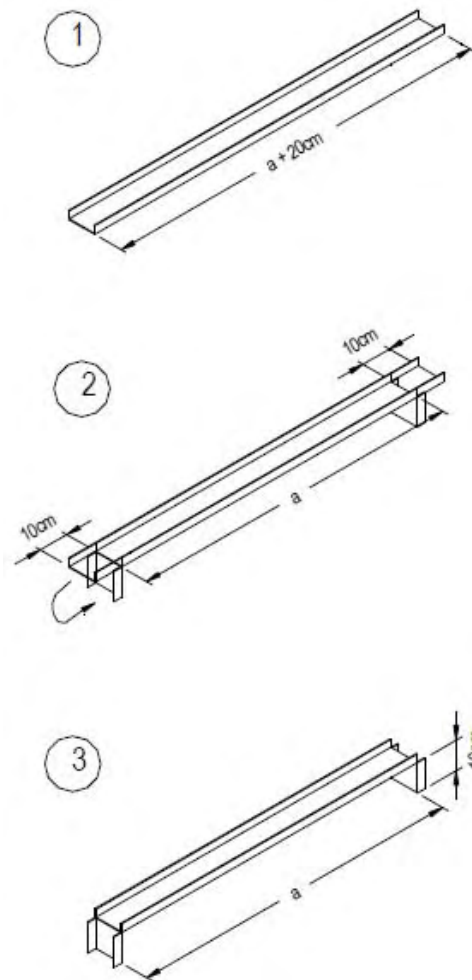


Fonte: Freitas e Crasto (2006)

As ombreiras apoiam a verga e vão desde a guia inferior do painel até a guia da verga; elas são fixadas em montantes denominados de montantes auxiliares, onde também são fixadas as vergas por meio de parafusos estruturais sextavados (FREITAS; CRASTO, 2006).

A delimitação superior ou inferior das aberturas é dada por peças chamadas de guias de abertura, que são formadas por um perfil U simples de comprimento 20 cm maior que o vão, cortado nas mesas a 10 cm de cada extremidade e dobrado em 90° nestes segmentos para conexão com a ombreira (Figura 3.18) (CONSUL STEEL, 2002).

Figura 3.18 - Guia de abertura



Fonte: Consul Steel (2002)

3.1.4 Encontro de painéis

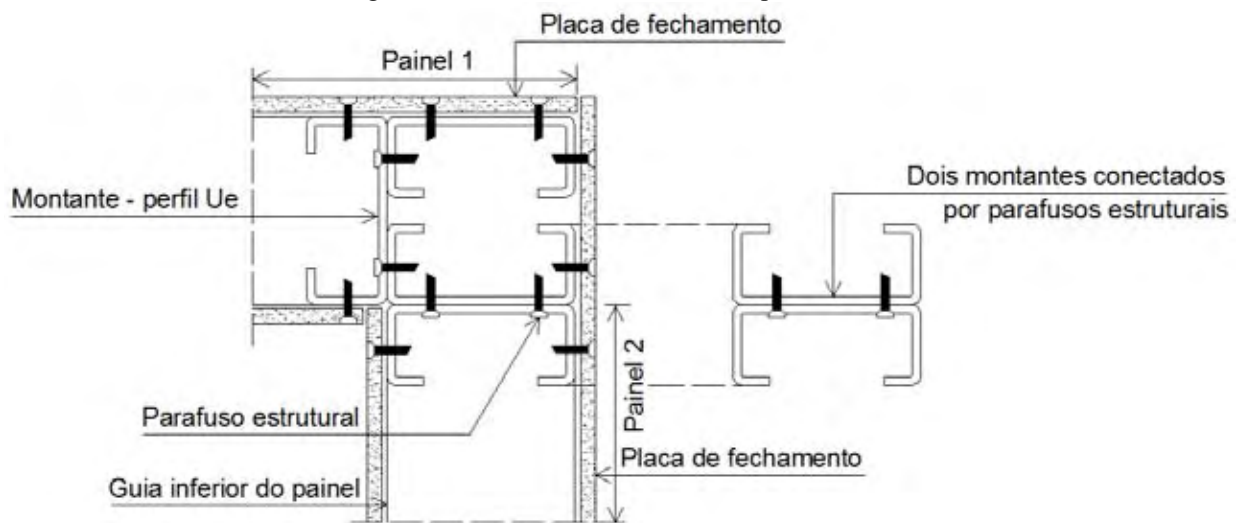
A união dos painéis é feita através de montantes conectados entre si por meio de parafusos estruturais, sempre garantindo a rigidez do sistema estrutural, a capacidade resistente aos esforços solicitantes, a economia de material e a presença de superfície para a fixação dos painéis de fechamento (FREITAS; CRASTO, 2006).

A seguir estão descritas as principais configurações de encontro de painéis.

3.1.4.1 União de painéis de canto

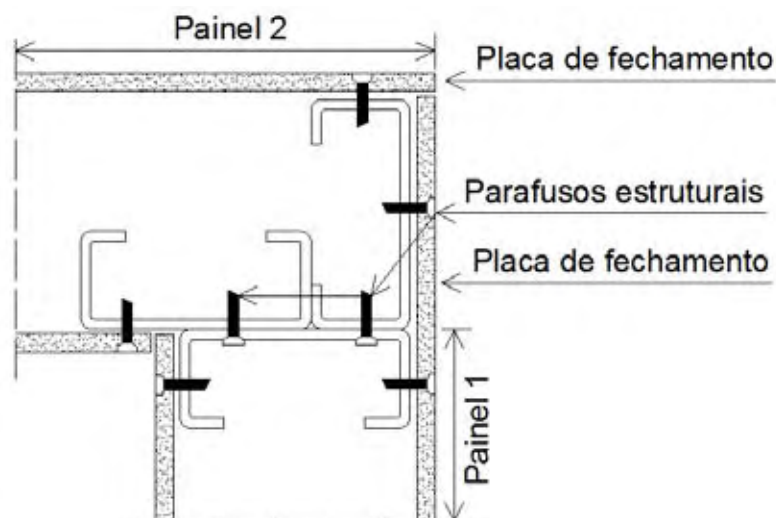
Segundo Freitas e Crasto (2006), a realização do encontro de painéis formando um canto pode se dar por meio da união de dois montantes pela alma (Figura 3.19) ou da união de três montantes (Figura 3.20). Em ambos os casos, para aumentar a rigidez do conjunto a guia superior de um dos painéis deve ser 75 mm mais longa do que o comprimento da parede, com as mesas desta saliência cortadas e dobradas (Figura 3.21) (CBCA, 2003).

Figura 3.19 - União de dois montantes pela alma



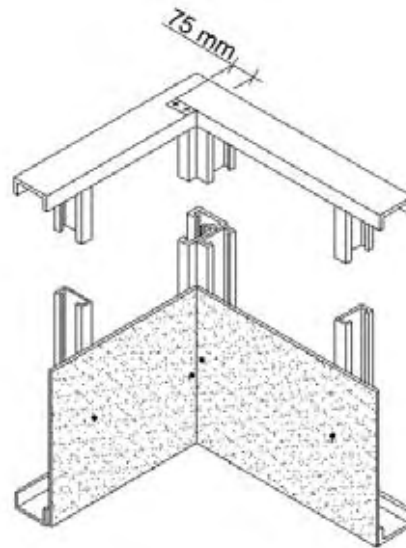
Fonte: Crasto (2005)

Figura 3.20 - União de três montantes



Fonte: Crasto (2005)

Figura 3.21 - Fixação de painéis de canto

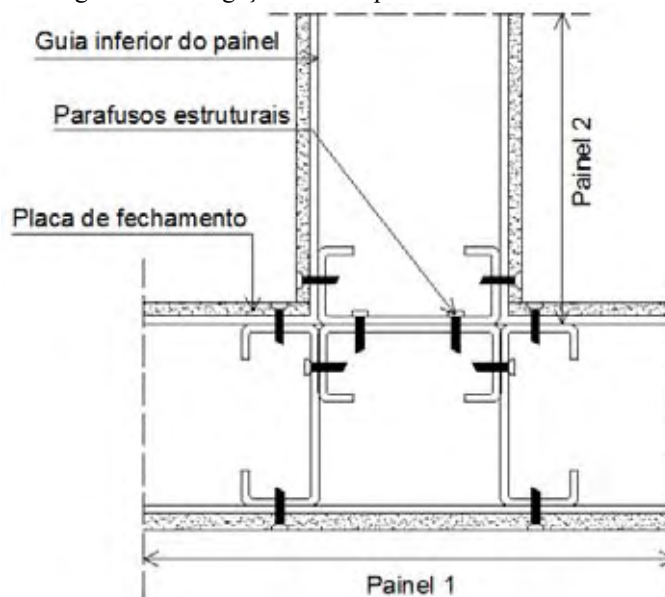


Fonte: Crasto (2005)

3.1.4.2 União de dois painéis formando um “T”

Em uma união em “T”, onde a extremidade de um painel é conectada perpendicularmente a outro painel, a ligação é feita entre quatro montantes. Neste caso, o painel que recebe o painel perpendicular deve ser contínuo e o local de união deve apresentar a guia superior e inferior sem emendas (Figura 3.22) (CRASTO, 2005).

Figura 3.22 - Ligação de dois painéis formando um “T”

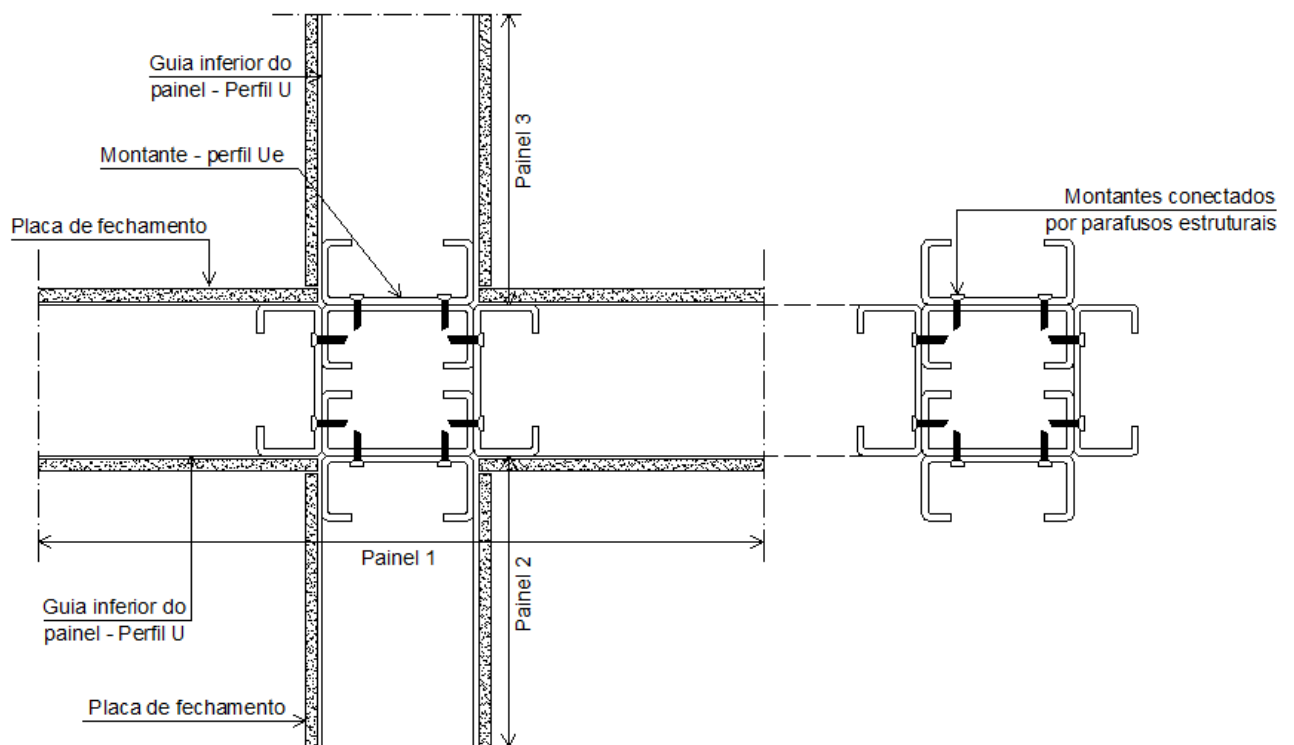


Fonte: Crasto (2005)

3.1.4.3 União de três painéis

Esse caso, que gera uma união cruzada e ocorre quando se conecta as extremidades de dois painéis alinhados a outro painel perpendicular, é feita utilizando-se perfis U enrijecidos conectados aos montantes dos dois painéis alinhados, conforme a Figura 3.23 (FREITAS; CRASTO, 2006). Conforme as mesmas autoras, na situação de união de três painéis também não deve haver emendas na guia superior ou inferior do painel perpendicular, no comprimento correspondente à união com as outras paredes.

Figura 3.23 – Encontro de três painéis



Fonte: Crasto (2005)

3.1.5 Ancoragem

Conforme informou Crasto (2005, p. 34), “[...] para evitar o movimento da edificação devido à pressão do vento, a superestrutura deve ser firmemente ancorada na fundação.” As condições climáticas, a ocorrência de abalos sísmicos e as solicitações que atuam na estrutura devido às cargas é que definirão, segundo o cálculo estrutural, a escolha da melhor ancoragem (CONSUL STEEL, 2002).

Além da ancoragem provisória, a química com barra rosca, a fita metálica e a barra rosca tipo “J” são os tipos de ancoragem mais utilizados (CRASTO, 2005).

3.1.5.1 Ancoragem provisória

Por meio de um sistema de finca pinos acionados à pólvora, esse método de ancoragem é utilizado no processo de montagem da estrutura no pavimento térreo, onde os painéis são fixados à fundação e mantidos no prumo enquanto são montados e conectados a outros painéis e até que se faça a ancoragem definitiva (Foto 3.5) (FREITAS; CRASTO, 2006). Segundo Crasto (2005, p.39), “[...] são também utilizados em painéis não-estruturais como fixação e para evitar deslocamentos laterais.”

Foto 3.5 - Ancoragem provisória



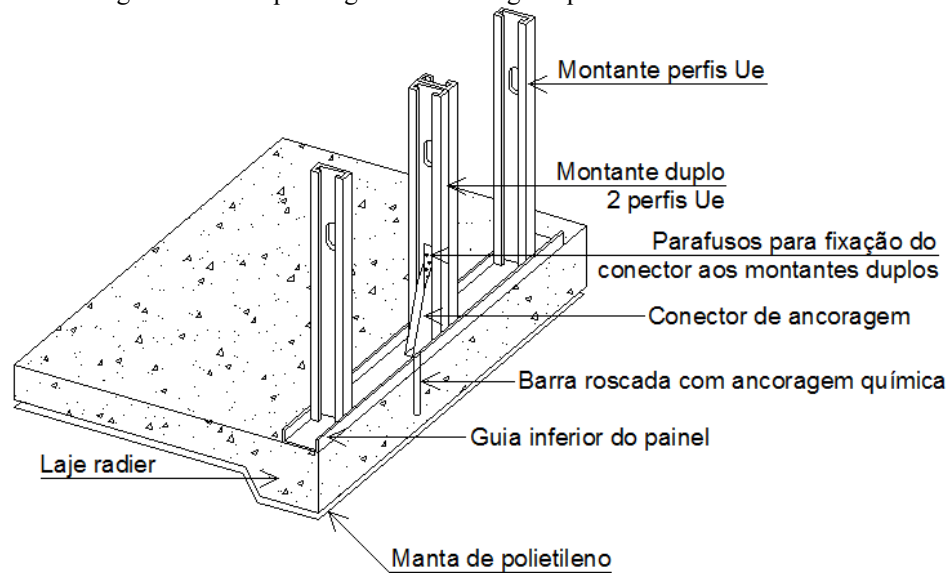
Fonte: Crasto (2005)

3.1.5.2 Ancoragem química com barra rosca

Conforme Freitas e Crasto (2006), essa ancoragem, colocada depois da concretagem da fundação, consiste em uma barra rosca com arruela e porca fixada à estrutura por meio de uma peça em aço conectada à guia e aparafusada a um montante (geralmente duplo), e

cravada no concreto por meio de uma perfuração preenchida com resina química (Figura 3.24).

Figura 3.24 - Esquema geral de ancoragem química com barra rosca

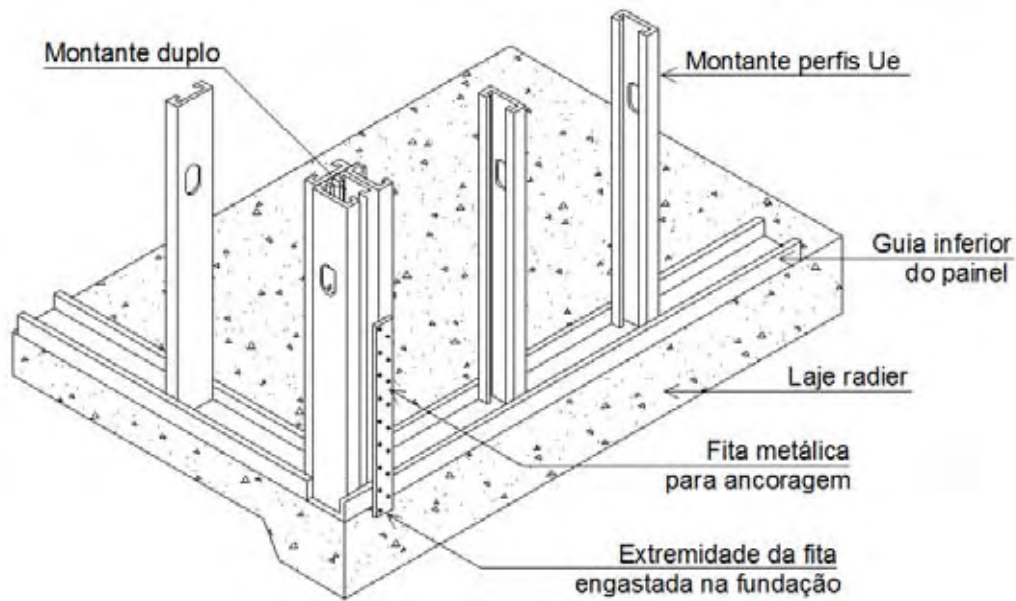


Fonte: Freitas e Crasto (2006)

3.1.5.3 Ancoragem com fita metálica

Segundo Crasto (2005), as fitas metálicas são peças de aço em que uma de suas extremidades é engastada na fundação, antes da concretagem, e a outra é aparafusada nos montantes da estrutura (Figura 3.25). Porém, Consul Steel (2002) recomendou que estas fitas não devem ser fixadas aos montantes que se localizam logo abaixo dos vãos das janelas.

Figura 3.25 - Ancoragem com fita metálica

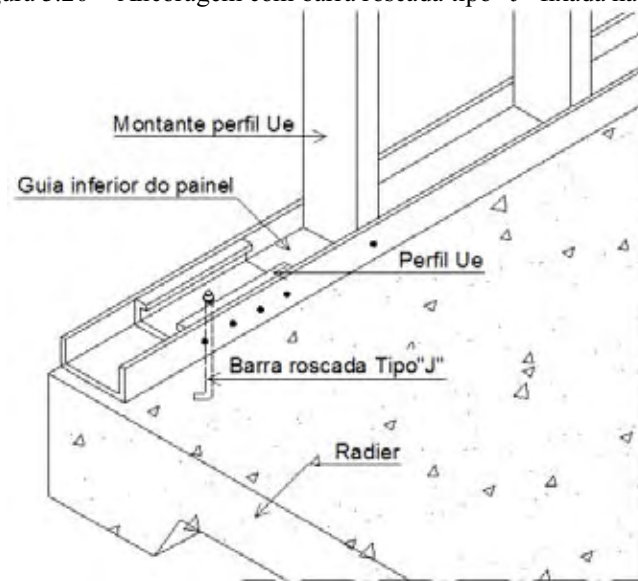


Fonte: Crasto (2005)

3.1.5.4 Ancoragem com barra metálica tipo “J”

A ancoragem com esse tipo de barra é feita da seguinte maneira: a parte curva da barra é engastada na fundação, antes da concretagem, e a parte reta é fixada à guia ou ao montante (CRASTO, 2005). Segundo a mesma autora, quando a barra é fixada à guia (Figura 3.26), utiliza-se um reforço de comprimento mínimo de 150 mm em perfil U enrijecido; quando é fixada ao montante (Figura 3.27), uma peça de aço é conectada à barra roscada e à guia e aparafusada no montante, geralmente duplo.

Figura 3.26 - Ancoragem com barra rosca tipo “J” fixada na guia



Fonte: Crasto (2005)

Figura 3.27 - Ancoragem com barra rosca tipo “J” fixada no montante



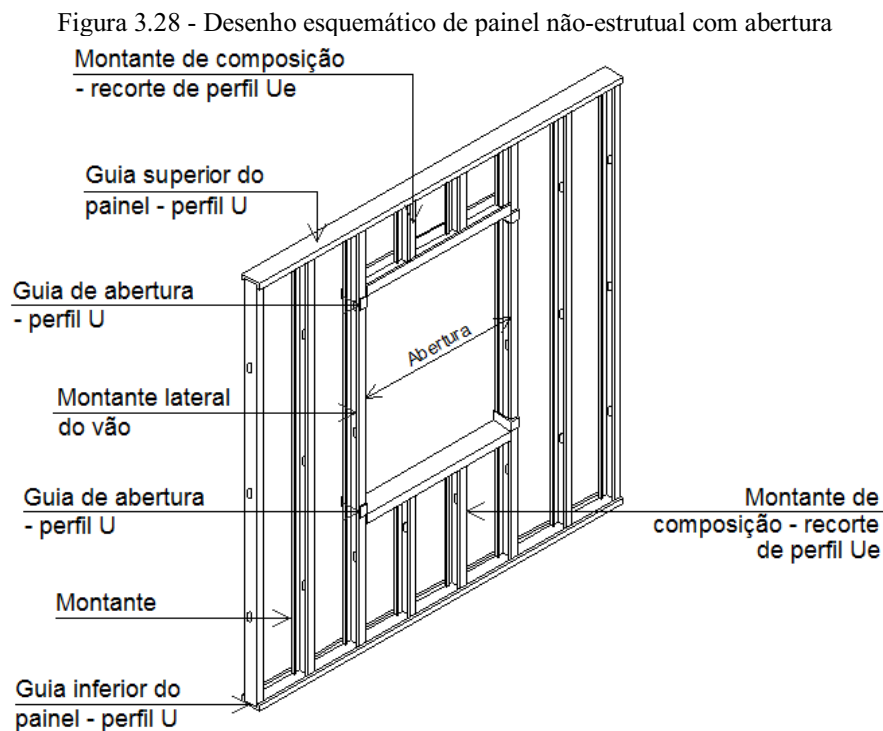
Fonte: Crasto (2005)

3.2 Painéis não-estruturais

Os painéis não-estruturais têm apenas a função de fechamento externo e divisória interna; suportam apenas o peso próprio de seus componentes (FREITAS; CRASTO, 2006). No caso de fechamento externo, recomenda-se a utilização dos mesmos perfis empregados nos painéis estruturais, devido ao peso dos componentes de fechamento e revestimento; já no caso de divisórias internas, pode ser empregado o sistema de gesso acartonado, conhecido como *Drywall*, no qual os perfis possuem menores dimensões e espessuras (FREITAS; CRASTO, 2006).

Segundo Campos (200-), enquanto no painel estrutural as espessuras nominais usuais dos perfis variam de 0,80 mm a 2,30 mm, com revestimento de 180 g/m² para áreas não marinhas e 275 g/m² para áreas marinhas, no sistema *Drywall* utilizam-se espessuras nominais de 0,50 mm, com necessidade de revestimento de zinco de cerca de 120 g/m².

De acordo com Freitas e Crasto (2006), como os painéis não-estruturais não suportam cargas verticais, não é necessário o uso de vergas e ombreiras e, conseqüentemente, a solução para a abertura de portas e janelas é bem mais simples (Figura 3.28 e Foto 3.6). As mesmas referências informaram que apesar do acabamento superior e inferior das aberturas utilizar guias de abertura, assim como nos painéis estruturais, a delimitação lateral dos vãos é constituída por um único montante, exceto nos casos em que se deseja maior rigidez, onde poderá optar-se por montantes duplos.



Fonte: Crasto (2005)

Foto 3.6 – Painel não-estrutural com abertura



Fonte: do Próprio Autor

3.3 Instabilidade de pórticos

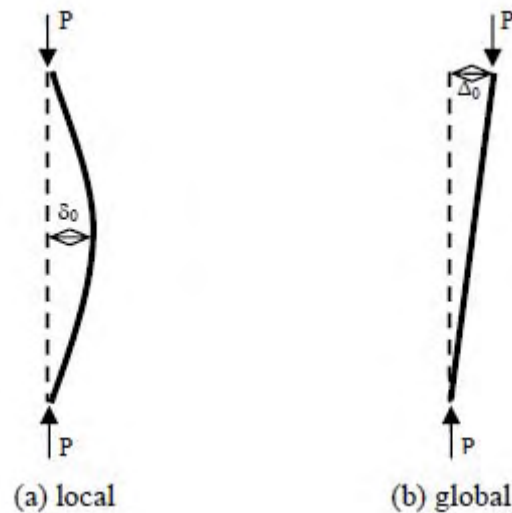
Conforme Dória (2007, p.10), os efeitos desestabilizantes de pórticos “[...] são provenientes de imperfeições geométricas oriundas dos processos de fabricação, transporte, montagem e da própria constituição do material (aspectos físicos).”

Dentre os fenômenos que contribuem para a perda de estabilidade de um pórtico, pode-se citar (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - ASCE, 1997; GALAMBOS, 1998 apud DÓRIA, 2007):

- tensões residuais e plastificação na extensão do elemento;
- condição de vinculação, rigidez das ligações e estruturas de contraventamento;
- imperfeições iniciais locais e globais (Figura3.29);
- efeito da força axial combinada com os deslocamentos do eixo da barra em relação à corda (efeito $P-\delta$) (Figura3.30);

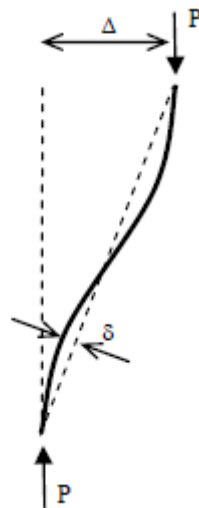
- efeito procedente da rotação da corda, ou seja, efeito da força axial combinada ao deslocamento transversal relativo entre os extremos da barra ($P-\Delta$) (Figura 3.30).

Figura 3.29 – Imperfeições geométricas iniciais



Fonte: Dória (2007)

Figura 3.30 – Efeitos $P-\Delta$ e $P-\delta$



Fonte: Dória (2007)

Dória (2007), em seu estudo comparativo entre métodos simplificados de avaliação da estabilidade de pórticos planos de aço, concluiu que os métodos que empregam forças horizontais fictícias são adequados, uma vez que, além de eliminar o cálculo do comprimento efetivo de flambagem, apresentam resultados mais consistentes em relação à análise

avançada, que contabiliza efeitos desestabilizantes como imperfeições geométricas iniciais e tensões residuais.

Bevilaqua (2005) analisou numericamente edifícios residenciais de quatro e de sete pavimentos estruturados no sistema *LSF*, realizando análises geométricas lineares e não-lineares com a consideração do efeito de segunda ordem P-Delta; também considerou o efeito de diafragma proporcionado pelo enrijecimento dos painéis de parede com chapas de *OSB*. Bevilaqua (2005) obteve excelentes resultados com o sistema *LSF* frente a outro sistema tomado como parâmetro de comparação, e verificou que a tecnologia é perfeitamente aplicável a prédios com até sete pavimentos, incluindo os de baixo custo.

3.4 Estabilidade de perfis de paredes esbeltas

No que diz respeito ao processo de fabricação, Rodrigues (2006) afirmou que os perfis formados a frio para o sistema *LSF* são obtidos a partir de bobinas com revestimento metálico, laminadas a frio ou a quente e submetidas à conformação contínua em conjunto de matrizes rotativas, numa operação desempenhada com o aço em temperatura ambiente. Além de causar tensões residuais, a conformação a frio modifica as propriedades mecânicas do aço dos perfis, provocando redução da ductilidade do material e elevação da capacidade resistente ao escoamento (RODRIGUES, 2006).

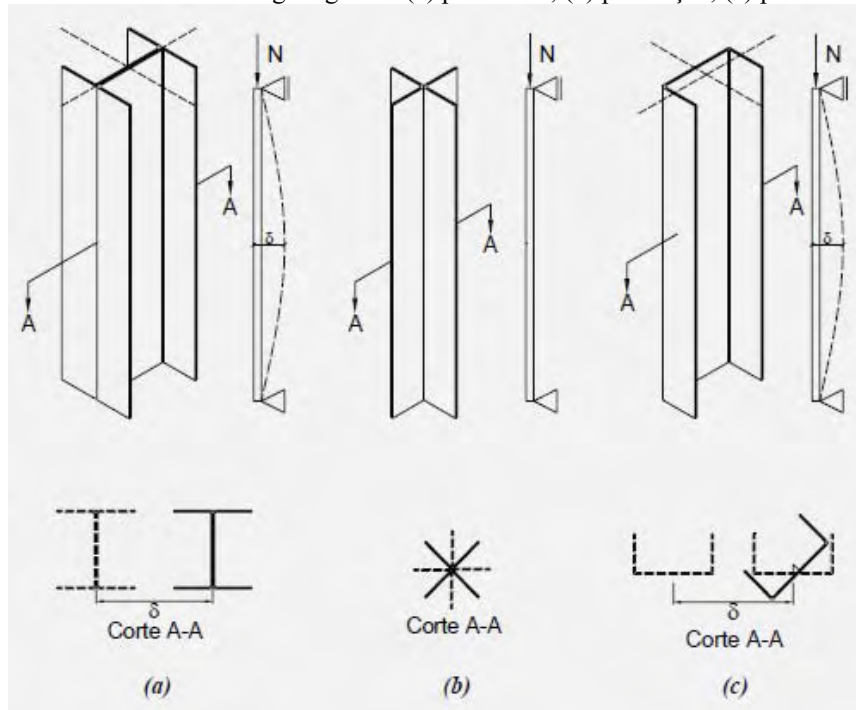
Quanto às dimensões, o progresso no conhecimento dos materiais e nos métodos de cálculo proporcionou a concepção de estruturas mais leves e, conseqüentemente, mais econômicas (SCHIEL, 1983). Com a utilização de chapas muito finas, obtêm-se um melhor aproveitamento dos perfis com o aumento da relação largura/espessura de seus elementos, o que leva a peças cada vez mais esbeltas, com elementos mais susceptíveis à flambagem local (RODRIGUES, 2006). Sendo assim, conforme Schiel (1983, p. 285), “[...] a segurança de peças leves depende de maneira pronunciada da estabilidade elástica e seu estudo ganha mais importância.”

3.4.1 Flambagem global

A flambagem global é característica de barras com elevado índice de esbeltez global. Este fenômeno pode ocorrer basicamente de três formas (JAVARONI, 1999; ALMEIDA, 2007):

- a primeira delas, denominada flambagem por flexão e bastante comum em pilares esbeltos, ocorre em torno do eixo de menor inércia e se caracteriza pelo encurvamento do eixo da barra solicitada. Há o movimento de corpo rígido das seções transversais devido ao deslocamento transversal do eixo da barra, que adquire uma configuração curva (Figura 3.31-a);
- a segunda forma, a flambagem por torção, dá-se pela rotação da seção transversal em torno de seu centro de torção (Figura 3.31-b);
- a terceira forma, característica de vigas sem contenção lateral, é conhecida por flexo-torção e resulta em encurvamento e torção simultâneos (Figura 3.31-c).

Figura 3.31 – Modos de flambagem global: (a) por flexão, (b) por torção, (c) por flexo-torção



Fonte: Almeida (2007)

Para a flambagem por flexão, “[...] a carga crítica no regime elástico, obtida por Euler (1744) para pilares prismáticos ideais é a menor das cargas” (BJORHOVDE, 1992; GALAMBOS, 1998 apud SANTOS, 2002, p.7) (Equação 3.1):

$$P_{crx} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda_x^2} \quad e \quad P_{cry} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda_y^2} \quad (3.1)$$

onde:

x, y = eixos principais da seção;

E = módulo de elasticidade do material;

A = área da seção do pilar;

λ_x, λ_y = parâmetros de esbeltez do pilar em relação aos eixos x e y , respectivamente (Equação 3.2)

$$\lambda_x = \frac{k_x L_x}{r_x} \quad e \quad \lambda_y = \frac{k_y L_y}{r_y} \quad (3.2)$$

onde:

k_x, k_y = coeficientes de flambagem que dependem das condições de apoio do pilar;

L_x, L_y = comprimentos destravados do pilar, ou seja, as distâncias entre duas seções consecutivas que têm a translação impedida;

r_x, r_y = raios de giração da seção com relação aos seus eixos principais.

Porém, “[...] se o pilar tem comportamento não-linear, seja pela existência de tensões residuais, seja pelo fato de o material entrar no regime plástico, a carga crítica, obtida por Engesser (1898) e confirmada por Shanley (1974), é a menor das seguintes” (BJORHOVDE, 1992; GALAMBOS, 1998 apud SANTOS, 2002, p.8):

$$P_{crx} = \frac{\pi^2 E_t A}{\lambda_x^2} \quad e \quad P_{cry} = \frac{\pi^2 E_t A}{\lambda_y^2} \quad (3.3)$$

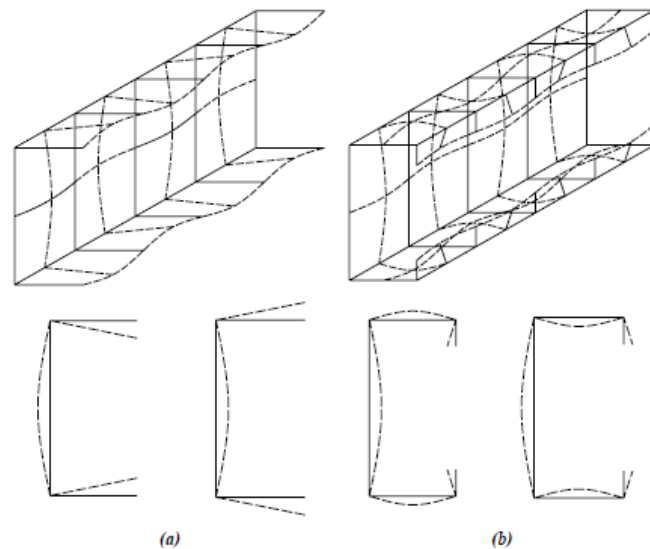
onde E_t é o módulo tangente do material.

3.4.2 Flambagem local

A flambagem local é a “[...] perda de estabilidade de uma chapa componente do perfil comprimido (alma, aba ou enrijecedor de borda)” (ALMEIDA, 2007, p.19). Ela é

caracterizada pela flexão dos elementos da seção transversal do perfil, sem que haja deslocamento ou mudança nos ângulos formados nas arestas comuns a estes elementos (SOUZA, 2005). A Figura 3.32 apresenta este modo de falha para seções do tipo U simples e U enrijecido sob esforço solicitante de compressão.

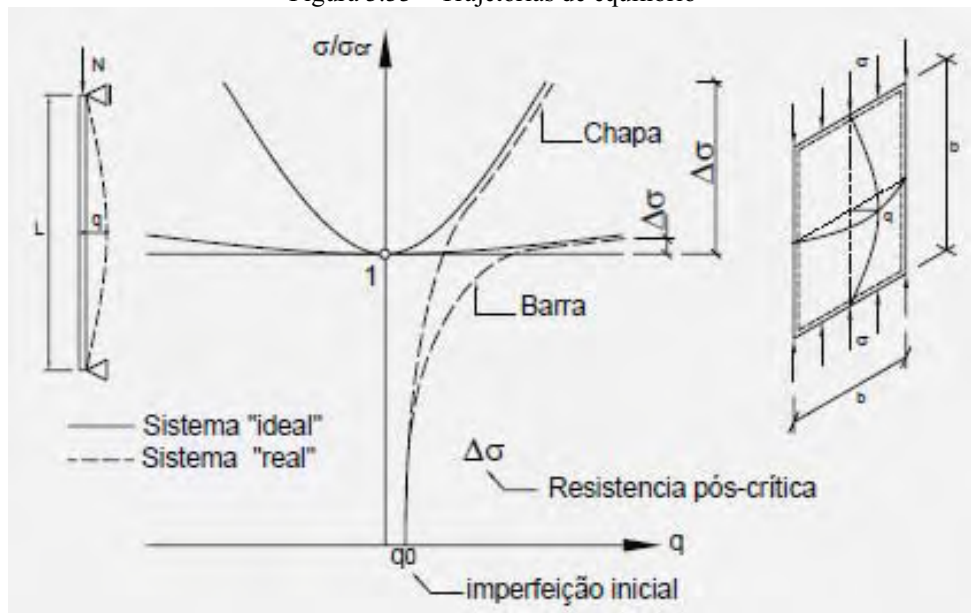
Figura 3.32 – Flambagem de local em perfis dos tipos: (a) U simples e (b) U enrijecido



Fonte: Almeida (2007)

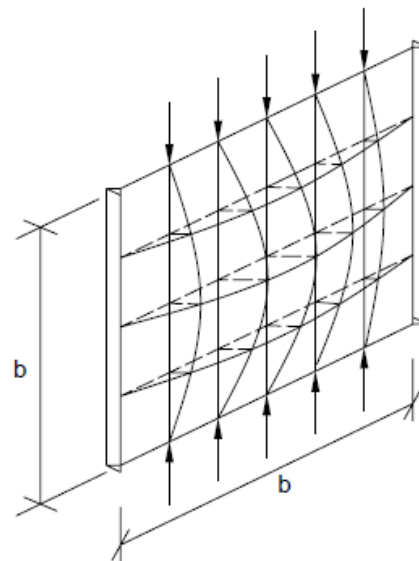
Segundo Javaroni (1999), esse fenômeno não implica, necessariamente, no fim da capacidade resistente do perfil; isto porque os elementos de chapa podem apresentar esforços resistentes maiores do que aqueles determinados pela tensão crítica de flambagem local (Figura 3.33), uma vez que possuem considerável capacidade resistente pós-crítica. Conforme esclareceu Almeida (2007), este fato se deve às características das chapas, que são analisadas em contexto bidimensional (Figura 3.34) e oferecem uma redistribuição das tensões para os locais enrijecidos da seção (Quadro 3.2).

Figura 3.33 – Trajetórias de equilíbrio



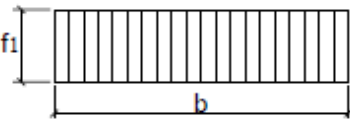
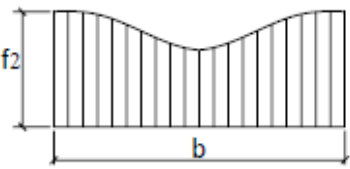
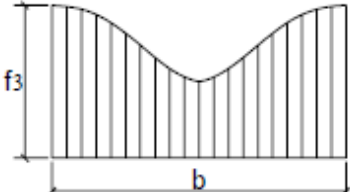
Fonte: Almeida (2007)

Figura 3.34 – Esquematização da configuração deslocada da chapa



Fonte: Almeida (2007)

Quadro 3.2 – Comportamento pós- flambagem: elemento enrijecido comprimido

Situação de Análise	Descrição
	Distribuição uniforme de tensões até atingir a tensão crítica de flambagem. $f_1 < f_{cr}$
	Após a instabilidade, inicia-se a distribuição não uniforme de tensões. Uma porção da tensão pré- flambagem da parte central é transferida para as extremidades da chapa. $f_{cr} < f_2 < f_y$
	Progresso da redistribuição de tensões até a tensão nas extremidades atingir a tensão de escoamento, caracterizando o fim da capacidade resistente da chapa. $f_3 = f_y$

Fonte: Almeida (2007)

A tensão crítica de flambagem da chapa pode ser determinada resolvendo-se a Equação diferencial 3.4 (TIMOSHENKO; GERE, 1961):

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{f_x t}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (3.4)$$

onde:

$$D = \frac{Et^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (3.5)$$

E = módulo de elasticidade;

ν = coeficiente de Poisson;

t = espessura da chapa;

w = deslocamento da chapa na direção do eixo z, perpendicular à sua superfície;

f_x = tensão de compressão na direção do eixo x.

Assim, de acordo com Almeida (2007), a tensão crítica de flambagem local de chapas (f_{cr}) pode ser obtida com base em procedimento proposto por Timoshenko, sendo definida pela Equação 3.6:

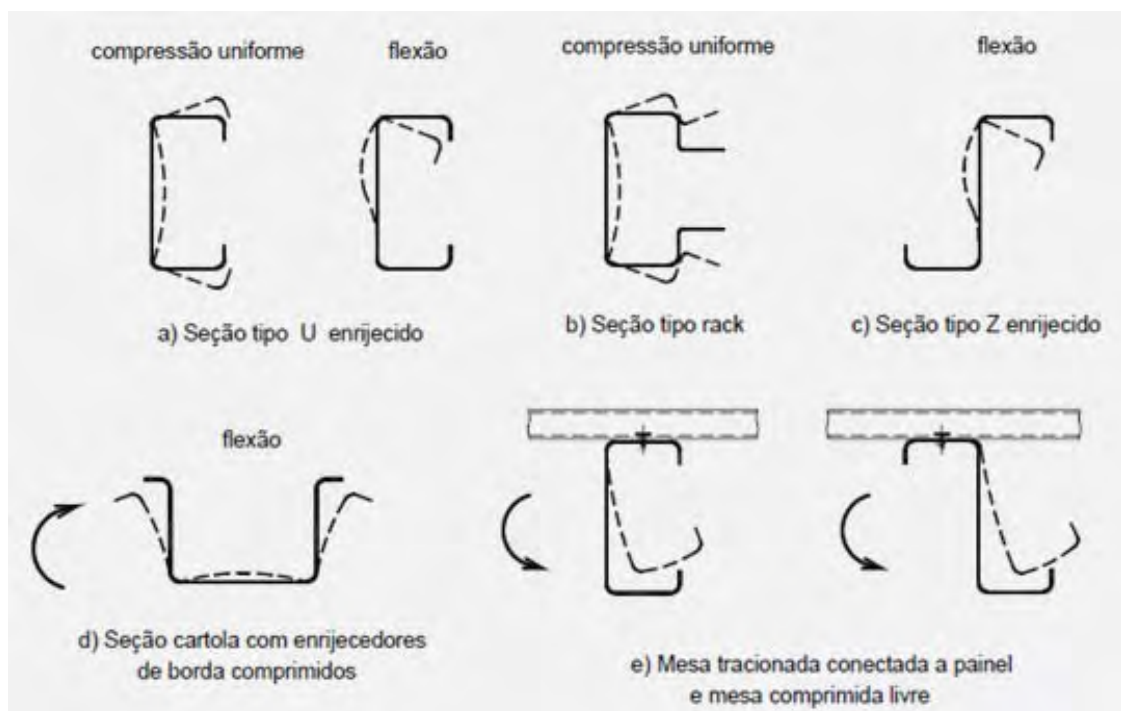
$$f_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (3.6)$$

Na equação anterior, k é o coeficiente de flambagem local da chapa, que depende das condições de vínculos dos bordos da chapa, da relação de esbeltez (b/t) e da distribuição das tensões da mesma.

3.4.3 Flambagem distorcional

Segundo Souza (2005), o modo distorcional de flambagem, mais comumente observado em seções que apresentam enrijecedores de borda, como perfis do tipo U enrijecido e perfis *rack*, caracteriza-se pela flexão de um ou mais elementos que constituem o perfil, junto a um deslocamento das arestas comuns a estes elementos (Figura 3.35).

Figura 3.35 – Flambagem por distorção da seção transversal



Fonte: ABNT (2010)

Conforme destacou Almeida (2007), diferentemente da flambagem local, onde há a conservação da posição original dos cantos dobrados da seção e dos ângulos formados entre elementos vizinhos, a flambagem por distorção caracteriza-se pela rotação e possível

translação do conjunto formado pela mesa comprimida e seu enrijecedor de borda, com alteração da forma inicial da seção.

A flambagem distorcional ocorre em comprimentos de meia onda intermediários, entre a flambagem local e a global, podendo ser mais pronunciado no caso de aços de elevada resistência mecânica (GALAMBOS, 1998 apud ALMEIDA, 2007). Porém, dependendo da seção utilizada este tipo de flambagem poderá ser predominante, antecipando-se à flambagem local de placas, tanto no caso de pilares curtos como no caso de pilares longos (SOUZA, 2005).

Conforme enfatizou Chodraui (2003), a flambagem por distorção é função de vários parâmetros e envolve, além da forma da seção, a relação largura-espessura dos elementos, tornando-se, desta forma, complicado estabelecer limites gerais para identificar se o modo distorcional é o modo crítico. Porém, para perfis do tipo U enrijecido e Z enrijecido submetidos à compressão centrada, a NBR 14762 (ABNT, 2010) traz em sua Tabela 11 os valores mínimos da relação entre a largura nominal do enrijecedor de borda e a largura nominal da alma (D/b_w) para dispensar-se a verificação da flambagem distorcional.

4 Ferramentas numéricas e procedimentos de análise

Este capítulo é dedicado à apresentação das ferramentas numéricas e dos métodos utilizados nas análises. Detalha-se, em cada item, os procedimentos e considerações utilizadas em cada uma das etapas de trabalho.

4.1 Ferramentas numéricas

As modelagens e análises lineares, não-lineares e de instabilidade global dos painéis foram realizadas no programa SAP2000 que, segundo Multiplus (199-), é o software mais utilizado no mundo para análise estrutural, tendo sido empregado para calcular as maiores e mais famosas estruturas.

O nome SAP tem sido sinônimo de métodos analíticos de estado de arte desde que foi criado, há 30 anos. SAP2000 segue a mesma tradição, contando com uma interface muito sofisticada, intuitiva e versátil, alimentada por uma ferramenta de análise de design para engenheiros que trabalham nas áreas de transporte, industrial, obras públicas, de esportes, entre outras facilidades (MULTIPLUS, 199-).

O SAP2000 é um programa que realiza análises estruturais via MEF. Este método, conforme afirmou Almeida (2004), aplica-se às mais diversas áreas da engenharia ou a quaisquer problemas que possam ser expressos através de equações diferenciais; prevê a divisão do domínio de integração, que é contínuo, em um número finito de pequenas regiões denominadas elementos finitos, tornando o meio contínuo em discreto.

Para a verificação dos perfis, foi utilizada a NBR 14762 (ABNT, 2010), e o programa mCalcPerfis, que tem como base de cálculo esta norma e também a NBR 8800 (ABNT, 2008). Oferecido pela Stabile Engenharia Ltda, o mCalcPerfis roda independente de qualquer programa, assumindo uma função de calculadora de perfis de aço, onde se pode verificar elementos laminados, soldados e formados a frio, obtendo-se as resistências de cálculo à compressão, tração, cortante (em duas direções), flexão (em torno dos dois eixos principais de inércia) e performance do perfil, caso as solicitações sejam declaradas; roda também integrado aos programas mCalc, mCalc3D, WMix e TQS Steel (no qual as versões que rodam com estes dois últimos são distribuídas pela TQS Informática) sendo o módulo de dimensionamento destes programas (STABILE, 200-).

No caso do programa mCalcPerfis, para perfis formados a frio, apresenta os procedimentos de verificação de acordo com a NBR 14762 (ABNT, 2010). Esta norma estabelece, com base no método dos estados-limites, os requisitos básicos exigidos no dimensionamento, à temperatura ambiente, de perfis estruturais de aço formados a frio, constituídos por chapas ou tiras de aço-carbono ou aço de baixa liga, conectados por parafusos ou soldas e destinados a estruturas de edifícios.

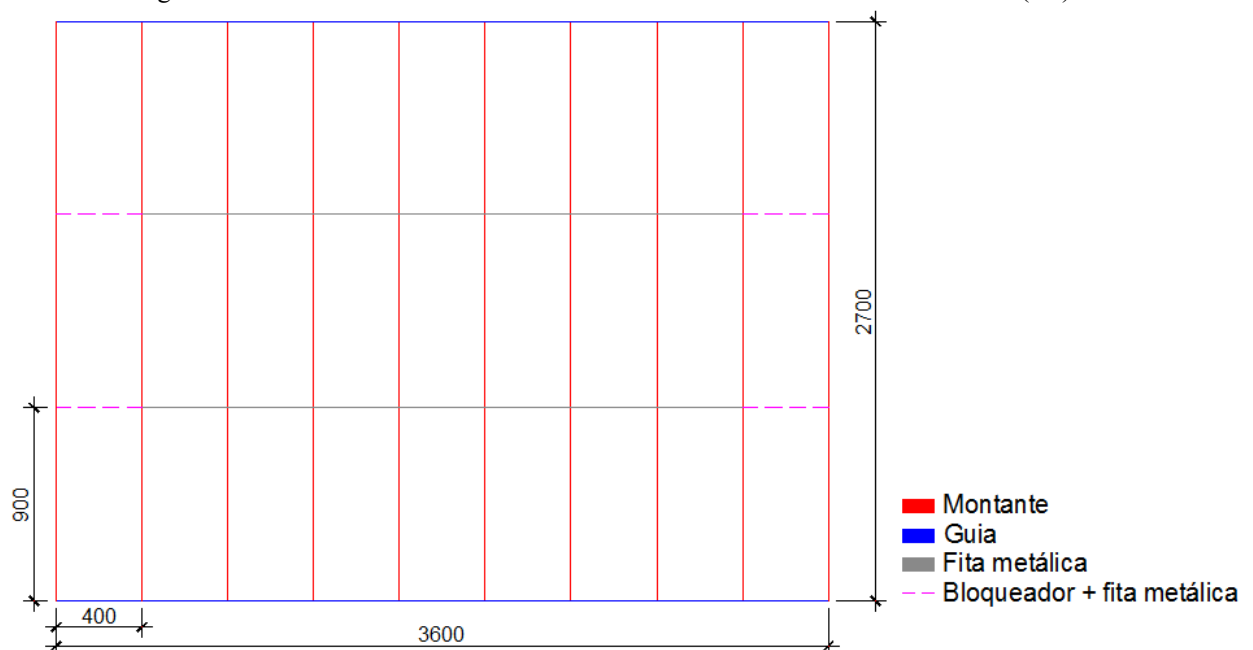
4.2 Procedimento para modelagem e análise dos painéis no programa SAP2000

A seguir é apresentado, detalhadamente, o procedimento utilizado na modelagem e análise dos painéis estruturais em *LSF* no programa SAP2000. Salienta-se que as medidas de todos os pórticos ilustrados neste capítulo estão em milímetros.

4.2.1. Geometria dos painéis e das frações isoladas

As Figuras 4.1 a 4.9 apresentam alguns dos painéis analisados, cuja geometria é comumente utilizada e está de acordo com as recomendações de literaturas referentes ao tema em estudo.

Figura 4.1 – Painel estrutural comumente utilizado sem contraventamento em “X” (PC)



Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.2 - Painel estrutural comumente utilizado com contraventamento em “X” (PC_X)

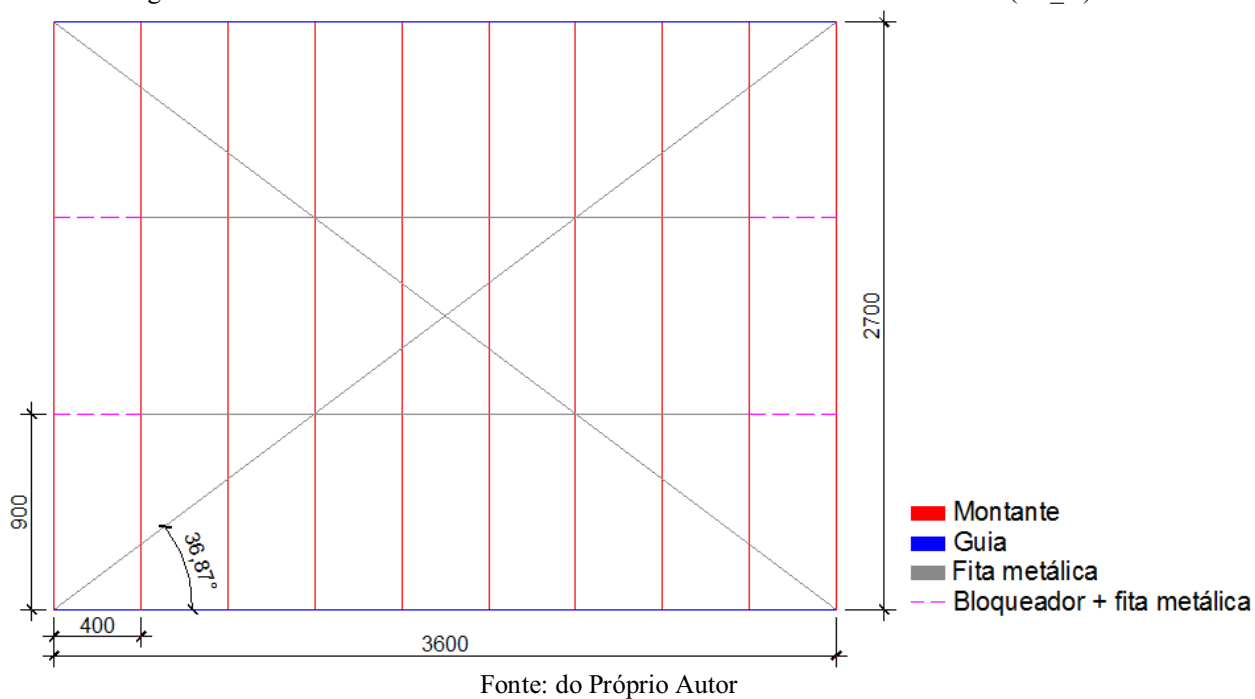


Figura 4.3 - Painel estrutural comumente utilizado com abertura para porta (PC_P)

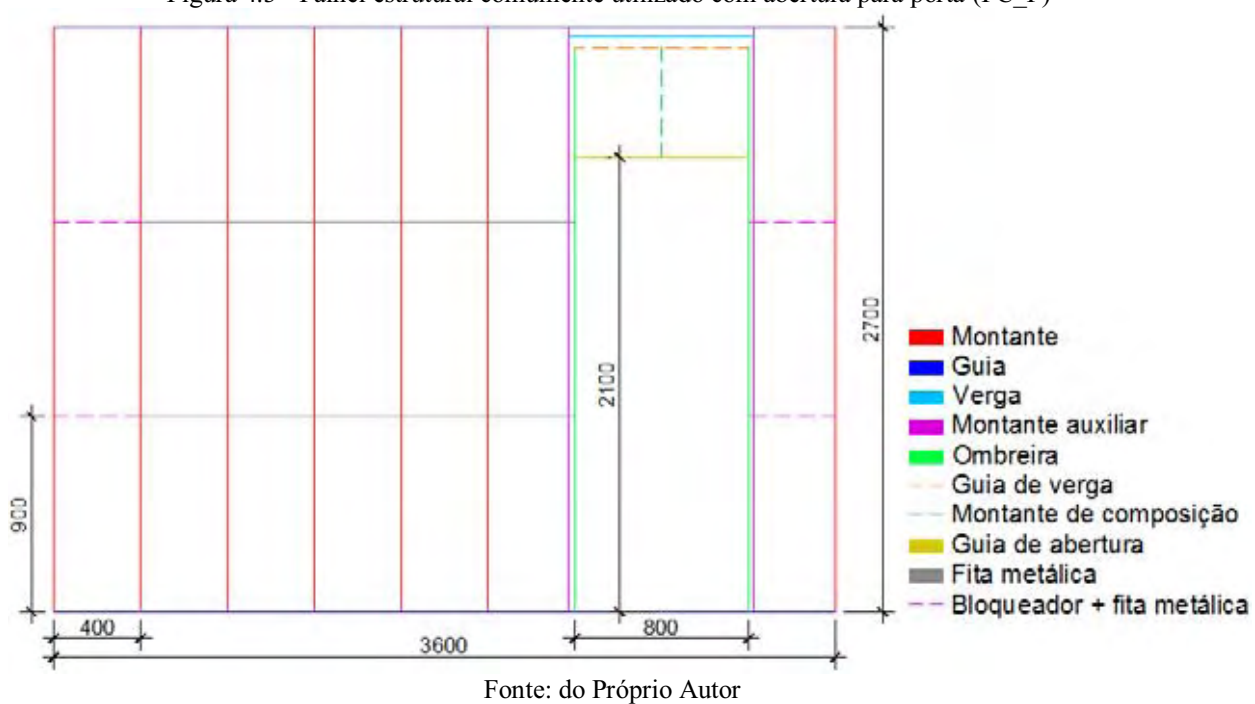
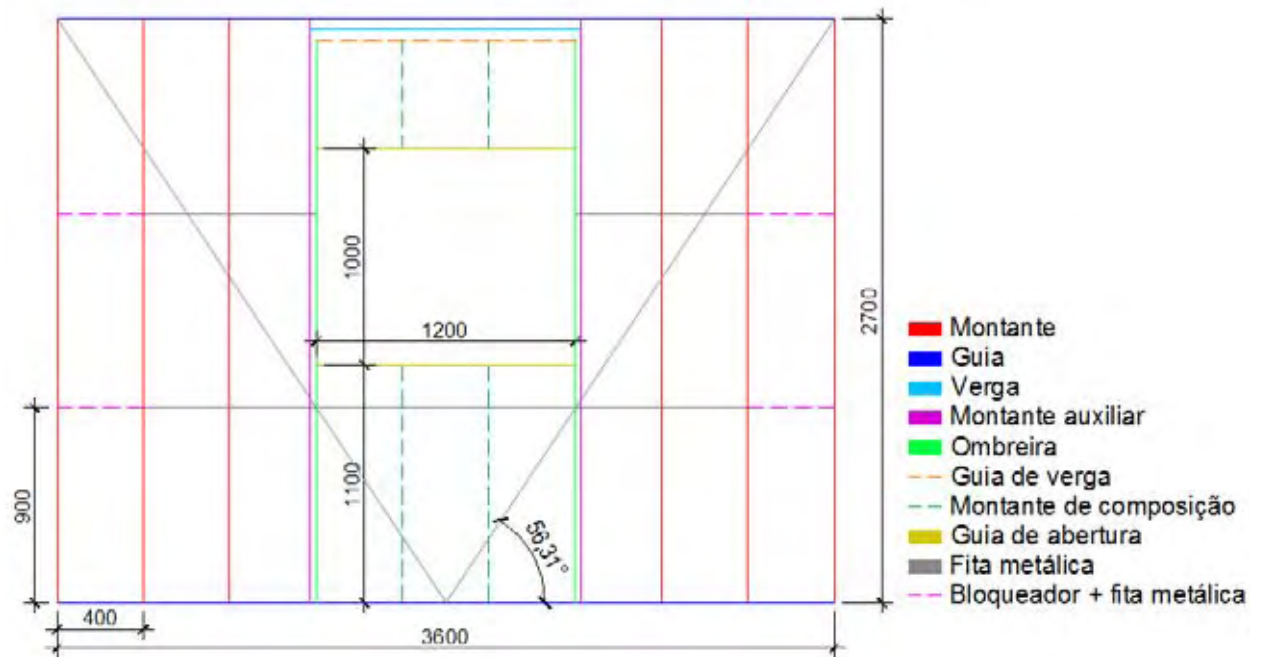
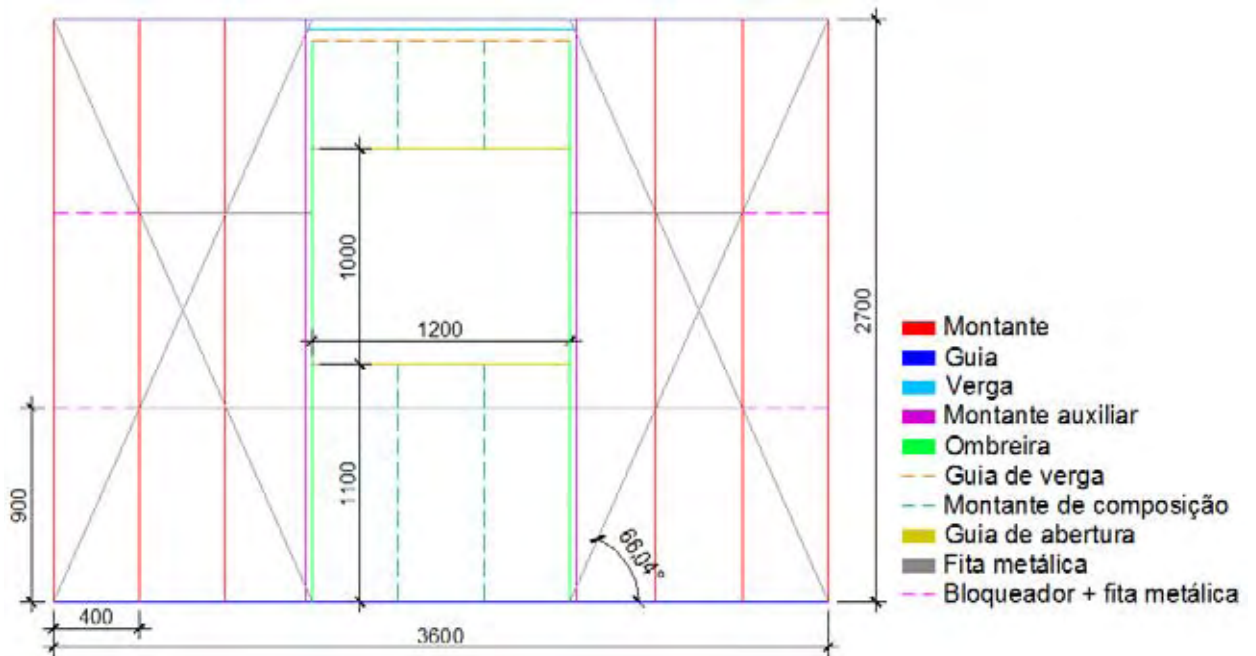


Figura 4.6 - Painel estrutural comumente utilizado com abertura para janela e com contraventamento em “V” (PC_J_V)



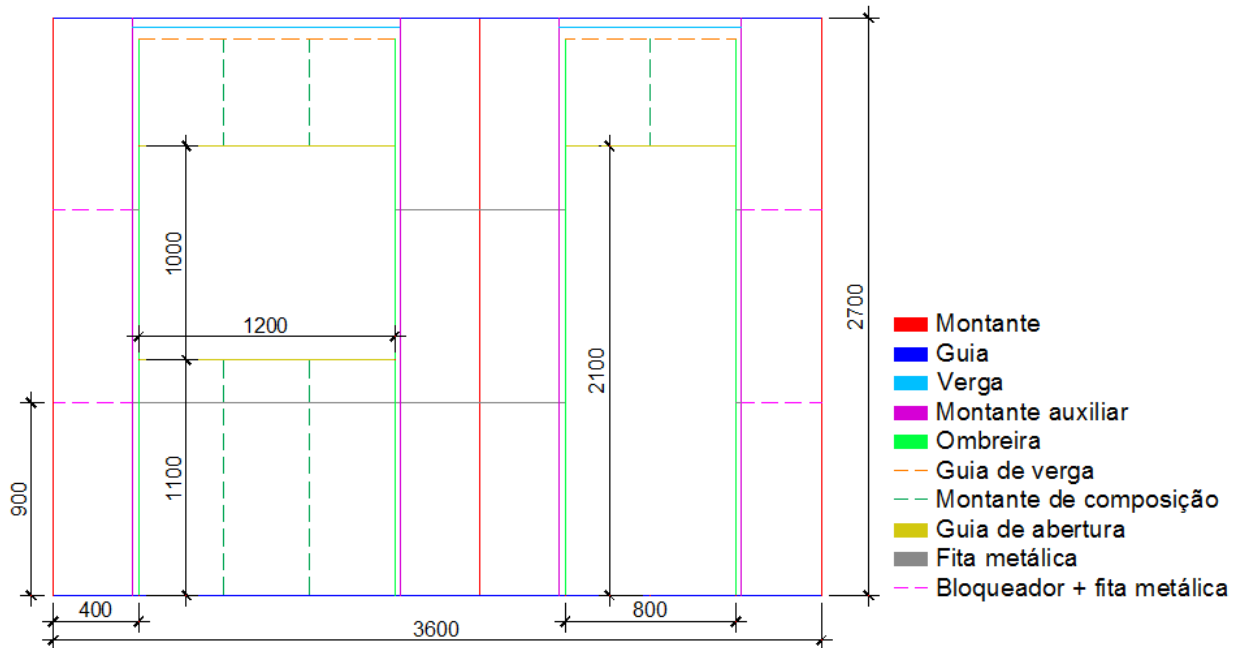
Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.7 - Painel estrutural comumente utilizado com abertura para janela e com contraventamento em “X” (PC_J_X)



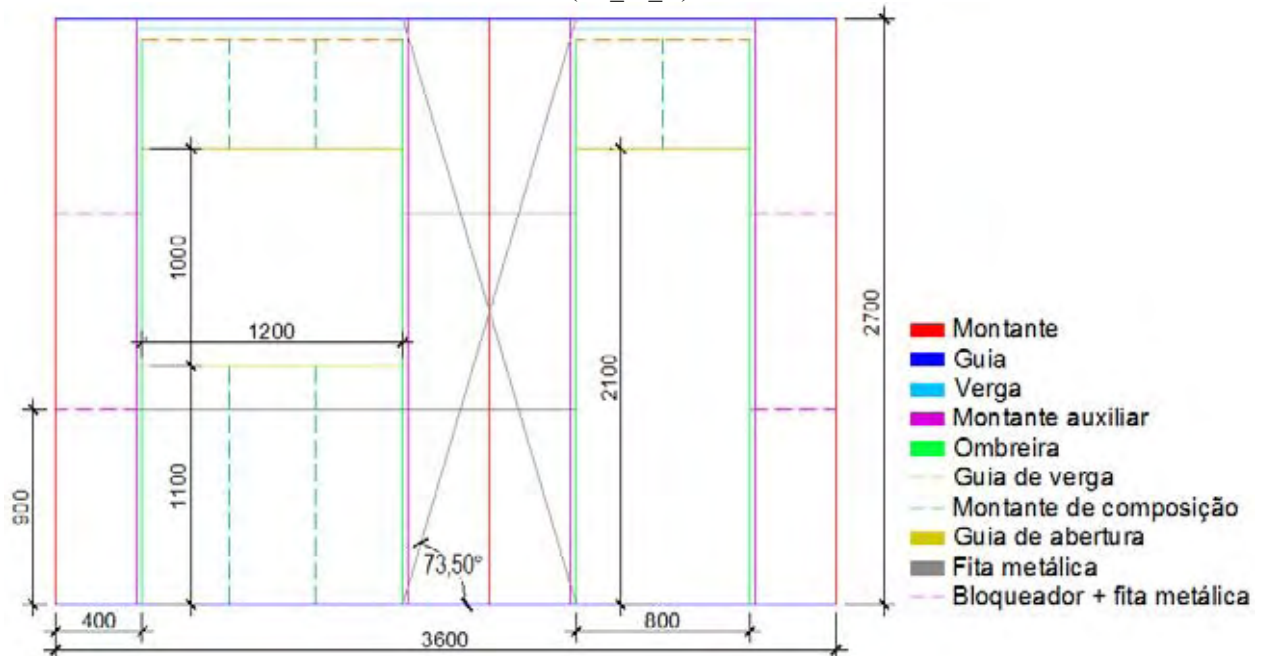
Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.8 - Painel estrutural comumente utilizado com abertura para porta e janela (PC_PJ)



Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.9 - Painel estrutural comumente utilizado com abertura para porta e janela e com contraventamento em "X" (PC_PJ_X)



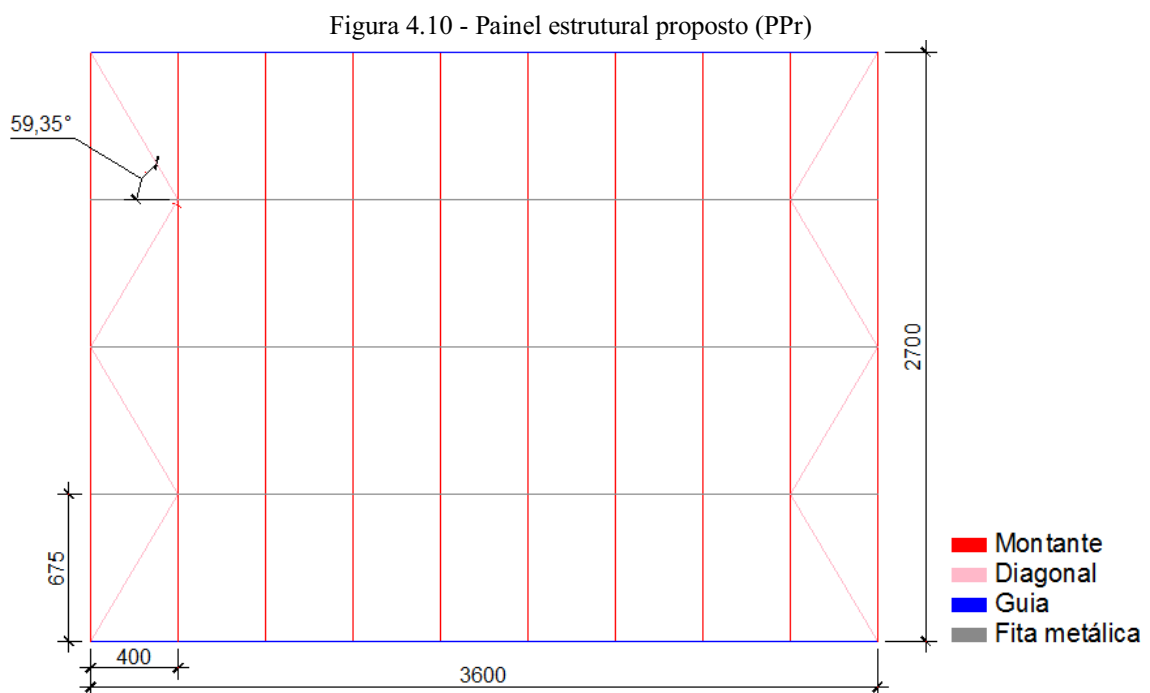
Fonte: do Próprio Autor

Apesar de a literatura apresentar orientações quanto aos espaçamentos dos montantes, quantidade de fitas horizontais e localização de bloqueadores, podem ser encontradas nas

obras configurações variadas de pórticos em função do tipo e intensidade do carregamento e das forças atuantes e do formato diferenciado da edificação.

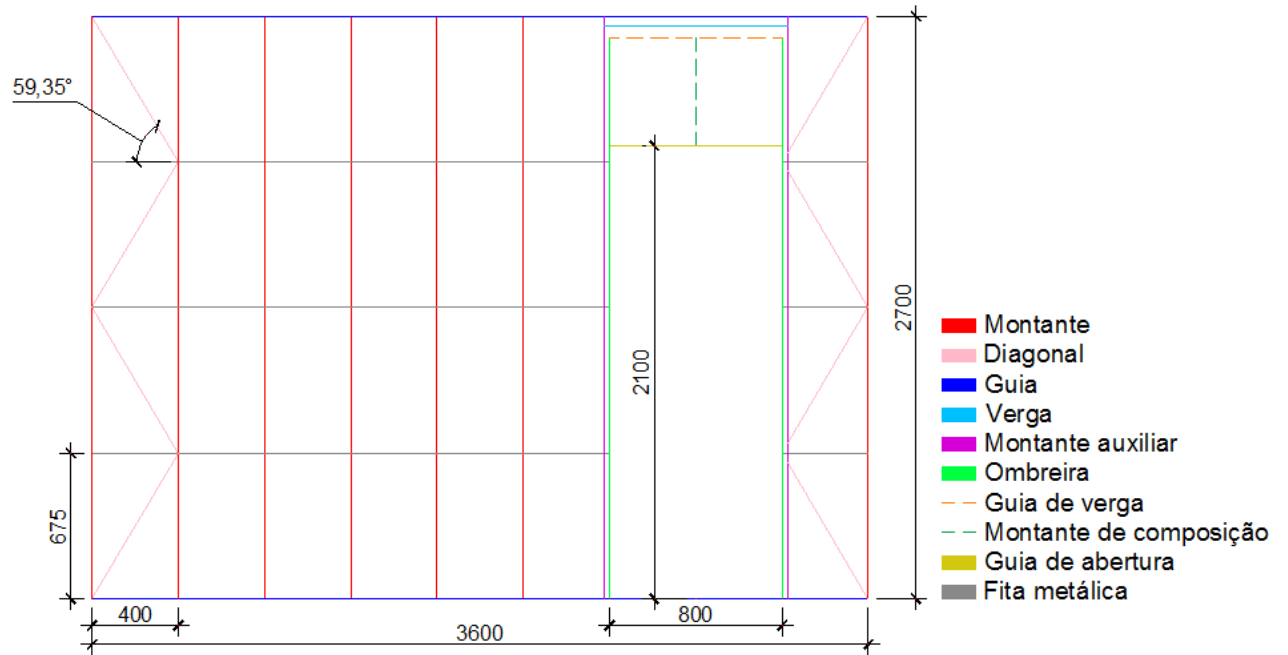
Uma das alternativas encontradas quando se necessita de maior rigidez é a utilização de extremos treliçados. Sendo assim, optou-se por estudar também mais duas situações de painéis (PPr e PS), utilizando este princípio de treliças nas extremidades dos pórticos, no intuito de obter uma geometria que oferecesse condições de se utilizar perfis de menores espessuras do que as normalmente empregadas.

As Figuras 4.10 a 4.13 trazem os painéis aqui denominados de painel estrutural proposto. Eles utilizam o princípio das extremidades laterais treliçadas, sem o emprego de fitas diagonais de contraventamento, e três níveis de fitas horizontais, fato que os diferencia dos painéis normalmente utilizados e, por isto, demanda estudos que avaliem seu comportamento e viabilidade.



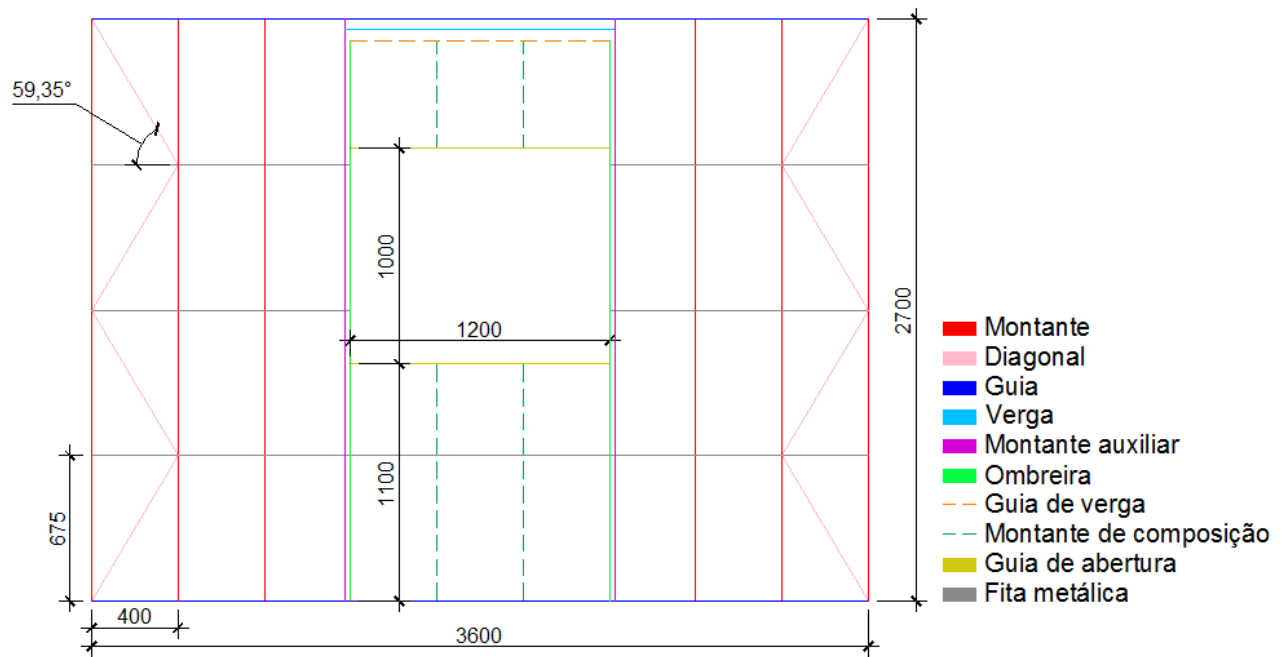
Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.11 - Painel estrutural proposto com abertura para porta (PPr_P)



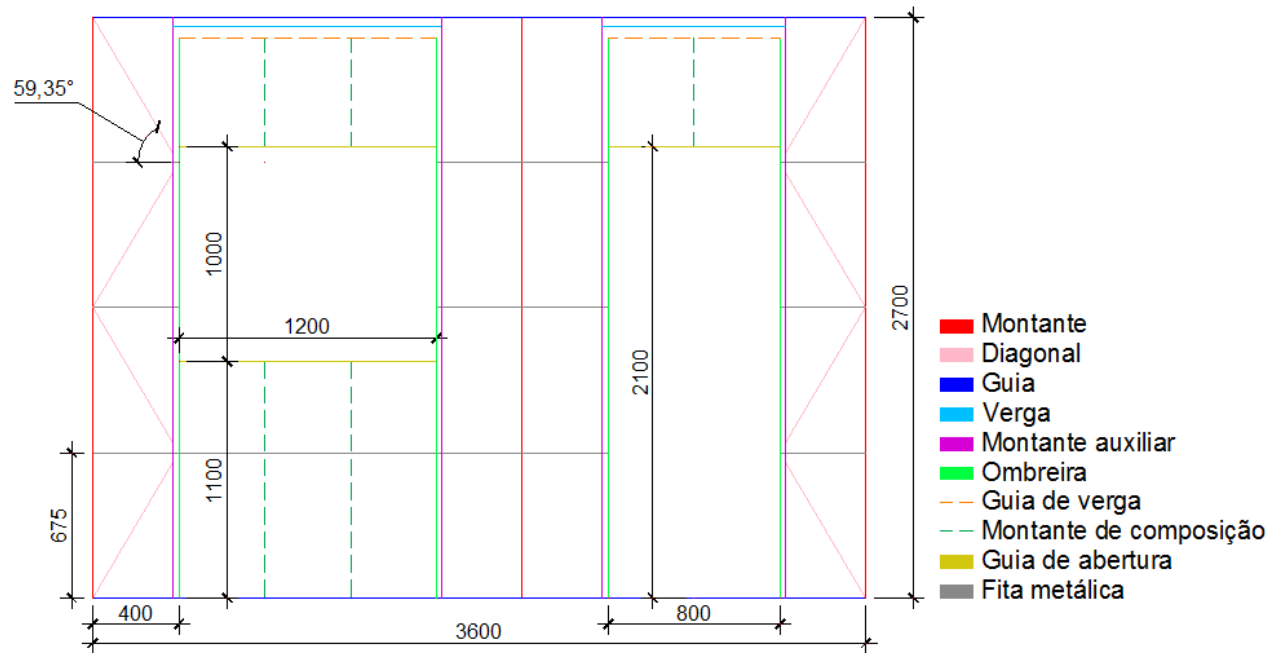
Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.12 - Painel estrutural proposto com abertura para janela (PPr_J)



Fonte: do Próprio Autor

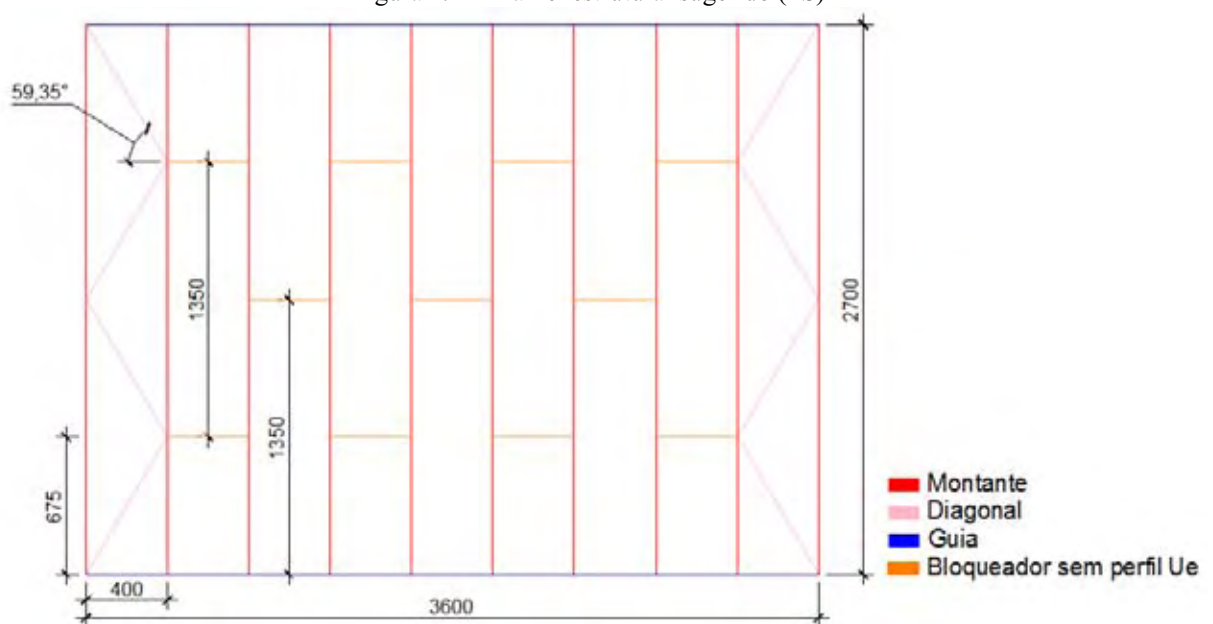
Figura 4.13 - Pannel estrutural proposto com abertura para porta e janela (PPr_PJ)



Fonte: do Próprio Autor

A Figura 4.14 apresenta um painel em que a configuração foi sugerida e cujo comportamento foi avaliado e comparado com o do painel proposto e o do painel comumente utilizado em um estudo preliminar, que se encontra detalhado no Capítulo 5 deste trabalho. A intenção foi a de analisar o efeito da substituição das fitas diagonais de contraventamento pelas extremidades treliçadas, e das fitas horizontais por bloqueadores simples, feitos apenas de perfis U.

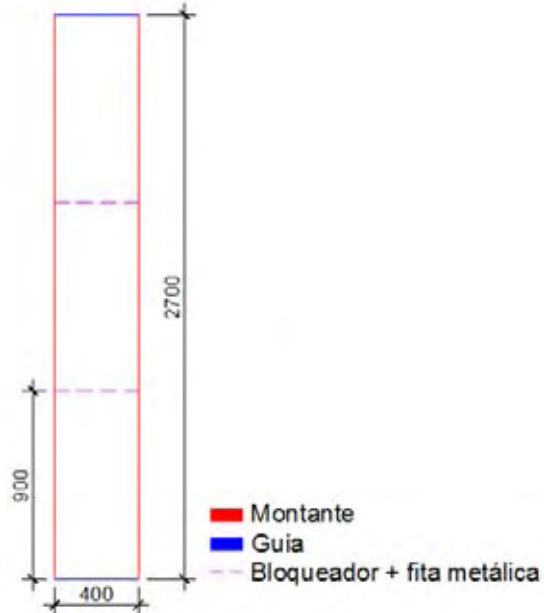
Figura 4.14 - Pannel estrutural sugerido (PS)



Fonte: do Próprio Autor

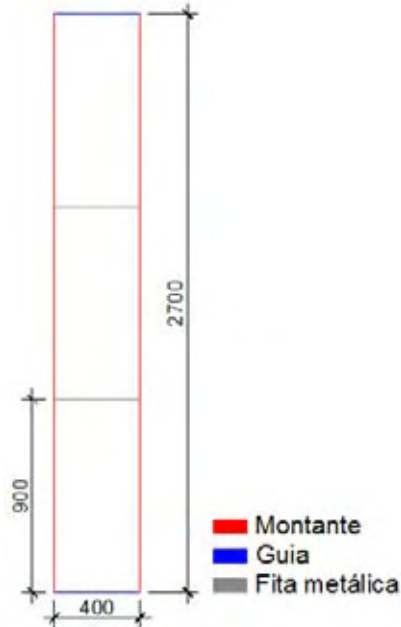
As Figuras 4.15 a 4.21 apresentam pórticos com parcelas das geometrias dos painéis, que foram utilizadas no estudo preliminar, com o intuito de avaliar frações isoladas dos mesmos e a contribuição destas parcelas no todo.

Figura 4.15 – Fração isolada de painel comumente utilizado com bloqueador e fita metálica (FPC_BF)



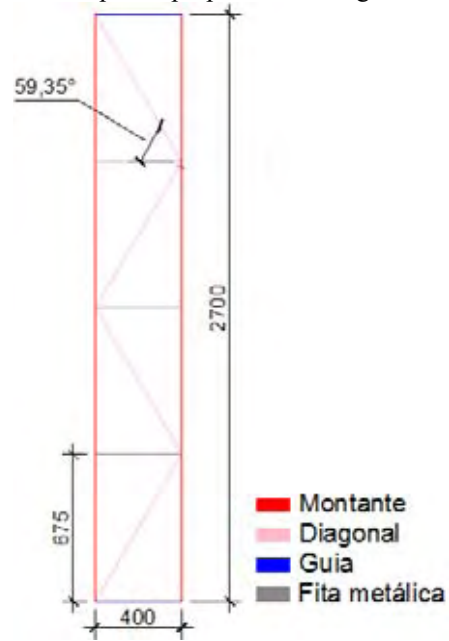
Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.16 - Fração isolada de painel comumente utilizado com fita metálica (FPC_F)



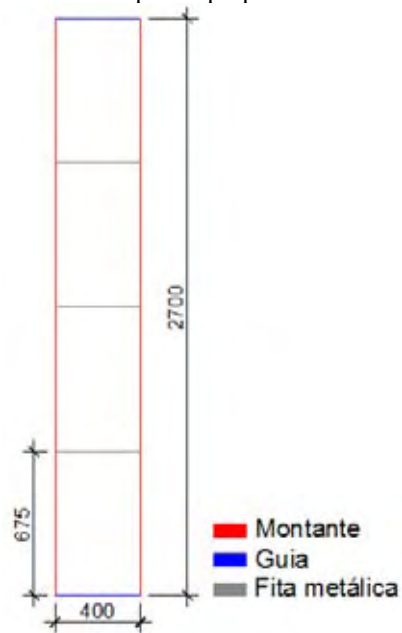
Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.17 - Fração isolada de painel proposto com diagonal e fita metálica (FPPr_DF)



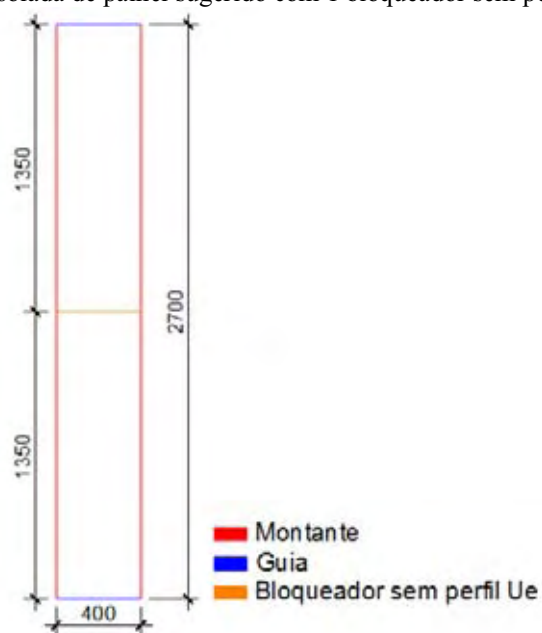
Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.18 - Fração isolada de painel proposto com fita metálica (FPPr_F)



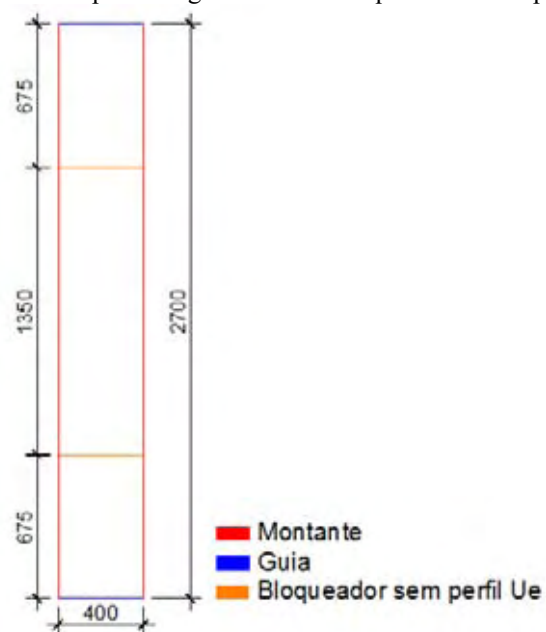
Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.19 - Fração isolada de painel sugerido com 1 bloqueador sem perfil Ue (FPS_1BsUe)



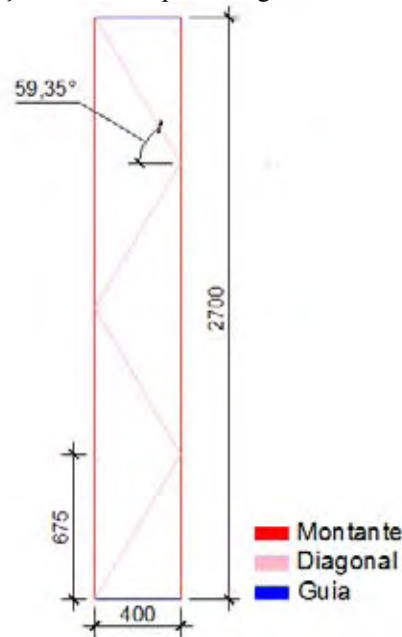
Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.20 - Fração isolada de painel sugerido com 2 bloqueadores sem perfil Ue (FPS_2BsUe)



Fonte: do Próprio Autor

Figura 4.21 - Fração isolada de painel sugerido com diagonal (FPS_D)



Fonte: do Próprio Autor

4.2.2 Perfis

A Tabela 4.1 apresenta os tipos de perfis, suas dimensões e a utilização de cada um deles nos painéis analisados. A espessura indicada nesta tabela refere-se à espessura nominal da chapa (t_n), igual à soma das espessuras da chapa de aço e do revestimento metálico. Porém, como a NBR 15253 (ABNT, 2005) recomendou que o dimensionamento dos perfis estruturais deve ser realizado utilizando-se a espessura da chapa sem os revestimentos, as análises, tanto dos esforços solicitantes quanto dos esforços resistentes, foram feitas descontando-se 0,036 mm da espessura nominal, da mesma maneira que esta norma considerou em suas tabelas de perfis de séries comerciais.

A NBR 15253 (ABNT, 2005) apresenta tabelas de perfis U e Ue de séries comerciais com espessuras a partir de 0,8 mm. Porém, a maioria dos perfis para *LSF* encontrados no mercado possuem espessura a partir de 0,95 mm. Sendo assim, optou-se, no presente trabalho, por utilizar como espessura máxima dos perfis principais a medida de 0,95 mm.

Destaca-se ainda que, como um dos objetivos do trabalho foi tentar encontrar uma configuração de painel que apresentasse os esforços resistentes necessários com o emprego de

perfis de espessuras mais finas, também foram feitas análises com perfis de 0,5 mm de espessura, tal qual a utilizada para o sistema *Drywall*.

Tabela 4.2 – Tipos de perfis e utilização

Tipo de perfil	Dimensões					Utilização
	b _w mm	b _f mm	D mm	t _n mm	r _i mm	
U 92 x 38 x 0,95	92	38	-	0,95	0,95	Guia Guia de verga Guia de abertura Diagonal Bloqueador
U 90 x 30 x 0,5	90	30	-	0,5	0,5	
Ue 90 x 40 x 12 x 0,95	90	40	12	0,95	0,95	Montante Montante auxiliar Montante de composição Verga Ombreira Bloqueador
Ue 88,5 x 35 x 7 x 0,5	88,5	35	7	0,5	0,5	
Onde: - b _w , b _f , D, t _n são indicados nas Figuras 3.1 e 3.2; - r _i é o raio interno de dobramento do perfil; - no caso dos pórticos comumente utilizados, bloqueador é o conjunto formado por um perfil U simples e um perfil Ue; no caso do pórtico sugerido, o bloqueador é formado apenas por um perfil U simples.						

Fonte: do Próprio Autor

No caso das fitas de aço utilizadas para travamento horizontal, Rodrigues (2006) relatou que elas devem ter pelo menos 38 mm de largura e 0,95 mm de espessura. Estas dimensões foram utilizadas nos estudos com perfis de 0,95 mm; nas análises com perfis mais esbeltos as fitas horizontais tiveram 0,5 mm de espessura. O mesmo ocorreu para as fitas diagonais de contraventamento dos painéis comumente utilizados: foram empregadas diagonais de 70 mm x 0,95 mm, e de 70 mm x 0,5 mm de espessura. Tanto as fitas horizontais como as fitas diagonais foram colocadas, em todos os casos, nos dois lados dos painéis.

4.2.3 Material

O material empregado nas análises foi a chapa fina com revestimento metálico denominada ZAR 250, que possui 250 MPa de resistência ao escoamento (f_y) e 360 MPa de resistência à ruptura (f_u), de acordo com a NBR 14762 (ABNT, 2010).

As propriedades mecânicas como módulo de elasticidade longitudinal (E), coeficiente de Poisson (ν), módulo de elasticidade transversal (G) e massa específica (ρ) são as indicadas pela NBR 14762 (ABNT, 2010), com os seguintes valores:

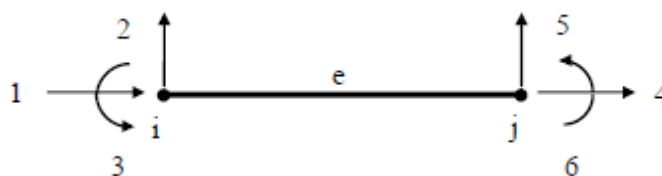
- $E = 200.000 \text{ MPa}$;
- $\nu = 0,3$;
- $G = 77.000 \text{ MPa}$;
- $\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$.

4.2.4 Elemento finito

O elemento utilizado na discretização dos perfis dos painéis é do tipo barra (*Frame*). Conforme CSI (2002 apud BEVILAQUA, 2005, p.106), “a formulação deste tipo de elemento permite a consideração dos momentos fletores, esforços axiais, torsionais e esforços cortantes, além de permitir que os elementos sejam estudados via análises lineares e não-lineares.”

Esse elemento possui duas extremidades (“i” e “j”) e seis graus de liberdade para cada uma delas, sendo três rotações e três translações (CHEUNG, 2003). Porém, como os painéis aqui analisados são pórticos planos, o elemento do tipo barra possui apenas três graus de liberdade por nó, conforme a Figura 4.22.

Figura 4.22 – Elemento de barra para pórtico plano



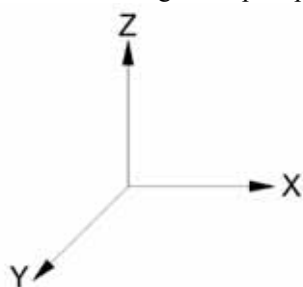
Fonte: do Próprio Autor

4.2.5 Conectividade e graus de liberdade

Uma vez que a orientação dos montantes é feita de modo que a maior inércia dificulte a instabilidade destes elementos no plano perpendicular ao do painel, e considerando o fato de

que os painéis ortogonais conferem certa rigidez no plano perpendicular ao eixo de maior inércia dos montantes, fazendo com que, conseqüentemente, ocorra o fenômeno de instabilidade no plano do painel, as estruturas analisadas foram tratadas como pórticos planos, com coordenadas globais conforme a Figura 4.23. Isto confere às suas barras os seguintes graus de liberdade: deslocamento horizontal no eixo x (U_x), deslocamento vertical no eixo z (U_z) e rotação em torno do eixo y (R_y).

Figura 4.23 – Coordenadas globais para pórtico plano



Fonte: do Próprio Autor

Sendo assim, para corresponder os modelos numéricos às estruturas em *LSF*, as condições de contorno foram de tal forma que os painéis foram rotulados às bases, ou seja, com a rotação livre em torno do eixo y ; a rotação em torno do eixo longitudinal local das barras (torção) foi impedida. Isto se confirma na prática, uma vez que, conforme Bevilaqua (2005), os painéis são simplesmente apoiados sobre as fundações, com os montantes restringidos à torção no encontro com as guias superior e inferior.

Todos os elementos dos painéis foram rotulados em suas extremidades, exceto os bloqueadores (com e sem perfil U_e) das frações isoladas de painéis, que foram engastados para que não houvesse problemas de hipostaticidade estrutural. Os elementos correspondentes às vergas também foram rotulados, evitando assim a transmissão de momentos aos montantes. No caso específico dos painéis com contraventamento em “X” e em “V”, as fitas metálicas em diagonal foram modeladas de modo que atuassem apenas à tração.

Para que houvesse a transferência dos esforços aplicados sobre a guia para a verga, e entre a ombreira e o montante auxiliar, foram colocadas barras rígidas entre esses elementos nos pontos de aplicação das forças verticais acima da verga e na altura das fitas horizontais e da

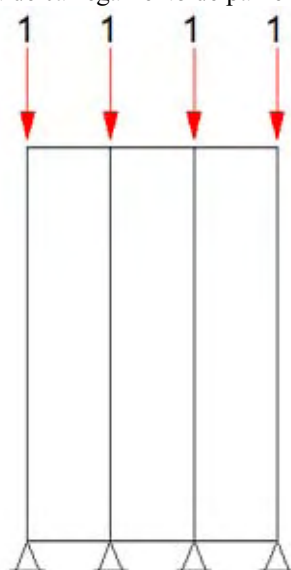
guia de verga. Nos painéis comumente utilizados, essas barras também foram colocadas na altura da guia de abertura.

4.2.6 Carregamento vertical

O presente trabalho foi efetuado por meio da utilização de duas situações de carregamento vertical: uma para a obtenção dos fatores de flambagem, que correspondem a uma escala relativa à força que deve ser aplicada para que ocorra a flambagem, sendo proporcional ao valor da força aplicada, e outra para a aquisição dos esforços axiais e momentos fletores.

Para a obtenção dos fatores de flambagem, os painéis foram submetidos a carregamentos verticais unitários nos pontos situados nos extremos superiores dos montantes, conforme a Figura 4.24.

Figura 4.24 – Esquema de carregamento de painel com esforços unitários



Fonte: do Próprio Autor

Para a aquisição dos esforços axiais e momentos fletores, os painéis receberam, nos mesmos pontos de aplicação do carregamento unitário, carregamentos reais provenientes de ações permanentes e sobrecargas correspondentes a uma edificação de um pavimento, onde as estruturas de parede suportam ações de telhado e forro. Estas ações foram retiradas do documento de Rodrigues (2006). Este autor utiliza, em parte do seu trabalho, os mesmos carregamentos que constam no documento *Method For Residencial Cold-Formed Steel*

Framing, de Elhajj e Bielat (2000), onde são apresentadas tabelas para o pré-dimensionamento de estruturas de aço de edificações residenciais projetadas segundo o conceito do sistema *LSF*.

A Tabela 4.2 apresenta os valores das ações características reais consideradas nas análises lineares e não-lineares. O peso próprio dos painéis foi considerado automaticamente pelo programa.

Tabela 4.2 – Ações características em kN/m²

Tipo de ação		Valor (kN/m ²)
Permanente	Telhados em geral (estrutura de aço e painéis de vedação)	0,72
	Forro (forro de gesso acartonado com 12,5 mm de espessura e estrutura de aço)	0,24
Sobrecarga	Telhado	0,25
	Laje de forro	1,44

Fonte: do Próprio Autor

Para a área de influência, foi considerado um cômodo de comprimento igual à largura dos painéis, na situação mais crítica, em que o pórtico pode estar entre dois cômodos de igual tamanho. Desta maneira, uma área de 3,6 x 3,6 m resultou em uma área de influência de 3,6 x 0,4 m para cada montante, o que proporcionou as ações concentradas apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Ações características concentradas

Tipo de ação		Valor (kN)
Permanente	Telhados em geral (estrutura de aço e painéis de vedação)	1,04
	Forro (forro de gesso acartonado com 12,5 mm de espessura e estrutura de aço)	0,35
Sobrecarga	Telhado	0,36
	Laje de forro	2,07

Fonte: do Próprio Autor

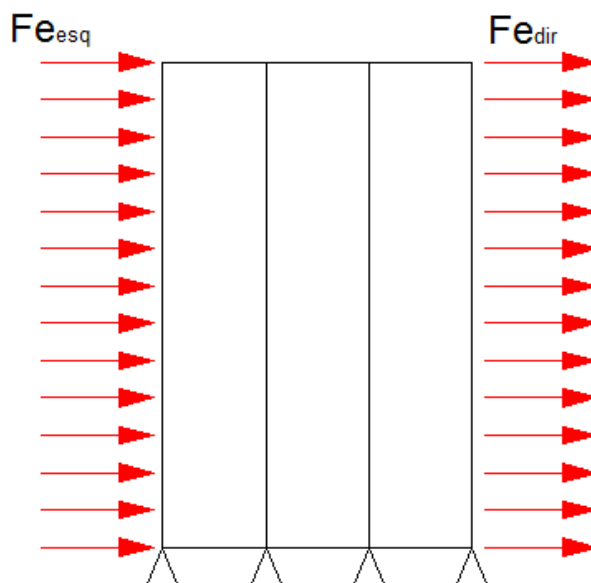
4.2.7 Ação do vento

A ação do vento aplicada nos painéis estruturais foi determinada a partir das prescrições da NBR 6123 (ANBT, 1988). Em cada um dos montantes extremos foi aplicada a força externa (F_e) (Equação 4.1), que depende do coeficiente de forma externo (C_e), da pressão dinâmica do

vento (q) e da largura de influência (L), relativa à área da superfície plana sobre a qual é calculada a força exercida pelo vento. A Figura 4.25 mostra a forma de aplicação do vento na estrutura.

$$F_e = C_e q L \quad (4.1)$$

Figura 4.25 – Esquema de carregamento de painel com ação do vento



Fonte: do Próprio Autor

Para o cálculo da pressão dinâmica do vento (q), é necessária a obtenção da velocidade característica do vento (V_k) que, por sua vez, depende da velocidade básica do vento (V_0) e dos fatores S_1 , S_2 e S_3 , que levam em conta a topografia, a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e conceitos probabilísticos.

No cálculo da pressão dinâmica do vento (q), considerou-se:

- Velocidade básica do vento: $V_0 = 40\text{m/s}$;
- Terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1$;
- Categoria IV, Classe A, para uma altura menor ou igual a 5 metros: $S_2 = 0,79$;
- Edificações para hotéis e residências: $S_3 = 1$.

Para a área de incidência de vento também foi considerado um cômodo de comprimento igual à largura dos pórticos, para o painel numa localização intermediária, assim como foi feito na

obtenção dos carregamentos verticais concentrados. Os coeficientes de forma externos (C_e) foram retirados da Tabela 4 da NBR 6123 (ABNT, 1988), para uma incidência de vento de 90° , uma vez que a incidência de vento de 0° não provoca distorção no plano dos painéis:

- Montante extremo esquerdo: $C_e = + 0,7$;
- Montante extremo direito: $C_e = -0,4$.

Assim, a força F_e obtida para o montante extremo esquerdo foi de 1,54 kN/m e para o montante extremo direito de 0,88 kN/m.

4.2.8 Combinações das ações

Com as ações nominais descritas em 4.2.1.6 e 4.2.1.7, a partir das regras de combinação apresentadas na NBR 14762 (ABNT, 2010), foram calculadas as combinações últimas e as combinações de serviço.

Para as combinações últimas de ações foi utilizado o caso de combinações últimas normais, exibida na NBR 14762 (ABNT, 2010) pela expressão a seguir (Equação 4.2):

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (4.2)$$

onde:

$F_{Gi,k}$ representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$ representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal;

γ_g e γ_q são os valores dos coeficientes de ponderação das ações permanentes e variáveis, respectivamente;

ψ_0 é o valor do fator de combinação das ações variáveis.

Para as combinações de serviço, como no sistema *LSF* as placas de fechamento podem contribuir nos esforços resistentes, optou-se por utilizar as combinações raras, que são utilizadas para os estados-limites que causam danos permanentes à estrutura ou a outros componentes da construção e para os relacionados ao funcionamento da estrutura, tais como formação de fissuras e danos aos fechamentos. A NBR 14762 (ABNT, 2010) indicou a Equação 4.3 para este caso:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\Psi_{1j} F_{Qj,k}) \quad (4.3)$$

onde:

Ψ_1 é o fator de redução para as ações variáveis.

A Tabela 4.4 reúne os valores dos coeficientes de ponderação e dos fatores de redução utilizados para o cálculo das Equações 4.2 e 4.3.

Tabela 4.4 – Coeficientes de ponderação e fatores de redução das ações

Ações		γ_g	γ_q	Ψ_0	Ψ_1
Permanente	Peso próprio	1,24	-		
	Telhado	1,35			
	Forro	1,35			
Sobrecarga	Telhado	-	1,5	0,8	0,7
	Laje forro		1,5	0,8	0,7
Vento				1,4	0,6

Fonte: do Próprio Autor

Como foram considerados três tipos de ação variável, foi possível obter três combinações para o estado-limite último e três combinações para o estado-limite de serviço.

4.2.9 Classificação das estruturas quanto à sensibilidade a deslocamentos laterais

Em seu item 8.1, a NBR 14762 (ABNT, 2010) informou que deve ser empregado o procedimento de análise estrutural da NBR 8800 (ABNT, 2008), que estabelece critérios de avaliação da importância do efeito dos deslocamentos na resposta da estrutura, bem como estabelece limites para o emprego da análise linear.

Para efeito da NBR 8800 (ABNT, 2008), as estruturas são classificadas quanto à estabilidade a deslocamentos laterais em estruturas de pequena deslocabilidade, média deslocabilidade ou grande deslocabilidade. A classificação deve ser feita, de acordo com esta norma, através da relação, em todos os andares, entre o deslocamento lateral do andar relativo à base obtido na análise de segunda ordem e o obtido na análise de primeira ordem, em todas as combinações últimas de ações. Se a relação for igual ou inferior a 1,1, a estrutura é classificada como de pequena deslocabilidade; se for superior a 1,1 e igual ou inferior a 1,4, a estrutura é de média deslocabilidade; caso a relação seja superior a 1,4, a estrutura é classificada como de grande deslocabilidade.

A NBR 8800 (ABNT, 2008) também informou que, para a determinação dos esforços solicitantes para os estados-limites últimos, devem ser considerados os efeitos globais e locais de segunda ordem, e que efeitos de imperfeições devem ser levados em conta, da seguinte maneira:

- Estruturas de pequena e média deslocabilidade: os efeitos das imperfeições geométricas iniciais devem ser levados em conta diretamente na análise. Admite-se que esses efeitos sejam considerados por meio da aplicação, em cada andar, de uma força horizontal equivalente, denominada nessa norma de força nocional, igual a 0,3% do valor das cargas gravitacionais de cálculo aplicadas em todos os pilares e outros elementos resistentes a cargas verticais, no andar considerado.
- Estruturas de média deslocabilidade: considerar os efeitos das imperfeições iniciais de material, reduzindo-se a rigidez à flexão e a rigidez axial das barras para 80% dos valores originais;
- Estruturas de grande deslocabilidade: deve ser feita análise rigorosa, levando em consideração as não-linearidades geométricas e de material.

Para a determinação das respostas aos estados-limites de serviço, a NBR 8800 (ABNT, 2008) estabeleceu que não é necessário considerar as imperfeições iniciais geométricas e de material, e que, para as estruturas de pequena e média deslocabilidade, pode ser feita análise elástica de primeira ordem.

De posse dessas informações, as estruturas foram classificadas quanto à sensibilidade aos deslocamentos laterais, e os critérios normativos mencionados foram seguidos de acordo com a classificação estrutural dos painéis.

No caso específico dos estudos não-lineares, foram realizadas análises em teoria de segunda ordem com a consideração do parâmetro de não-linearidade geométrica P-Delta na definição dos casos de carregamento requerida pelo programa. Segundo Wilson (2002), numa análise não-linear elástica, as barras estruturais esbeltas submetidas à uma força de compressão centrada podem sofrer redução em sua rigidez lateral, sendo que uma pequena carga lateral pode provocar sua flambagem global.

O valor da força nomencl horizontal aplicada nos casos em que a estrutura apresentou pequena ou média deslocabilidade foi de 0,056 kN, obtida pela Equação 4.4:

$$F_{\text{nomencl}} = 0,003 * (1,04 + 0,35) * 1,35 * 10 = 0,056 \text{ kN} \quad (4.4)$$

onde:

1,04 é o valor da ação permanente de telhado;

0,35 é o valor da ação permanente de forro;

1,35 é o valor do coeficiente de ponderação das ações permanentes;

10 é o número de montantes que recebem as cargas gravitacionais de cálculo.

4.3 Procedimento para a verificação dos perfis no programa mCalcPerfis

De posse dos esforços que atuam nos elementos metálicos, foi feita a verificação da capacidade resistente dos perfis no programa mCalcPerfis, cuja base de cálculo se dá pelos procedimentos da NBR 14762 (ABNT, 2010). Este programa possibilitou a verificação dos esforços resistentes à tração, compressão, cortante e momentos fletores; porém, como não calcula combinação de esforços, foi necessário computar estes valores manualmente.

4.4 Procedimento para a verificação dos esforços combinados

Em suas diretrizes para o projeto estrutural, Rodrigues (2006) informou que os elementos dos painéis em *LSF* devem ser dimensionados resistindo às solicitações e combinações de solicitações conforme indicado a seguir:

- Guias: dimensionadas à compressão;
- Montantes: os montantes das paredes internas devem ser dimensionados à compressão e à tração atuando isoladamente; os montantes das paredes externas devem ser dimensionados à flexo-compressão e à flexo-tração;
- Vergas: dimensionadas à flexão, à cortante, ao enrugamento da alma, à combinação cortante-momento fletor e ao enrugamento da alma-momento fletor;
- Fitas diagonais de contraventamento: trabalham somente à tração.

Além das verificações indicadas por Rodrigues (2006), também efetuou-se a verificação dos perfis das diagonais treliçadas e dos bloqueadores aos esforços axiais, ao momento fletor e à combinação esforço axial-momento fletor. As verificações aos esforços combinados, realizadas manualmente, foram feitas de acordo com os itens a seguir.

4.4.1 Verificação de barras submetidas à flexão composta

A força normal solicitante de cálculo e os momentos fletores solicitantes de cálculo devem satisfazer, de acordo com a NBR 14762 (ABNT, 2010), a expressão de interação indicada a seguir (Equação 4.5):

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (4.5)$$

onde:

N_{sd} é a força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável, considerada constante na barra;

$M_{x,Sd}$ e $M_{y,Sd}$ são os momentos fletores solicitantes de cálculo, na seção considerada, em relação aos eixos x e y, respectivamente;

N_{Rd} é a força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

$M_{x,Rd}$ e $M_{y,Rd}$ são os momentos fletores resistentes de cálculo, em relação aos eixos x e y, respectivamente; é o maior momento entre aquele oferecido pelo início de escoamento da seção efetiva e o referente à flambagem lateral com torção.

4.4.2 Verificação de barras submetidas ao momento fletor e força cortante combinados

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, a NBR 14762 (ABNT, 2010) determinou que o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo, na mesma seção, devem satisfazer à seguinte expressão de interação (Equação 4.6):

$$\left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (4.6)$$

onde:

M_{Sd} é o momento fletor solicitante de cálculo;

M_{Rd} é o momento fletor resistente de cálculo, referente ao início de escoamento da seção efetiva;

V_{Sd} é a força cortante solicitante de cálculo;

V_{Rd} é a força cortante resistente de cálculo.

4.4.3 Verificação de barras submetidas ao enrugamento da alma e momento fletor combinados.

Pela ausência deste tipo de combinação de ações, tanto na NBR 14762 (ABNT, 2010) quanto na NBR 8800 (ABNT, 2008), foi utilizada a expressão que consta na S100 (AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE - AISI, 2007) para esta verificação (Equação 4.7):

$$0,88 \left(\frac{P_{Sd}}{P_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)^2 \leq 1,46 * 0,9 \quad (4.7)$$

onde:

P_{Sd} é a força localizada na mesa da barra cuja alma é solicitada por compressão;

P_{Rd} é a força resistente de cálculo ao enrugamento da alma, calculada conforme o item 5.7.4 da NBR 8800 (ABNT, 2008);

M_{Sd} é o momento fletor solicitante de cálculo;

M_{Rd} é o momento fletor resistente de cálculo, referente ao início de escoamento da seção efetiva.

4.5 Procedimento para a verificação dos deslocamentos máximos

O Anexo A da NBR 14762 (ABNT, 2010) apresenta os valores dos deslocamentos máximos requeridos para situações usuais nas construções, utilizados para a verificação do estado-limite de serviço de deslocamentos excessivos da estrutura. Para o deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base, para edifícios de um pavimento, esta norma estabelece um valor máximo de $H/300$, onde H é a altura total do pilar. Sendo assim, o deslocamento horizontal máximo dos painéis aqui estudados deve ser de 9 mm.

Para as vergas, considerou-se a recomendação normativa para vigas de cobertura, onde o deslocamento vertical máximo é de $L/250$, sendo L o vão teórico entre apoios. Assim, o deslocamento vertical máximo recomendado para as vergas aqui analisadas é de 3,41 mm e 5,01 mm para vergas de porta e janela, respectivamente.

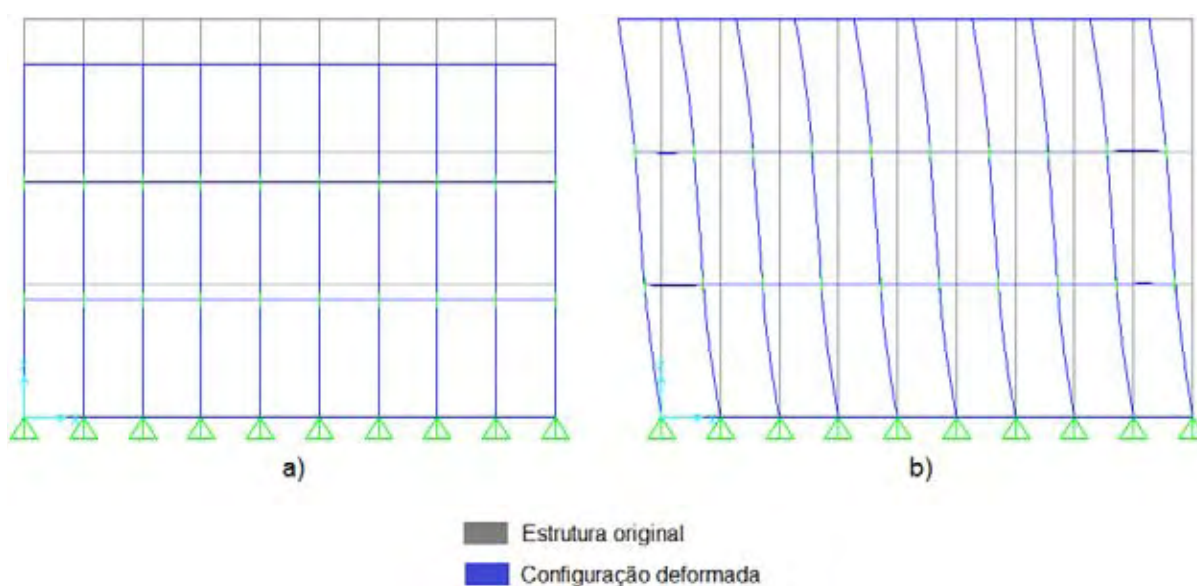
5 Estudo preliminar

Para um primeiro estudo foram feitas, no SAP2000, análises estáticas lineares e de flambagem global, com a aplicação de carregamentos verticais unitários nos pórticos que representam frações isoladas dos painéis principais, no painel cuja configuração foi sugerida (PS), no painel de geometria comumente utilizada, sem contraventamento em “X” (PC), e no painel proposto (PPr).

Nesta primeira etapa não foram analisados painéis com abertura de portas e janelas. Objetivou-se, neste estudo preliminar, estudar o comportamento de cada um destes pórticos e constatar, entre o painel PPr e o painel PS, qual das configurações geométricas proporciona o melhor comportamento estrutural, a fim de se estabelecer uma comparação com o painel PC e então efetuar, posteriormente, as demais análises descritas no capítulo anterior.

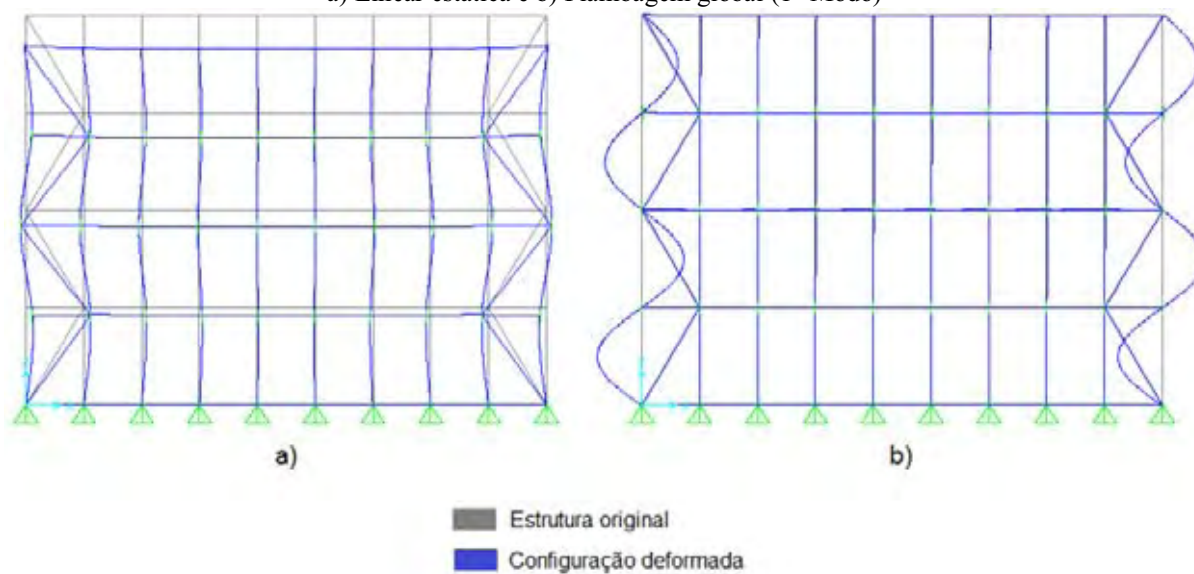
As figuras 5.1, 5.2 e 5.3 exibem a configuração deformada dos três pórticos principais do trabalho ao se efetuar a análise linear estática e a análise de flambagem global com o carregamento unitário vertical.

Figura 5.1 – Configuração deformada do painel PC nas análises:
a) Linear estática e b) Flambagem global (1º Modo)



Fonte: do Próprio Autor

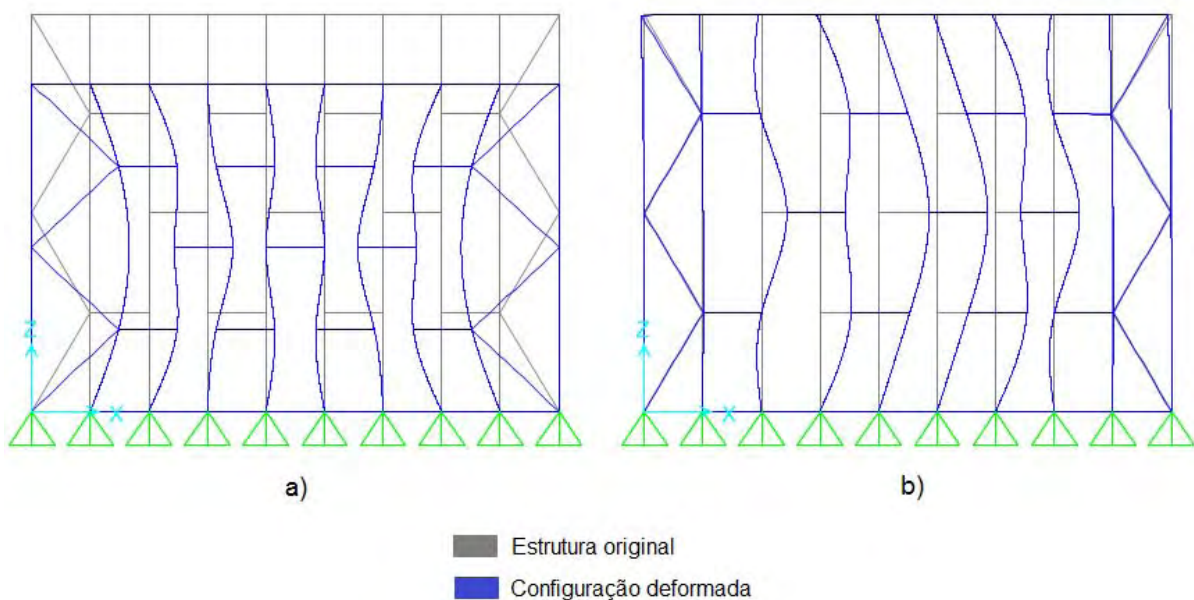
Figura 5.2 – Configuração deformada do painel PPr nas análises:
a) Linear estática e b) Flambagem global (1º Modo)



Fonte: do Próprio Autor

Nota-se, na Figura 5.2 b), que a descontinuidade estrutural proporcionou uma flambagem maior no montante extremo, se comparada à flambagem do montante situado logo em seguida, e que apresenta os mesmos travamentos.

Figura 5.3 – Configuração deformada do painel PS nas análises:
a) Linear estática e b) Flambagem global (1º Modo)



Fonte: do Próprio Autor

A Tabela 5.1 apresenta os deslocamentos horizontais de topo obtidos com a análise linear estática, e o fator de flambagem para o 1º Modo e os deslocamentos horizontais de topo, adquiridos com a análise da flambagem global.

Tabela 5.1 – Resultados das análises lineares estáticas e de flambagem global

	Pórtico	Espessura dos perfis e das fitas (t_n) (mm)	Linear Estática	Flambagem global	
			Desloc. Horiz. de Topo (mm)	Fator de flambagem (1º Modo)	Desloc. Horiz. de Topo (mm)
Painel comumente utilizado	FPC_BF	0,95	4,66 E-19	21,45	924,21
	FPC_F		2,36 E-16	11,34	1122,71
	PC		9,27 E-16	13,56	490,96
Painel proposto	FPPr_DF	0,95	1,30 E-3	165,98	0,19
		0,5	2,00 E-3	53,36	0,08
	FPPr_F	0,95	9,00 E-19	18,21	1112,30
		0,5	2,36 E-14	7,62	1059,14
	PPr	0,95	4,10 E-3	185,46	4,44
		0,5	9,40 E-3	59,81	0,11
Painel sugerido	FPS_D	0,95	4,00 E-4	42,28	1,52 E-05
		0,5	7,00 E-4	13,51	1,39 E-05
	FPS_1BsUe	0,95	1,39 E-14	7,37	1111,25
		0,5	5,39 E-14	2,25	1115,94
	FPS_2BsUe	0,95	3,31 E-14	21,79	1135,31
		0,5	1,335 E-14	6,54	1138,99
	PS	0,95	1,00 E-4	40,55	22,34
		0,5	2,00 E-4	13,10	14,65

Fonte: do Próprio Autor

5.1 Considerações preliminares

A utilização de carregamentos unitários nesta primeira etapa de estudos resultou em deslocamentos horizontais provenientes da análise linear estática muito pequenos, que poderiam ser julgados como nulos. Porém, como estes deslocamentos não são resultantes de carregamentos reais, eles foram aqui considerados para que se pudesse avaliar a dimensão da diferença destes deslocamentos entre os vários casos analisados e para que se acompanhasse a ordem de grandeza da variação destes deslocamentos com o aumento da esbeltez dos perfis.

Com a apreciação dos resultados, tanto das configurações deformadas como dos valores numéricos, observou-se que o painel PPr ofereceu o melhor comportamento quanto à estabilidade global. Ele apresentou, para o 1º Modo de flambagem e com perfis de 0,95 mm de espessura, um fator de flambagem 13,7 vezes maior que o fornecido pelo painel PC e 4,6 vezes maior que o fornecido pelo painel PS. Com perfis de espessura de 0,5 mm o fator de flambagem do painel PPr também foi muito maior que o dos demais painéis, sendo 4,4 vezes e 4,6 vezes maior que o dos casos de PC e PS com 0,5 mm, respectivamente. Tanto com perfis de 0,95 mm como de 0,5 mm os painéis PPr e PS obtiveram deslocamentos horizontais na análise de flambagem global menores que os do caso comumente utilizado.

O painel PS também apresentou bons resultados. Seu fator de flambagem com perfis de 0,95 mm foi aproximadamente 3 vezes maior que o do painel PC, e o deslocamento na análise linear foi cerca de 40 vezes menor que o do caso PPr. Porém, seu fator de flambagem ainda foi menor que o do caso proposto. Observou-se que os bloqueadores sem perfil Ue e a lateral treliçada utilizados como travamento no painel PS, apesar de proporcionarem um deslocamento horizontal na flambagem pequeno, não possibilitaram a obtenção de fatores críticos tão elevados quanto os proporcionados pela combinação das fitas metálicas e da lateral treliçada no caso do painel PPr.

Foi notório o pequeno deslocamento horizontal proporcionado pelo painel PC na análise linear estática; o valor auferido foi da ordem de 10^{-16} mm, enquanto que para os pórticos PPr e PS os valores foram da ordem de 10^{-3} mm e 10^{-4} mm, respectivamente. Porém, o fator de flambagem para o painel PC foi o menor comparado aos outros dois painéis, indicando que sua configuração proporciona uma menor carga crítica de flambagem.

Analisando as frações de painéis, foi possível observar que foram as diagonais, ou seja, as laterais treliçadas, as principais responsáveis pelos valores mais elevados dos fatores de flambagem e pelos valores mais baixos dos deslocamentos na flambagem dos painéis PPr e PS, em comparação ao painel PC.

Considerando os fatores analisados até este momento, observou-se que o painel PPr possui um bom comportamento quanto à estabilidade estrutural. Apesar de ter apresentado deslocamentos horizontais maiores que os fornecidos pelo PC na análise linear estática, estes deslocamentos ainda foram muito pequenos, da ordem de zero milímetros. Além disso, o

painel PPr forneceu um fator crítico de flambagem muito maior que os demais painéis e com deslocamentos na flambagem ainda menores que os do caso de PC, mesmo com a utilização de perfis de menores espessuras.

Portanto, constatou-se que o painel PPr foi melhor do que o painel PS, para ser utilizado na continuação do trabalho. De posse dos resultados preliminares, foi possível prosseguir os estudos com as análises não-lineares, carregamentos reais e de vento, consideração de aberturas e de fitas de contraventamento em “X” e com a verificação dos perfis de acordo com a NBR 14762 (ABNT, 2010), para constatar a real viabilidade do painel proposto frente aos casos normalmente utilizados.

6 Resultados e discussões

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas análises dos painéis e as discussões pertinentes de cada situação específica.

6.1 Resultados da sensibilidade a deslocamentos laterais

Antes de se obter os esforços solicitantes das barras dos painéis, efetuou-se a análise quanto à sensibilidade aos deslocamentos laterais, para que pudesse ser utilizada as recomendações normativas de cada caso específico. As Tabelas 6.1 e 6.2 apresentam os resultados obtidos para os painéis com elementos de 0,95 mm e 0,5 mm de espessura, respectivamente. Salienta-se que as combinações que constam nas tabelas foram feitas de acordo com o item 4.2.8 e representam as seguintes condições:

- Combinação 1: combinação em que a sobrecarga de telhado é a ação variável principal;
- Combinação 2: combinação em que a sobrecarga de forro é a ação variável principal;
- Combinação 3: combinação em que o vento é a ação variável principal.

Tabela 6.1 – Análise de sensibilidade a deslocamentos laterais dos painéis com perfis de 0,95 mm de espessura

Painéis com perfis de 0,95 mm de espessura	Combinação	Análise de 1ª ordem (mm)	Análise de 2ª ordem (mm)	Sensibilidade a desloc. laterais	
PC	1	53,79	83,82	1,6	Grande
	2	53,79	89,02	1,7	
	3	87,13	133,80	1,5	
PC_J	1	52,06	87,33	1,7	Grande
	2	52,06	91,81	1,8	
	3	86,77	140,38	1,6	
PC_P	1	60,17	104,48	1,7	Grande
	2	60,18	113,15	1,9	
	3	100,22	170,27	1,7	
PC_PJ	1	67,62	138,04	2,0	Grande
	2	67,61	155,31	2,3	
	3	112,76	223,48	2,0	
PC_X	1	1,11	1,11	1,0	Pequena
	2	1,14	1,14	1,0	
	3	1,65	1,66	1,0	
PC_J_X	1	2,52	2,61	1,0	Pequena
	2	2,67	2,71	1,0	
	3	3,22	3,26	1,0	
PC_J_V	1	1,86	1,93	1,0	Pequena
	2	1,95	1,97	1,0	
	3	2,74	2,76	1,0	
PC_P_X	1	1,48	1,48	1,0	Pequena
	2	1,53	1,54	1,0	
	3	2,08	2,09	1,0	
PC_PJ_X	1	6,15	6,40	1,0	Pequena
	2	6,29	6,57	1,0	
	3	9,30	9,72	1,0	
PPr	1	2,53	2,58	1,0	Pequena
	2	2,53	2,59	1,0	
	3	4,20	4,29	1,0	
PPr_J	1	2,61	2,65	1,0	Pequena
	2	2,61	2,66	1,0	
	3	4,34	4,42	1,0	
PPr_P	1	2,66	2,71	1,0	Pequena
	2	2,68	2,74	1,0	
	3	4,32	4,41	1,0	
PPr_PJ	1	2,82	2,86	1,0	Pequena
	2	2,84	2,89	1,0	
	3	4,53	4,61	1,0	

Fonte: do Próprio Autor

Tabela 6.2 – Análise de sensibilidade a deslocamentos laterais dos painéis com perfis de 0,5 mm de espessura

Painéis com perfis de 0,5 mm de espessura	Combinação	Análise de 1ª ordem (mm)	Análise de 2ª ordem (mm)	Sensibilidade a desloc. laterais	
PC	1	168,30	2375,07	14,1	Grande
	2	168,30	1109,03	6,6	
	3	272,65	2377,10	8,7	
PC_J	1	127,40	1651,97	13,0	Grande
	2	127,40	634,85	5,0	
	3	212,33	1658,20	7,8	
PC_P	1	148,31	1422,60	9,6	Grande
	2	148,34	1423,64	9,6	
	3	246,98	1418,86	5,7	
PC_PJ	1	163,03	1747,78	10,7	Grande
	2	163,01	21,52	0,1	
	3	271,84	1624,41	6,0	
PC_X	1	3,45	3,53	1,0	Pequena
	2	3,52	3,60	1,0	
	3	5,33	5,46	1,0	
PC_J_X	1	6,34	6,73	1,1	Pequena
	2	6,62	6,96	1,1	
	3	8,70	9,04	1,0	
PC_J_V	1	5,32	5,52	1,0	Pequena
	2	5,44	5,61	1,0	
	3	8,14	8,36	1,0	
PC_P_X	1	4,49	4,61	1,0	Pequena
	2	4,62	4,75	1,0	
	3	6,65	6,90	1,0	
PC_PJ_X	1	18,21	21,40	1,2	Média
	2	18,50	22,26	1,2	
	3	28,37	38,08	1,3	
PPr	1	5,61	5,89	1,0	Pequena
	2	5,61	5,93	1,1	
	3	9,32	8,78	0,9	
PPr_J	1	5,78	5,99	1,0	Pequena
	2	5,78	6,01	1,0	
	3	9,61	10,02	1,0	
PPr_P	1	5,87	6,15	1,0	Pequena
	2	5,91	6,22	1,1	
	3	9,52	9,97	1,0	
PPr_PJ	1	6,37	6,81	1,1	Pequena
	2	6,44	6,93	1,1	
	3	10,22	10,85	1,1	

Fonte: do Próprio Autor

A classificação obtida demonstrou que os painéis comumente utilizados sem contraventamento em “X” ou “V” resultaram, na sua totalidade, em estruturas de grande deslocabilidade. Os demais painéis comumente utilizados devidamente contraventados, exceto o painel PC_PJ_X com perfis de 0,5 mm de espessura, que apresentou média deslocabilidade, possibilitaram a obtenção de estruturas de pequena deslocabilidade. Todos os painéis propostos também resultaram em estruturas de pequena deslocabilidade.

6.2 Esforços resistentes determinados pelo programa mCalcPerfis

A Tabela 6.3 apresenta os resultados da capacidade resistente à tração, à compressão e ao momento fletor dos montantes, guias, bloqueadores e diagonais, obtidas no programa mCalcPerfis, para elementos com espessuras de 0,95 mm e 0,5 mm.

Ressalta-se que os símbolos que constam nessa tabela, e nas demais presentes a partir deste capítulo, têm os seguintes significados:

- $K_x L_x$, $K_y L_y$: comprimentos de flambagem por flexão em relação ao eixo x e y, respectivamente;
- $K_z L_z$: comprimento de flambagem por torção;
- L_b : distância entre duas seções contidas à flambagem lateral com torção (comprimento destravado);
- N_{Sd} : força axial, de tração ou de compressão, solicitante de cálculo;
- $N_{c,Rd}$: força axial de compressão resistente de cálculo;
- $N_{c,Sd}$: força axial de compressão solicitante de cálculo;
- $N_{t,Rd}$: força axial de tração resistente de cálculo;
- $N_{t,Sd}$: força axial de tração solicitante de cálculo;
- $M_{x,Sd}$: momento fletor solicitante de cálculo em torno do eixo de maior inércia;
- $M_{x,Rd}$: momento fletor resistente de cálculo em torno do eixo de maior inércia;
- $M_{y,Sd}$: momento fletor solicitante de cálculo em torno do eixo de menor inércia;

- $M_{y,Rd}$: momento fletor resistente de cálculo em torno do eixo de menor inércia;
- $V_{y,Sd}$: força cortante solicitante de cálculo no eixo de menor inércia;
- $V_{y,Rd}$: força cortante resistente de cálculo no eixo de menor inércia.

Tabela 6.3 – Resultados dos esforços resistentes à tração, à compressão e ao momento fletor

Elemento	Características (mm)		Para perfis com 0,95 mm de espessura			Para perfis com 0,5 mm de espessura		
			$N_{c,Rd}$ (kN)	$N_{t,Rd}^*$ (kN)	$M_{y,Rd}$ (kN.mm)	$N_{c,Rd}$ (kN)	$N_{t,Rd}^*$ (kN)	$M_{y,Rd}$ (kN.mm)
Montantes (Painéis comumente utilizados)	Perfil	Ue 90 x 40 x 12 x 0,95 Ue 88,5 x 35 x 7 x 0,5	-18,37	38,74	327,19	-5,55	17,78	77,7
	$K_x L_x$	2700						
	$K_y L_y$	900						
	$K_z L_z$	900						
	L_b	900						
Montantes (Painéis propostos)	Perfil	Ue 90 x 40 x 12 x 0,95 Ue 88,5 x 35 x 7 x 0,5	-19,69	38,74	327,19	-5,97	17,78	77,7
	$K_x L_x$	2700						
	$K_y L_y$	675						
	$K_z L_z$	675						
	L_b	675						
Guias	Perfil	U 92 x 38 x 0,95 U 90 x 30 x 0,5	-13,48	-	-	-3,61	-	-
	$K_x L_x$	400						
	$K_y L_y$	400						
	$K_z L_z$	400						
	L_b	400						
Bloqueador	Perfil	Tubo 90 x 40,95 x 0,95 Tubo 88,5 x 35,5 x 0,5	-30,5	52,84	503,24	-8,73	25,74	90,35
	$K_x L_x$	400						
	$K_y L_y$	400						
	$K_z L_z$	400						
	L_b	400						
Diagonal	Perfil	U 92 x 38 x 0,95 U 90 x 30 x 0,5	-11,86	34,12	155,27	-3,04	15,51	24,19
	$K_x L_x$	784,6						
	$K_y L_y$	784,6						
	$K_z L_z$	784,6						
	L_b	784,6						

*Foi descontada a área de 2 parafusos de cabeça flangeada de 4,8 mm de diâmetro, utilizados na fixação dos perfis.

Fonte: do Próprio Autor

Destaca-se que, por não haver no programa mCalcPerfis a situação empregada nos bloqueadores, utilizou-se, como aproximação, um perfil tubular com as mesmas dimensões do conjunto formado pela união do perfil Ue com o perfil U, apresentado na tabela anterior.

No caso das vergas, o programa possibilitou a obtenção dos esforços resistentes à força cortante e ao momento referente ao início de escoamento; estes esforços resistentes estão na Tabela 6.4. Calculou-se também vergas com perfis de 1,25 mm de espessura, uma vez que esses elementos possuem grande solicitação e geralmente necessitam de perfis mais espessos para suportar o carregamento solicitante.

Tabela 6.4 – Resultados dos esforços resistentes à força cortante e ao momento de início de escoamento das vergas

Elemento	Características (mm)		Esforços resistentes	
			$V_{y,Rd}$ (kN)	$M_{x,Rd}$ Início de escoamento (kN.mm)
Vergas Porta/Janela 0,5 mm de espessura	Perfil	2 Ue 88,5 x 35 x 7 x 0,5	1,9	627,03
	$K_x L_x$	853,6/1253,6		
	$K_y L_y$	400		
	$K_z L_z$	400		
	L_b	400		
Vergas Porta/Janela 0,95 mm de espessura	Perfil	2 Ue 90 x 40 x 12 x 0,95	14,56	2083,33
	$K_x L_x$	853,6/1253,6		
	$K_y L_y$	400		
	$K_z L_z$	400		
	L_b	400		
Vergas Porta/Janela 1,25 mm de espessura	Perfil	2 Ue 90 x 40 x 12 x 1,25	27,54	2875,38
	$K_x L_x$	853,6/1253,6		
	$K_y L_y$	400		
	$K_z L_z$	400		
	L_b	400		

Fonte: do Próprio Autor

6.3 Esforços resistentes obtidos manualmente

As resistências de cálculo aos esforços combinados e ao enrugamento da alma das vergas foram obtidas manualmente, uma vez que o mCalcPerfis não realiza estes cálculos. Os

esforços resistentes à tração das fitas de contraventamento em “X” e “V” também foram obtidos manualmente, pois não há no programa a opção de chapas.

O resultado da resistência de cálculo aos esforços combinados está apresentado, para cada barra, nas tabelas de cada painel, no item seguinte deste trabalho. Os esforços resistentes à tração das fitas de contraventamento em “X” e “V” estão na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Esforços resistentes à tração das fitas de contraventamento em “X” e “V”

Elemento	Perfil (mm)	Esforços resistentes	
		$N_{t,Rd}$ Escoamento da seção bruta (kN)	$N_{t,Rd}^*$ Ruptura da seção líquida fora da região da ligação (kN)
Fita para contraventamento em "X" e "V" 0,95 mm de espessura	Chapa 70 x 0,95	14,54	15,89
Fita para contraventamento em "X" e "V" 0,5 mm de espessura	Chapa 70 x 0,5	7,38	8,07
*Foi descontada a área de 1 parafuso de cabeça flangeada de 4,8 mm de diâmetro, utilizado na fixação das fitas em cada montante.			

Fonte: do Próprio Autor

Para o caso de verificação das vergas quanto ao enrugamento da alma, foi preciso determinar a força localizada de cálculo que atua na mesa da verga. Multiplicando cada ação vertical atuante na verga pelo seu respectivo coeficiente de ponderação, obteve-se uma força de 5,52 kN, que atua nos extremos da verga e ao longo do seu comprimento, nos pontos de extremidade dos montantes. Isto porque se considerou a existência de vigas alinhadas aos montantes, atendendo ao conceito de estrutura alinhada do sistema *LSF*.

Seguindo-se as orientações da NBR 8800 (ABNT, 2008) para o cálculo da força resistente da alma da verga, e considerando as vigas que se apoiam nos montantes feitas do mesmo perfil utilizado nestes montantes, obteve-se os seguintes resultados (Tabela 6.6):

Tabela 6.6 – Força resistente da alma das vergas

Elemento	Perfil (mm)	Força resistente (kN)	
		Quando a força de compressão está a uma distância da extremidade da barra MAIOR ou igual à metade da altura da seção transversal	Quando a força de compressão está a uma distância da extremidade da barra MENOR que a metade da altura da seção transversal, e para $l_n/d > 0,2$
Vergas 0,5 mm de espessura	2 Ue 88,5x35x7x0,5	2,00	1,09
Vergas 0,95 mm de espessura	2 Ue 90x40x12x0,95	8,27	4,57
Vergas 1,25 mm de espessura	2 Ue 90x40x12x1,25	14,58	8,06
Onde l_n é o comprimento de atuação da força na direção longitudinal da verga e d é a altura da seção transversal da mesma.			

Fonte: do Próprio Autor

As forças resistentes ao enrugamento da alma nas vergas de 0,5 mm e 0,95 mm de espessura foram menores do que a força solicitante; porém, desde que os demais esforços resistentes da verga sejam atendidos, elas ainda podem ser utilizadas. Para tanto, a NBR 8800 (ABNT, 2008) recomenda que se utilize um enrijecedor transversal de um dos lados da alma, ou enrijecedores transversais de ambos os lados da alma.

6.4 Análise geral dos painéis com elementos de 0,95 mm de espessura

Os itens a seguir apresentam os resultados das análises realizadas em cada painel, no programa SAP2000. Destaca-se que, para os casos de painéis com perfis de 0,95 mm de espessura, tratados neste item, foram extraídos apenas os valores dos elementos mais solicitados. Estes valores foram suficientes para informar se as estruturas resistiriam ou não às ações com a utilização destes perfis.

As tabelas dos próximos itens trazem os valores do esforço solicitante axial máximo e do respectivo momento fletor, atuante na mesma seção; do momento fletor máximo e do esforço axial, atuante na mesma seção transversal. Apresentam também os valores obtidos nas seções

críticas dos montantes, ou seja, nas seções onde a combinação entre o esforço solicitante axial e o momento fletor atuante era máxima.

Para o caso das vergas, além dos esforços cortantes e momentos fletores máximos, apresentam também o esforço cortante e o momento fletor nos pontos de força concentrada. As tabelas também trazem as verificações das combinações de esforços.

6.4.1 Painéis PC, PC_J, PC_P e PC_PJ

Para os casos dos painéis PC, PC_J, PC_P e PC_PJ não foram obtidos os esforços solicitantes, uma vez que estes pórticos apresentaram deslocamento horizontal para o estado-limite de serviço maior do que o tolerado pelas recomendações normativas. A Tabela 6.7 contém os valores destes deslocamentos.

Tabela 6.7 – Deslocamentos horizontais dos painéis PC, PC_J, PC_P e PC_PJ no estado-limite de serviço, com perfis de 0,95 mm de espessura

Painel	Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
PC	1	27,27
	2	28,66
	3	80,79
PC_J	1	24,92
	2	26,36
	3	81,98
PC_P	1	29,84
	2	31,80
	3	97,53
PC_PJ	1	36,11
	2	39,23
	3	118,26

Fonte: do Próprio Autor

Os valores auferidos demonstram que os painéis comumente utilizados necessitam de contraventamentos com fitas diagonais para que se possa obter estabilidade suficiente e deslocamentos horizontais aceitáveis.

6.4.2 Painei PC_X

A Tabela 6.8 apresenta os esforços solicitantes e a capacidade resistente à flexão composta dos montantes, bloqueadores, guias e das seções críticas dos montantes, obtidos na análise do painei PC_X.

Tabela 6.8 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes, dos bloqueadores e das guias do painei PC_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
		$N_{c,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	$N_{t,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	$M_{y,Sd}$ (kN.mm)	N_{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	-6,25	0,00	0,34	-			104,94	-4,93	0,59
	2	-6,76	0,00	0,37				105,08	-5,45	0,62
	3	-6,99	0,00	0,38				174,91	-4,82	0,80
Seções críticas dos montantes	1	-6,23	9,54	0,37	-			-		
	2	-6,75	9,56	0,40						
	3	-6,97	15,42	0,43						
	1	-5,50	59,44	0,48						
	2	-6,02	59,54	0,51						
	3	-5,75	99,08	0,62						
Bloqueador	1	-1,06	0,64	0,04	0,61	0,64	0,01	0,64	-1,06	0,04
	2	-1,06	0,64	0,04	0,61	0,64	0,01	0,64	-1,06	0,04
	3	-1,77	0,64	0,06	1,01	0,64	0,02	0,64	-1,77	0,06
Guia	1	-0,55	-		-			-		
	2	-0,55								
	3	-0,88								

Fonte: do Próprio Autor

Os resultados dos esforços de tração das fitas de contraventamento em “X” estão apresentados na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 – Tração na fita de contraventamento em “X” do painei PC_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	$N_{t,Sd}$ (kN)
Fita de contraventamento em "X"	1	2,98
	2	2,98
	3	4,94

Fonte: do Próprio Autor

A Tabela 6.10 exibe os deslocamentos horizontais máximos de topo e o peso da estrutura.

Tabela 6.10 – Deslocamento horizontal e peso do painel PC_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)	Peso (kN)
1	0,48	0,62
2	0,51	
3	1,16	

Fonte: do Próprio Autor

Analisando os resultados, foi possível observar que todos os perfis do painel PC_X atendem às solicitações impostas pelas ações. O deslocamento horizontal de topo da estrutura também atende as prescrições normativas.

6.4.3 Painel PC_J_X

A Tabela 6.11 apresenta os valores das solicitações e das combinações de esforços para a verga do painel PC_J_X. Como a utilização de verga de 0,95 mm de espessura resultou em momentos fletores superiores à capacidade resistente da mesma, foi necessário o emprego de perfis com 1,25 mm de espessura neste elemento estrutural.

Tabela 6.11 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações na verga do painel PC_J_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento-cortante	Enrugamento-momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento-cortante	Enrugamento-momento	Desloc. vertical (mm)
Verga 0,95 mm	1	9,32	249,81	0,42	1,18	2140,19	2140,19	4,72	1,16	1,61	2,52
	2	9,97	267,26	0,49	1,19	2289,56	2289,56	5,05	1,33	1,69	2,92
	3	8,85	237,09	0,38	1,18	2033,13	2033,13	4,48	1,05	1,56	2,45
Verga 1,25 mm	1	9,53	255,32	0,13	0,73	2181,95	2181,95	4,81	0,61	1,09	1,98
	2	10,19	273,15	0,15	0,73	2334,03	2334,03	5,14	0,69	1,14	2,29
	3	9,04	242,35	0,11	0,72	2073,08	2073,08	4,57	0,55	1,05	1,92

Fonte: do Próprio Autor

Os resultados da análise dos montantes, guias e bloqueadores do painel PC_J_X estão na Tabela 6.12.

Tabela 6.12 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes, dos bloqueadores e das guias do painel PC_J_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
		$N_{c,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	$N_{t,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	$M_{y,Sd}$ (kN.mm)	N_{sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	-10,56	51,03	0,73	-			109,80	-5,07	0,61
	2	-11,24	54,70	0,78				110,72	-5,43	0,63
	3	-10,63	46,02	0,72				174,43	-4,80	0,79
Seções críticas dos montantes	1	-7,27	61,98	0,59	-			-		
	2	-5,43	110,72	0,63						
	3	-4,82	170,83	0,78						
	1	-6,50	51,31	0,51						
	2	-6,91	53,64	0,54						
	3	-10,63	46,02	0,72						
Bloqueador	1	-1,07	0,64	0,04	0,61	0,64	0,01	0,64	-1,07	0,04
	2	-1,07	0,64	0,04	0,61	0,64	0,01	0,64	-1,07	0,04
	3	-1,76	0,64	0,06	1,01	0,64	0,02	0,64	-1,76	0,06
Guia	1	-0,72	-		-			-		
	2	-0,76								
	3	-0,80								

Fonte: do Próprio Autor

A Tabela 6.13 apresenta os resultados dos esforços de tração das fitas de contraventamento em “X”.

Tabela 6.13 – Tração na fita de contraventamento em “X” do painel PC_J_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	$N_{t,Sd}$ (kN)
Fita de contraventamento em "X"	1	2,93
	2	2,85
	3	4,74

Fonte: do Próprio Autor

Os deslocamentos horizontais máximos de topo e o peso da estrutura estão na Tabela 6.14.

Tabela 6.14 – Deslocamento horizontal e peso do painel PC_J_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)	Peso (kN)
1	1,27	0,77
2	1,41	
3	2,16	

Fonte: do Próprio Autor

Os resultados mostraram que todos os perfis do painel PC_J_X também atendem as solicitações impostas pelas ações e que o deslocamento horizontal de topo da estrutura e o deslocamento vertical da verga estão de acordo com o recomendado. Durante a aquisição dos resultados verificou-se que os montantes extremos e os montantes auxiliares são os perfis mais solicitados.

6.4.4 Painel PC_J_V

Os valores das solicitações e das combinações de esforços para a verga do painel PC_J_V estão na Tabela 6.15. A utilização de verga de 0,95 mm de espessura também resultou em momentos fletores superiores à capacidade resistente da mesma, sendo necessário o emprego de perfis com 1,25 mm de espessura neste elemento.

Tabela 6.15 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações na verga do painel PC_J_V com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento-cortante	Enrugamento-momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento-cortante	Enrugamento-momento	Desloc. vertical (mm)
Verga 0,95 mm	1	9,57	256,35	0,45	1,19	2214,97	2214,30	0,00	1,13	1,65	2,7
	2	10,23	274,25	0,51	1,19	2369,54	2368,89	0,00	1,29	1,72	3,12
	3	9,08	243,19	0,40	1,18	2101,64	2100,91	0,00	1,02	1,60	2,61
Verga 1,25 mm	1	9,72	260,48	0,13	0,73	2241,21	2240,27	0,00	0,61	1,11	2,08
	2	10,40	278,66	0,15	0,74	2397,52	2396,59	0,00	0,70	1,17	2,41
	3	9,22	247,09	0,12	0,72	2126,41	2125,42	0,00	0,55	1,07	2,01

Fonte: do Próprio Autor

Os resultados da análise dos montantes, guias e bloqueadores do painel PC_J_V estão apresentados na Tabela 6.16.

Tabela 6.16 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes, dos bloqueadores e das guias do painel PC_J_V com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
		N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	-10,24	27,05	0,64	-			121,39	-5,05	0,65
	2	-10,95	29,38	0,69				121,53	-5,41	0,67
	3	-9,72	19,52	0,59				202,62	-4,76	0,88
Seções críticas dos montantes	1	-10,24	99,20	0,86	-			-		
	2	-10,95	3,53	0,61						
	3	-3,64	181,21	0,75						
	1	-								
	2	-6,85	102,43	0,69						
	3	-6,16	133,90	0,74						
Bloqueador	1	-1,12	0,64	0,04	0,61	0,64	0,01	0,64	-1,12	0,04
	2	-1,12	0,64	0,04	0,61	0,64	0,01	0,64	-1,12	0,04
	3	-1,86	0,64	0,06	1,01	0,64	0,02	0,64	-1,86	0,06
Guia	1	-0,74	-		-			-		
	2	-0,74								
	3	-1,20								

Fonte: do Próprio Autor

A Tabela 6.17 apresenta os resultados dos esforços de tração das fitas de contraventamento em “V”.

Tabela 6.17 – Tração na fita de contraventamento em “V” do painel PC_J_V com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	$N_{t,Sd}$ (kN)
Fita de contraventamento em "V"	1	4,40
	2	4,41
	3	7,27

Fonte: do Próprio Autor

Os deslocamentos horizontais máximos de topo e o peso da estrutura estão na Tabela 6.18.

Tabela 6.18 – Deslocamento horizontal e peso do painel PC_J_V com perfis de 0,95 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)	Peso (kN)
1	0,83	0,72
2	0,89	
3	1,89	

Fonte: do Próprio Autor

Os valores obtidos mostraram que todos os perfis do painel PC_J_V suportam as solicitações impostas pelas ações e que o deslocamento horizontal de topo da estrutura e o deslocamento vertical da verga estão de acordo com o recomendado. Verificou-se também que os montantes extremos, os montantes auxiliares e as ombreiras são os perfis mais solicitados.

6.4.5 Painel PC_P_X

A Tabela 6.19 reúne os valores das solicitações e das combinações de esforços para a verga do painel PC_P_X. A utilização de verga de 0,95 mm de espessura resultou em momentos fletores e esforços cortantes inferiores à capacidade resistente da mesma. Apesar disto, para que se possa utilizar estes perfis, é necessário a colocação de enrijecedores transversais nos pontos de aplicação das forças de compressão situados nos extremos da verga, uma vez que a força resistente ao enrugamento nestes pontos foi menor que a força aplicada.

Tabela 6.19 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações na verga do painel PC_P_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento-cortante	Enrugamento-momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento-cortante	Enrugamento-momento	Desloc. vertical (mm)
Verga 0,95 mm	1	7,57	201,31	0,28	1,16	1144,20	1144,20	2,39	0,33	1,14	0,58
	2	8,22	220,21	0,33	1,17	1261,54	1261,54	2,64	0,40	1,19	0,67
	3	7,77	208,20	0,29	1,16	1125,24	1125,24	2,35	0,32	1,13	0,57

Fonte: do Próprio Autor

Os resultados da análise dos montantes, guias e bloqueadores do painel PC_P_X estão apresentados na Tabela 6.20.

Tabela 6.20 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes, dos bloqueadores e das guias do painel PC_P_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
		N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	-8,18	130,25	0,84	-			138,37	-7,49	0,83
	2	-8,91	135,18	0,90				142,21	-8,26	0,88
	3	-8,43	188,76	1,04				237,20	-3,95	0,94
Seções críticas dos montantes	1	-8,15	130,25	0,84	-			-		
	2	-6,43	185,76	0,92						
	3	-8,42	196,80	1,06**						
	3	-7,34	209,85	1,04*						
	3	-7,34	217,14	1,06*						
	1	-7,49	138,37	0,83						
Bloqueador	1	-1,06	0,64	0,04	0,75	0,56	0,02	0,64	-1,06	0,04
	2	-1,06	0,64	0,04	0,76	0,56	0,02	0,64	-1,06	0,04
	3	-1,78	0,64	0,06	1,24	0,56	0,02	0,64	-1,78	0,06
Guia	1	-1,23	-		-			-		
	2	-1,24								
	3	-1,96								
* Montante auxiliar direito										
** Montante auxiliar esquerdo										

Fonte: do Próprio Autor

A Tabela 6.21 apresenta os resultados dos esforços de tração das fitas de contraventamento em “X”.

Tabela 6.21 – Tração na fita de contraventamento em “X” do painel PC_P_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	N _{t,Sd} (kN)
Fita de contraventamento em "X"	1	3,33
	2	3,33
	3	5,50

Fonte: do Próprio Autor

Os deslocamentos horizontais máximos de topo e o peso da estrutura estão na Tabela 6.22.

Tabela 6.22 – Deslocamento horizontal e peso do painel PC_P_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)	Peso (kN)
1	0,69	0,67
2	0,75	
3	1,45	

Fonte: do Próprio Autor

Apesar de os deslocamentos horizontais e verticais estarem de acordo com o recomendado, a verificação da capacidade resistente à flexão composta dos montantes auxiliares resultou em valores cerca de 6% maiores do que os recomendados por norma.

6.4.6 Painel PC_PJ_X

No Painel PC_PJ_X, as vergas da porta e da janela, com 0,95 mm de espessura, não atenderam às solicitações de momentos fletores e às combinações momento-cortante e enrugamento-momento. A Tabela 6.23 traz os esforços solicitantes e a verificação da combinação de ações nas vergas deste painel.

Tabela 6.23 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações nas vergas do painel PC_PJ_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento-cortante	Enrugamento-momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento-cortante	Enrugamento-momento	Desloc. vertical (mm)
Verga da Porta 0,95 mm	1	10,87	291,17	0,58	1,20	1194,73	1194,73	2,51	0,36	1,16	0,60
	2	11,55	309,50	0,65	1,21	1311,75	1311,75	2,76	0,43	1,22	0,69
	3	13,35	357,55	0,87	1,23	1209,13	1209,13	2,55	0,37	1,17	0,63
Verga da Janela 0,95 mm	1	9,28	247,64	0,42	1,18	2147,44	2146,75	0,00	1,06	1,62	2,39
	2	10,24	273,27	0,51	1,19	2369,55	2368,88	0,00	1,29	1,72	2,76
	3	9,08	242,36	0,40	1,18	2101,70	2100,95	0,00	1,02	1,60	2,3

Fonte: do Próprio Autor

Em uma primeira análise deste painel, além de verificar a incompatibilidade das vergas, foi possível observar que o montante central e o montante auxiliar direito da porta não atenderam à solicitação de flexão (Tabela 6.24). Como foi notado, de início, que os montantes mencionados não satisfazem as condições de segurança, e diante do fato de que este trabalho tem por escopo analisar painéis onde os perfis principais possuam até 0,95 mm de espessura,

não foram apresentados os valores dos esforços dos demais elementos. Como foi notado, de início, que os montantes mencionados não satisfazem as condições de segurança, e diante do fato de que este trabalho tem por escopo analisar painéis onde os perfis principais possuam até 0,95 mm de espessura, não foram apresentados os valores dos esforços dos demais elementos.

Tabela 6.24 – Momentos fletores dos montantes central e auxiliar direito da porta, do painel PC_PJ_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Montante	Combinação	$M_{y,Sd}$ (kN.mm)
Montante central do painel	1	345,61
	2	351,48
	3	582,68
Montante auxiliar direito da porta	1	191,63
	2	193,59
	3	327,76

Fonte: do Próprio Autor

A Tabela 6.25 mostra os deslocamentos horizontais obtidos no painel PC_PJ_X. Percebeu-se que as fitas de contraventamento em “X” utilizadas no centro do painel, apesar de possibilitarem deslocamentos aceitáveis, não foram tão efetivas quanto nos demais casos em que foram empregadas, já que uma das combinações resultou em um deslocamento horizontal próximo ao valor limite recomendado por norma.

Tabela 6.25 – Deslocamento horizontal do painel PC_PJ_X com perfis de 0,95 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
1	2,61
2	2,75
3	6,56

Fonte: do Próprio Autor

6.4.7 Painel PPr

A Tabela 6.26 apresenta os resultados obtidos na análise dos montantes, diagonais e guias do painel PPr.

Tabela 6.26– Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes, diagonais e guias do painel PPr com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
		N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	-12,40	0,00	0,63	3,58	2,93	0,10	57,04	-0,32	0,19
	2	-12,86	0,00	0,65	3,15	3,59	0,09	56,54	-4,46	0,40
	3	-17,62	0,00	0,89	8,80	0,51	0,23	99,94	2,55	0,37
Seções críticas dos montantes	1	-8,91	47,96	0,60	-			-		
	2	-9,39	48,82	0,63						
	3	-11,60	74,58	0,82	2,55	99,94	0,37			
	3	-3,75	85,12	0,45	-					
Diagonal	1	-5,96	0,64	0,51	3,82	0,55	0,12	0,64	-5,96	0,51
	2	-6,10	0,64	0,52	3,70	0,55	0,11	0,64	-6,10	0,52
	3	-9,03	0,67	0,77	7,19	0,52	0,21	0,67	-9,03	0,77
Guia	1	Tração	-		-			-		
	2									
	3									

Fonte: do Próprio Autor

A Tabela 6.27 exibe os deslocamentos horizontais máximos de topo e o peso da estrutura.

Tabela 6.27 – Deslocamento horizontal e peso do painel PPr com perfis de 0,95 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)	Peso (kN)
1	0,91	0,58
2	0,91	
3	3,00	

Fonte: do Próprio Autor

Analisando os resultados, foi possível observar que todos os perfis do painel PPr atendem às solicitações impostas pelas ações. O deslocamento horizontal de topo da estrutura também atende às prescrições normativas. A configuração da estrutura permitiu que as guias tivessem apenas solicitação à tração.

6.4.8 Pannel PPr_J

A Tabela 6.28 apresenta os resultados das solicitações e das combinações de esforços para a verga do pannel PPr_J. A utilização de verga de 0,95 mm de espessura resultou em momentos fletores superiores aos esforços resistentes, sendo necessário o emprego de perfis com 1,25 mm de espessura neste elemento.

Tabela 6.28 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações na verga do pannel PPr_J com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	Desloc. vertical (mm)
Verga 0,95 mm	1	9,27	248,32	0,42	1,18	2144,49	2143,98	0,00	1,06	1,62	2,39
	2	10,23	274,01	0,51	1,19	2366,07	2365,61	0,00	1,29	1,72	2,76
	3	9,07	242,97	0,40	1,18	2098,22	2097,68	0,00	1,01	1,59	2,31
Verga 1,25 mm	1	9,42	252,38	0,12	0,72	2170,64	2169,84	0,00	0,57	1,09	2,08
	2	10,39	278,48	0,15	0,74	2394,85	2394,07	0,00	0,69	1,17	2,41
	3	9,22	246,94	0,12	0,72	2123,74	2122,92	0,00	0,55	1,07	2,01

Fonte: do Próprio Autor

Os resultados das análises dos montantes, diagonais e guias do pannel PPr_J estão apresentados na Tabela 6.29.

Tabela 6.29 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes, diagonais e guias do painel PPr_J com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
		$N_{c,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	$N_{t,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	$M_{y,Sd}$ (kN.mm)	N_{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	-12,58	0,00	0,64	3,74	3,07	0,11	63,22	-6,27	0,51
	2	-13,03	0,00	0,66	3,32	3,75	0,10	68,23	-6,91	0,56
	3	-17,96	0,00	0,91	9,02	0,63	0,23	100,66	2,96	0,38
Seções críticas dos montantes	1	-9,04	48,22	0,61	-			-		
	2	-10,91	42,86	0,68						
	3	-11,85	74,85	0,83						
	3	-17,95	12,51	0,95						
Diagonal	1	-5,98	0,64	0,51	3,78	0,55	0,11	0,64	-5,98	0,51
	2	-6,13	0,64	0,52	3,64	0,55	0,11	0,64	-6,13	0,52
	3	-9,01	0,67	0,76	7,18	0,52	0,21	0,67	-9,01	0,76
Guia	1	-0,65	-			-			-	
	2	-0,70								
	3	-0,75								

Fonte: do Próprio Autor

Os deslocamentos horizontais máximos de topo e o peso da estrutura estão na Tabela 6.30.

Tabela 6.30 – Deslocamento horizontal e peso do painel PPr_J com perfis de 0,95 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)	Peso (kN)
1	0,94	0,70
2	0,94	
3	3,1	

Fonte: do Próprio Autor

Os resultados obtidos mostraram que todos os perfis do painel PPr_J suportaram as solicitações e que o deslocamento horizontal de topo da estrutura e o deslocamento vertical da verga estão de acordo com o recomendado. Também foi observado que os montantes do extremo treliçado, os montantes auxiliares e as ombreiras são os perfis mais solicitados.

6.4.9 Painei PPr_P

A Tabela 6.31 apresenta os valores das solicitações e das combinações de esforços para a verga do painei PPr_P. A utilização de verga de 0,95 mm de espessura resultou em momentos fletores e esforços cortantes que atendem aos limites da capacidade resistente deste elemento; porém, é necessário lembrar que sua utilização só será aceitável se forem utilizados enrijecedores transversais nos pontos de aplicação dos esforços concentrados, nos extremos da verga.

Tabela 6.31 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações na verga do painei PPr_P com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	Desloc. vertical (mm)
Verga 0,95 mm	1	6,89	184,57	0,23	1,15	1135,27	1135,27	2,37	0,32	1,13	0,58
	2	7,60	203,68	0,28	1,16	1252,75	1252,75	2,62	0,39	1,19	0,67
	3	6,74	180,57	0,22	1,15	1110,67	1110,67	2,32	0,31	1,12	0,56

Fonte: do Próprio Autor

Os resultados da análise dos montantes, guias e diagonais do painei PPr_P estão apresentados na Tabela 6.32.

Tabela 6.32 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes, diagonais e guias do painel PPr_P com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
		$N_{c,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimada (kN.mm)	Flexão composta	$N_{t,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	$M_{y,Sd}$ (kN.mm)	N_{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	-13,46	0,00	0,68	0,94	18,65	0,08	56,07	-4,09	0,38
	2	-13,99	0,00	0,71	0,56	19,74	0,07	57,29	-4,53	0,41
	3	-18,86	0,00	0,96	4,07	23,90	0,18	96,91	2,24	0,35
Seções críticas dos montantes	1	-9,96	52,38	0,67	-			-		
	2	-10,46	53,38	0,69						
	3	-13,26	80,90	0,92						
Diagonal	1	-4,55	0,54	0,39	5,32	0,54	0,16	0,61	-3,29	0,28
	2	-4,57	0,54	0,39	5,30	0,54	0,16	0,61	-3,32	0,28
	3	-7,41	0,56	0,63	9,02	0,51	0,27	0,63	-5,39	0,46
Guia	1	-0,67	-			-			-	
	2	-0,72								
	3	-0,77								

Fonte: do Próprio Autor

A Tabela 6.33 apresenta os deslocamentos horizontais máximos de topo e o peso da estrutura.

Tabela 6.33 – Deslocamento horizontal e peso do painel PPr_P com perfis de 0,95 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)	Peso (kN)
1	0,99	0,64
2	1,01	
3	3,07	

Fonte: do Próprio Autor

Os resultados indicaram que o painel PPr_P pode ser feito com todos os elementos de 0,95 mm de espessura.

6.4.10 Painel PPr_PJ

No Painel PPr_PJ, a verga da porta atende às solicitações com perfis de espessura de 0,95 mm desde que se utilize enrijecedores transversais nos pontos de aplicação das forças concentradas, nos extremos da verga. Para a verga da janela foi necessário empregar perfis de 1,25 mm de espessura para que houvesse capacidade resistente às solicitações. A Tabela 6.34 traz os esforços solicitantes e a verificação da combinação de ações nas vergas deste painel.

Tabela 6.34 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações nas vergas do painel PPr_PJ com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	Desloc. vertical (mm)
Verga da Porta 0,95 mm	1	6,89	184,59	0,23	1,15	1135,43	1135,43	2,37	0,32	1,13	0,58
	2	7,60	203,70	0,28	1,16	1252,93	1252,93	2,62	0,39	1,19	0,67
	3	6,74	180,59	0,22	1,15	1110,86	1110,86	2,32	0,31	1,12	0,56
Verga da Janela 0,95 mm	1	9,27	248,32	0,42	1,18	2144,77	2144,24	0,00	1,06	1,62	2,70
	2	10,23	274,01	0,51	1,19	2366,40	2365,91	0,00	1,29	1,72	3,12
	3	9,07	242,94	0,40	1,18	2098,48	2097,91	0,00	1,01	1,59	2,61
Verga da Janela 1,25 mm	1	9,42	252,37	0,12	0,72	2170,86	2170,04	0,00	0,57	1,09	2,08
	2	10,39	278,47	0,15	0,74	2395,11	2394,31	0,00	0,69	1,17	2,41
	3	9,21	246,91	0,12	0,72	2123,95	1373,41	0,00	0,55	0,81	2,01

Fonte: do Próprio Autor

A Tabela 6.35 apresenta os valores dos esforços solicitantes e da verificação à flexão composta dos montantes, diagonais e guias do painel PPr_PJ.

Tabela 6.35 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes, diagonais e guias do painel PPr_PJ com perfis de 0,95 mm de espessura

Elemento	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
		$N_{c,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	$N_{t,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	$M_{y,Sd}$ (kN.mm)	N_{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	-11,95	0,00	0,61	1,04	19,40	0,09	79,43	-7,39	0,62
	2	-12,59	0,00	0,64	0,68	20,50	0,08	79,76	-6,81	0,59
	3	-15,65	0,00	0,79	4,26	24,85	0,19	133,82	-7,86	0,81
Seções críticas dos montantes	1	-10,39	53,18	0,69	-			-		
	2	-10,96	54,20	0,72						
	3	-13,81	81,90	0,95						
	3	-15,64	70,24	1,01*						
Diagonal	1	-4,71	0,54	0,40	5,28	0,47	0,16	0,54	-4,71	0,40
	2	-4,73	0,54	0,40	5,25	0,47	0,16	0,54	-4,73	0,40
	3	-7,61	0,56	0,65	9,03	0,45	0,27	0,56	-7,61	0,65
Guia	1	-0,72	-			-			-	
	2	-0,77								
	3	-0,88								

*Montante número 2; é o segundo montante da estrutura, quando se realiza uma contagem da esquerda para a direita.

Fonte: do Próprio Autor

A Tabela 6.36 mostra os deslocamentos horizontais e o peso do painel estrutural PPr_PJ.

Tabela 6.36 – Deslocamento horizontal e peso do painel PPr_PJ com perfis de 0,95 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)	Peso (kN)
1	1,07	0,74
2	1,10	
3	3,22	

Fonte: do Próprio Autor

O painel atente às recomendações de deslocamentos horizontais e verticais, porém, um dos montantes pertencentes ao extremo treliçado apresentou a verificação do esforço resistente à flexão composta com um valor 1% maior do que o indicado por norma.

6.5 Análise geral dos painéis com elementos de 0,5 mm de espessura

As análises efetuadas nos painéis com elementos de 0,95 mm de espessura mostraram que os perfis mais solicitados destas estruturas estão, em alguns casos, com solicitações muito próximas ao limite da sua capacidade resistente; alguns dos elementos até tiveram seus esforços resistentes ultrapassados, ainda que por valores muito pequenos. Este fato poderia ser utilizado para afirmar que, com perfis de menor espessura, os mesmos painéis não resistiriam aos esforços aplicados.

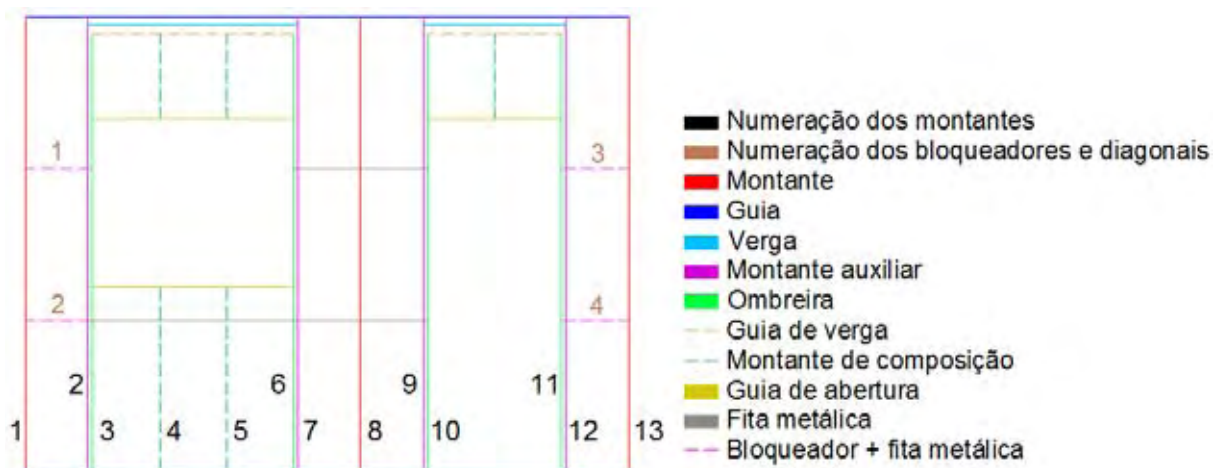
Mesmo diante de tal constatação, seguiu-se com os estudos utilizando perfis de 0,5 mm de espessura. Porém, nesta segunda etapa de análises, o estudo foi mais detalhado, com a obtenção de valores de esforços solicitantes e resistentes para cada um dos montantes, bloqueadores e diagonais dos pórticos. Isto porque, analisando cada elemento individualmente, caso muitos perfis resistissem às solicitações com espessuras menores, poderia ser feita uma “estrutura mista”, combinando perfis de 0,95 mm e 0,5 mm, tornando a obra mais viável economicamente.

Assim, os itens a seguir apresentam os resultados das análises de todos os painéis com elementos de 0,5 mm de espessura, realizadas em cada perfil componente. As tabelas extraídas destas análises se encontram nos Anexos, por questões de organização textual

advindas do tamanho destas tabelas. Destaca-se que a numeração dos elementos que consta nas tabelas dos anexos foi feita da seguinte forma (exemplo na Figura 6.1):

- Numeração dos montantes e ombreiras: da esquerda para a direita, passando pelos montantes de composição inferiores. Os montantes de composição superiores não tiveram os esforços extraídos por se tratarem de valores muito pequenos, próximo de zero;
- Numeração dos bloqueadores e diagonais: da esquerda para a direita, e de cima para baixo.

Figura 6.1 – Procedimento para numeração dos perfis



Fonte: do Próprio Autor

6.5.1 Painéis PC, PC_J, PC_P, PC_PJ e PC_PJ_X

Para perfis com 0,5 mm de espessura, os painéis PC, PC_J, PC_P, PC_PJ e PC_PJ_X não apresentaram deslocamentos horizontais aceitáveis no estado-limite de serviço. Sendo assim, não foram retirados os valores dos esforços solicitantes para estes casos (ANEXO A).

6.5.2 Painel PC_X

Apesar dos deslocamentos horizontais resultantes na estrutura terem sido menores que os recomendados por norma, e de todos os perfis dos bloqueadores, das fitas de contraventamento em “X” e das guias suportarem os esforços solicitantes, nenhum montante

atendeu à verificação de solicitação composta. Além disso, 5 dos montantes não resistiram à solicitação de compressão (ANEXO B).

6.5.3 Paineis PC_J_X e PC_J_V

Para estes dois casos de painéis, apenas os montantes de composição, os bloqueadores, as guias e as fitas de contraventamento resistiram aos esforços solicitantes. Todos os demais montantes não atenderam à capacidade resistente à flexão composta. Foi observado também que 8 montantes do painel PC_J_X e 7 montantes do painel PC_J_V não resistiram à solicitação axial de compressão. A verga também não resistiu aos esforços cortantes e momentos fletores atuantes. Apesar disso, os deslocamentos horizontais da estrutura foram aceitáveis (ANEXO C e D).

6.5.4 Paineis PC_P_X

Nenhum dos montantes resistiu à flexão composta e 7 dos 11 montantes atingiram solicitações axiais de compressão superiores à capacidade resistente do perfil. A verga também recebeu solicitações além de sua capacidade resistente. Somente os bloqueadores, as guias e as fitas de contraventamento resistiram aos esforços solicitantes. Porém, os deslocamentos horizontais foram inferiores aos recomendados por norma (ANEXO E).

6.5.5 Paineis PPr

Neste painel, apenas 3 montantes não resistiram à solicitação de compressão, porém, apenas um montante da estrutura atendeu à verificação à flexão composta. Com esta configuração de pórtico, 3 das 8 diagonais não resistiram às solicitações axiais e à flexão composta. Porém, os deslocamentos horizontais limites foram atendidos (ANEXO F).

6.5.6 Painei PPr_J

Os deslocamentos horizontais desta estrutura foram menores do que o recomendado. As guias também resistiram às solicitações. Porém, 5 dos 12 montantes e 3 das 8 diagonais foram solicitados além de seus esforços axiais resistentes. A verga também não resistiu às solicitações e apenas os montantes de composição possuíram capacidade resistente à flexão composta menor do que o limite aceitável (ANEXO G).

6.5.7 Painei PPr_P

Neste pórtico, os montantes auxiliares e 3 montantes do extremo treliçado tiveram a solicitação axial de compressão maior que a capacidade resistente; 3 diagonais não suportaram as solicitações impostas e a verga também não possuiu seção suficiente. Apenas as guias e as ombreiras atenderam às solicitações. Porém, os deslocamentos horizontais foram menores do que o recomendado (ANEXO H).

6.5.8 Painei PPr_PJ

O painei PPr_PJ com elementos de 0,5 mm de espessura teve deslocamentos horizontais e esforços nas guias aceitáveis. As duas ombreiras da porta, uma ombreira da janela e os montantes de composição também atenderam às solicitações. Porém, os demais montantes e 3 das 8 diagonais não resistiram às ações. As vergas também não foram suficientes para resistir à solicitação imposta (ANEXO I).

6.6 Fatores de flambagem

Com a aplicação do carregamento unitário, foram obtidos, para o 1º Modo de Flambagem, o deslocamento horizontal do topo da estrutura e o Fator de Flambagem. A Tabela 6.37 apresenta os valores retirados das análises.

Tabela 6.37– Fator de flambagem (1º Modo) e deslocamento horizontal na flambagem

Painel	Painéis com elementos de 0,5 mm de espessura		Painéis com elementos de 0,95 mm de espessura	
	Fator de Flambagem (1º Modo)	Deslocamento horizontal (mm)	Fator de Flambagem (1º Modo)	Deslocamento horizontal (mm)
PC	3,93	458,68	13,56	490,96
PC_J	4,36	420,63	11,55	459,56
PC_P	4,46	486,11	11,51	500,8
PC_PJ	4,81	459,65	9,21	484,55
PC_X	30,31	0,004	94,56	0,006
PC_J_X	39,87	23,41	74,78	16,89
PC_J_V	31,92	38,83	63,35	29,11
PC_P_X	11,56	1,70	38,25	2,27
PC_PJ_X	9,97	20,98	32,21	26,6
PPr	59,81	0,11	185,46	4,44
PPr_J	41,75	26,46	122,62	41,9
PPr_P	55,98	4,47	163,86	30,83
PPr_PJ	41,47	11,85	121,33	25,85

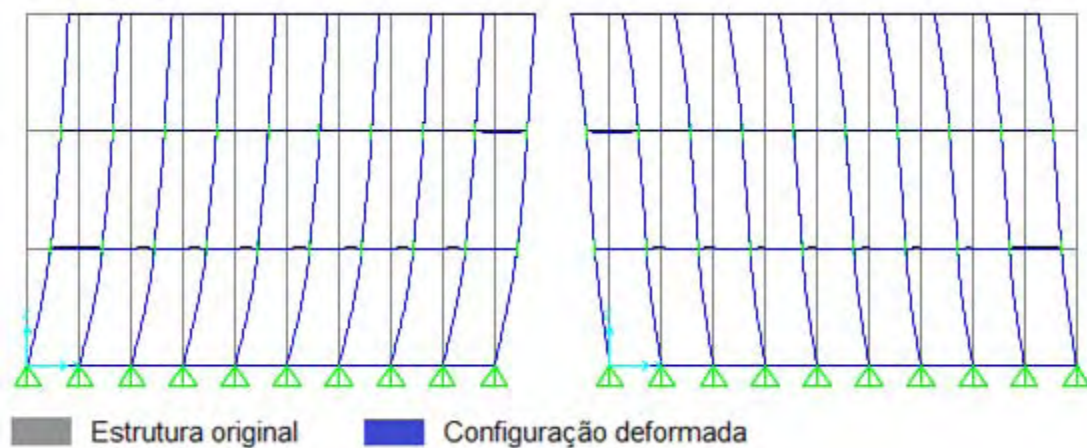
Fonte: do Próprio Autor

Como a força crítica de flambagem é proporcional ao fator de flambagem, os resultados demonstraram que os painéis comumente utilizados, sem fitas diagonais de contraventamento, possuem fatores de flambagem muito pequenos se comparados aos valores dos demais painéis. Foi possível observar, também, que todos os painéis propostos perdem a estabilidade a partir de uma carga crítica maior do que as respectivas cargas críticas das estruturas comumente utilizadas.

6.7 Configuração deformada

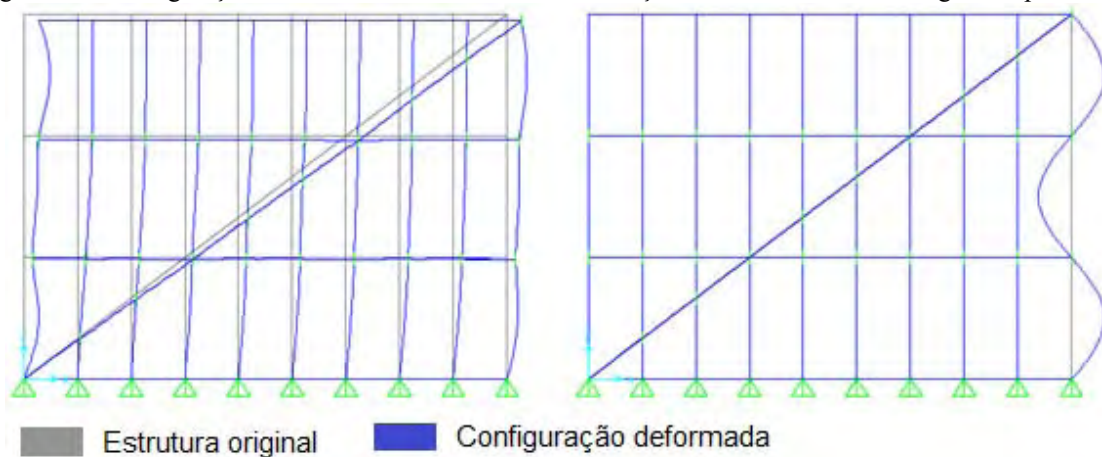
As Figuras 6.2 a 6.14 mostram a configuração deformada das estruturas analisadas para o estado-limite de serviço e para o 1º Modo de flambagem.

Figura 6.2– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PC



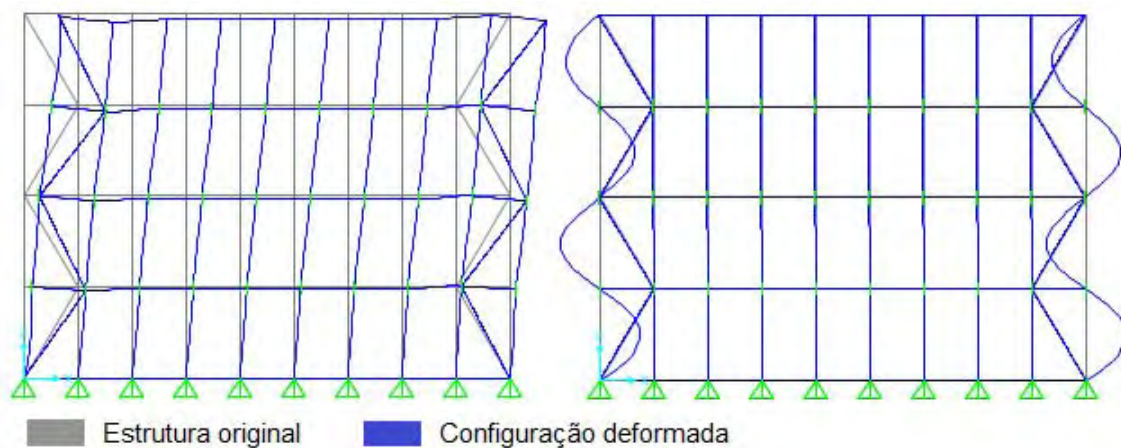
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.3– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PC_X



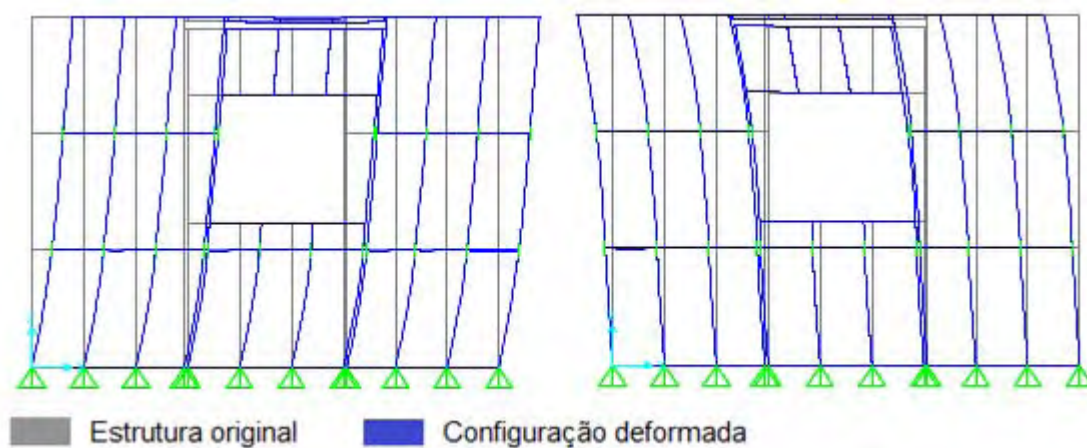
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.4– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PPr



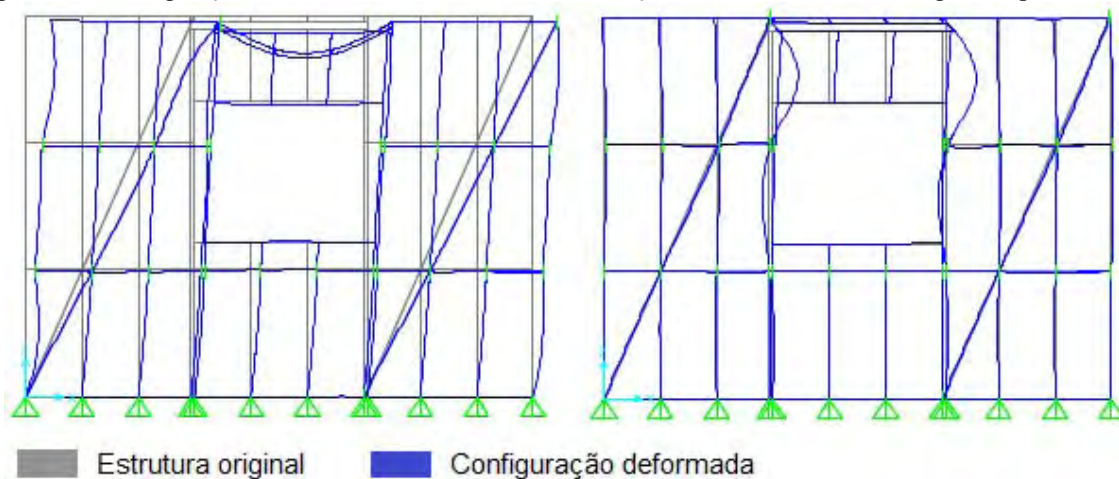
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.5– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PC_J



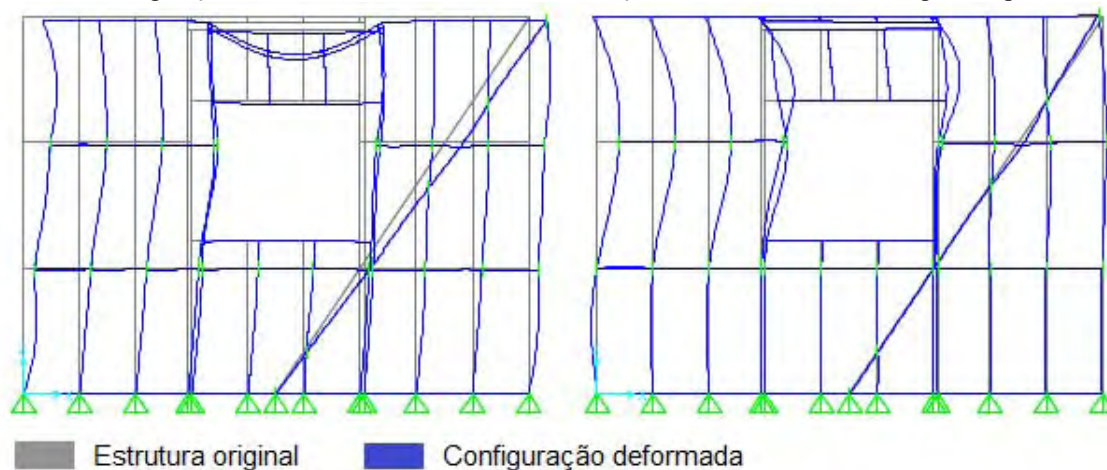
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.6– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PCJ_X



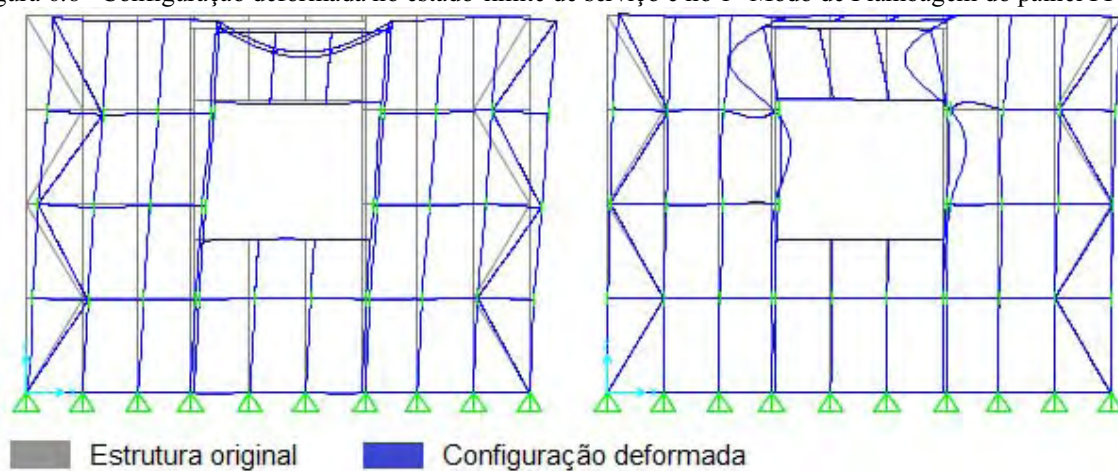
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.7– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PC_J_V



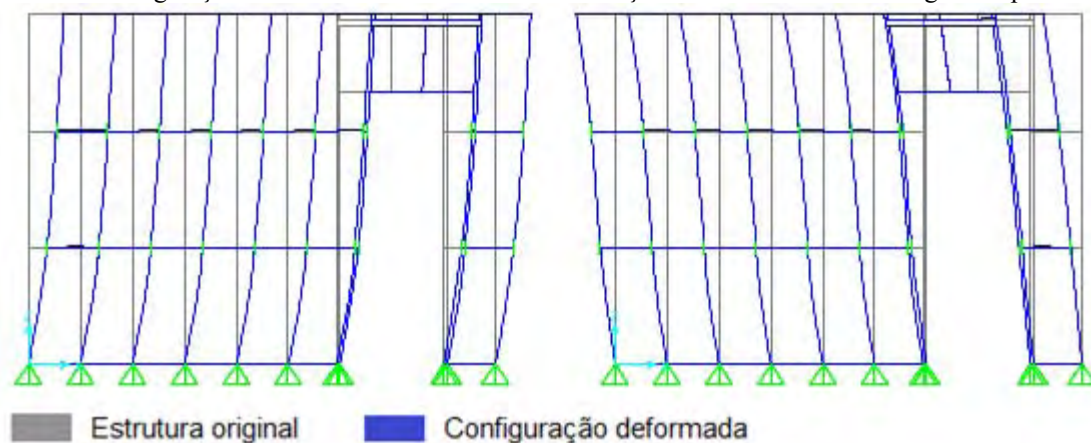
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.8– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PPr_J



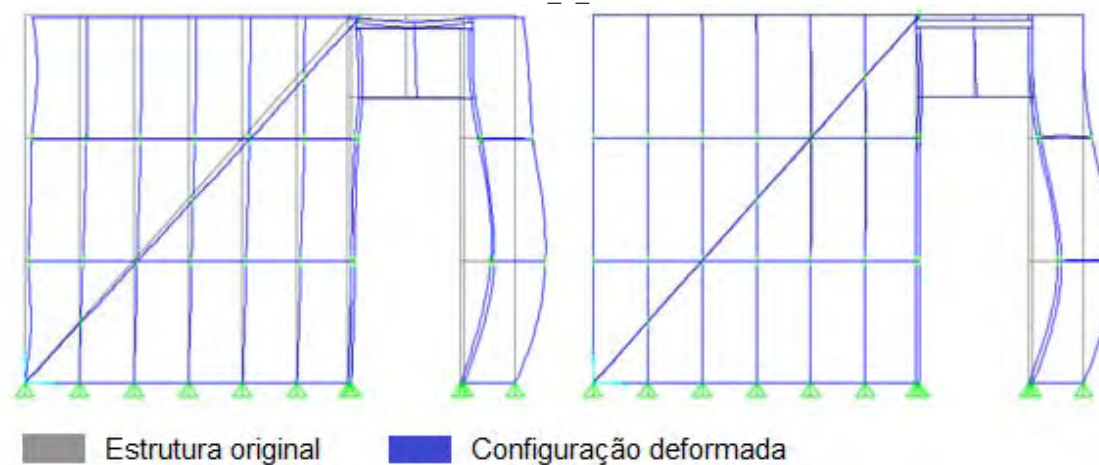
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.9– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PC_P



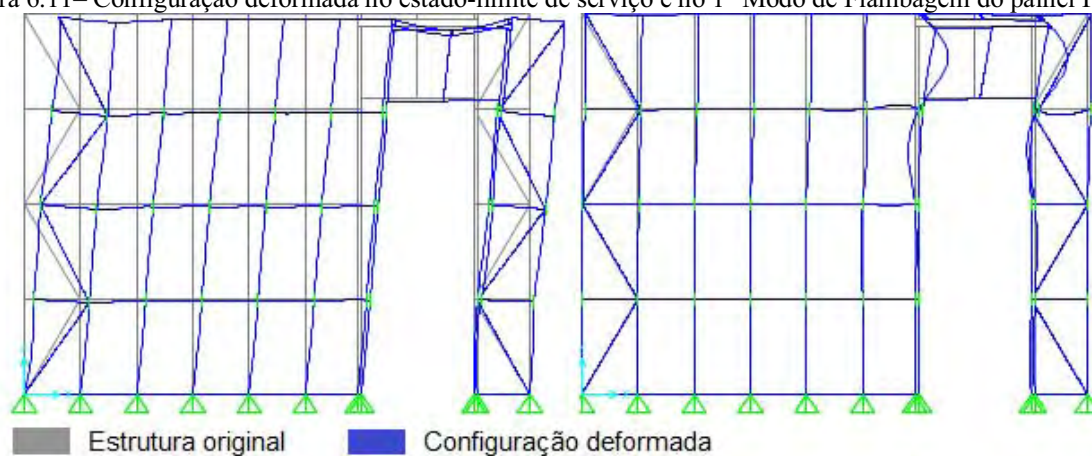
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.10– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PC_P_X



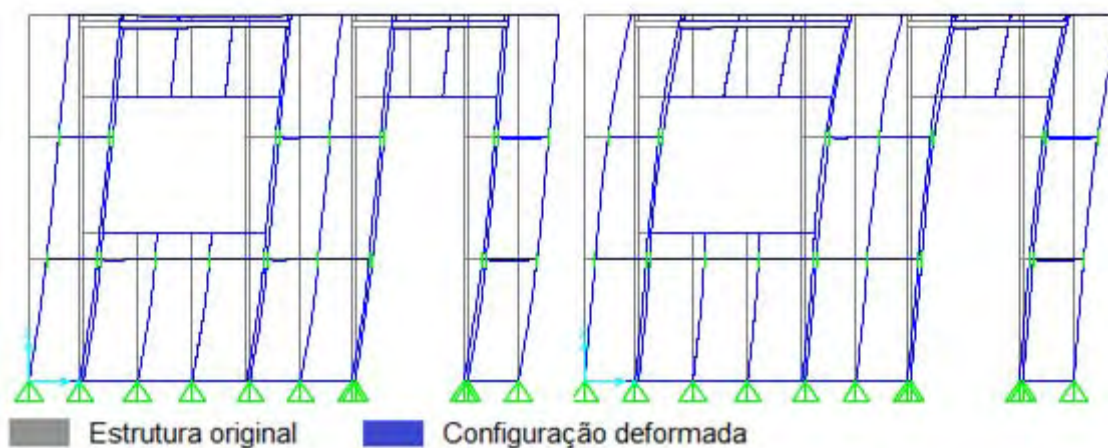
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.11– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PPr_P



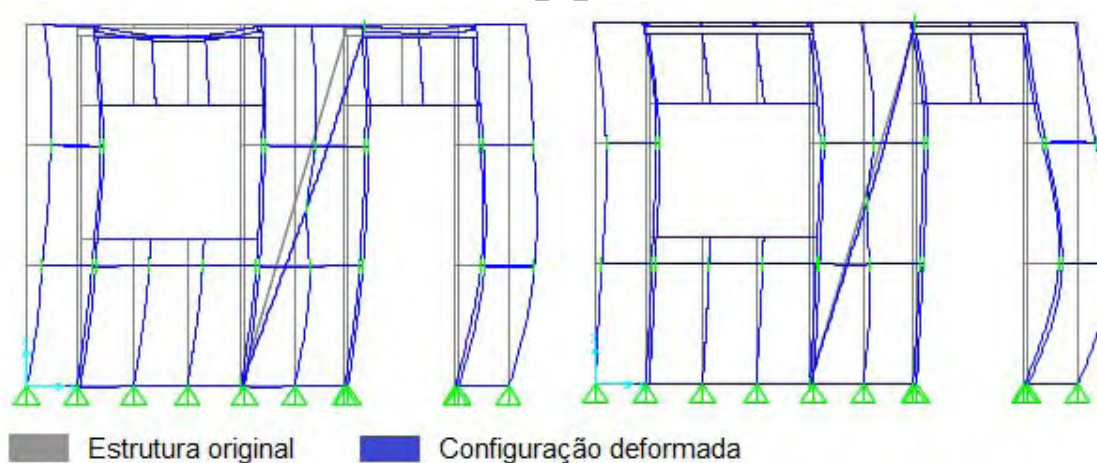
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.12– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PC_PJ



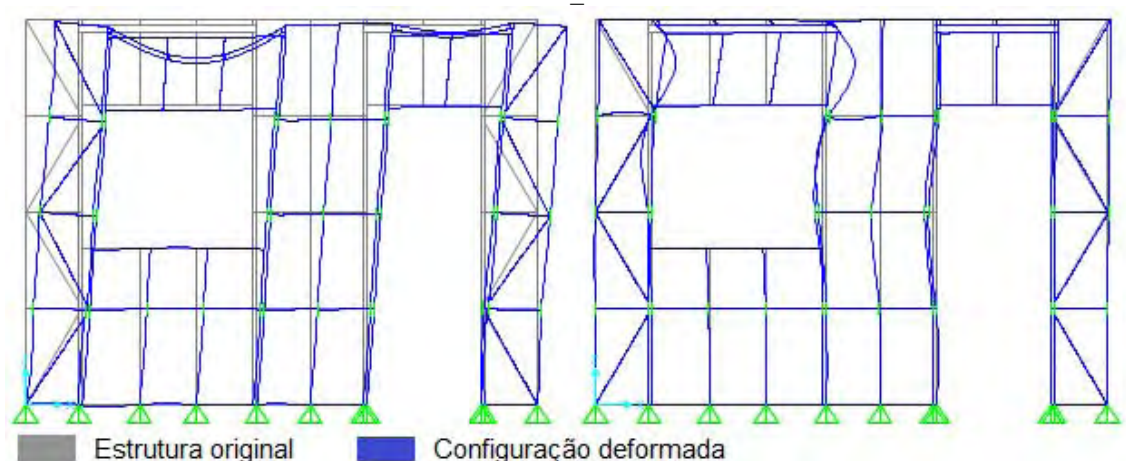
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.13– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PC_PJ_X



Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.14– Configuração deformada no estado-limite de serviço e no 1º Modo de Flambagem do painel PPr_PJ



Fonte: do Próprio Autor

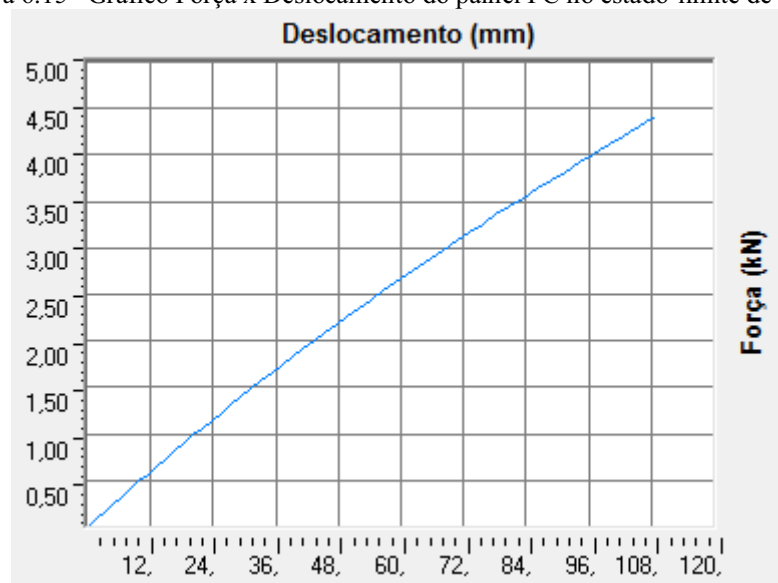
As configurações deformadas demonstradas nas imagens apresentam as diferenças no comportamento da estrutura quando não se utiliza nenhum tipo de contraventamento e quando se emprega fitas diagonais em “X”, “V” ou diagonais que compõem extremos treliçados.

6.8 Gráficos força x deslocamento

As análises possibilitaram a aquisição dos gráficos de força x deslocamento dos painéis. O eixo vertical se refere à força vertical aplicada no painel; o eixo horizontal representa o deslocamento horizontal de topo do mesmo.

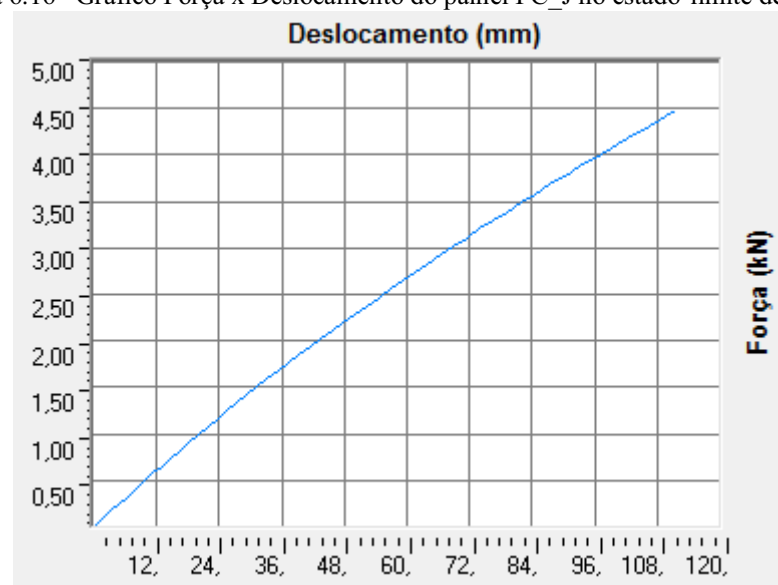
Os gráficos foram obtidos de análises não-lineares geométricas no estado-limite de serviço. As Figuras 6.15 a 6.27 apresentam os resultados.

Figura 6.15– Gráfico Força x Deslocamento do painel PC no estado-limite de serviço



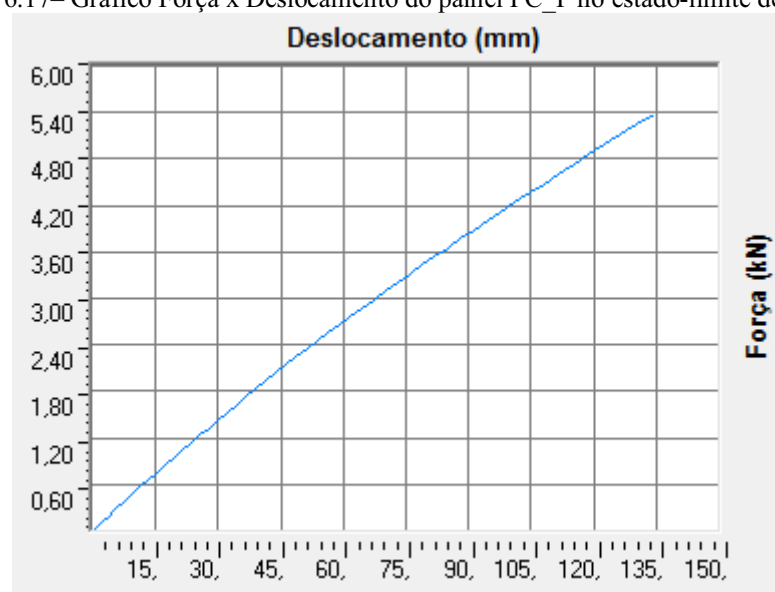
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.16– Gráfico Força x Deslocamento do painel PC_J no estado-limite de serviço



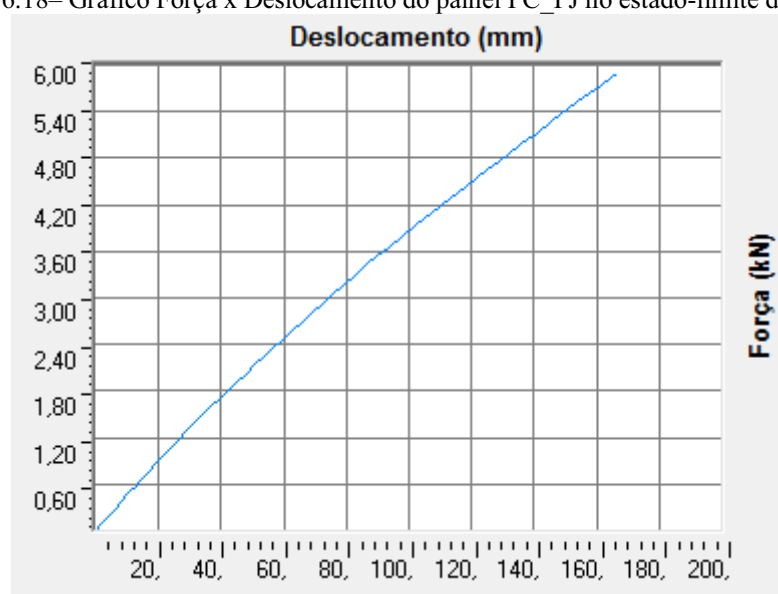
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.17– Gráfico Força x Deslocamento do painel PC_P no estado-limite de serviço



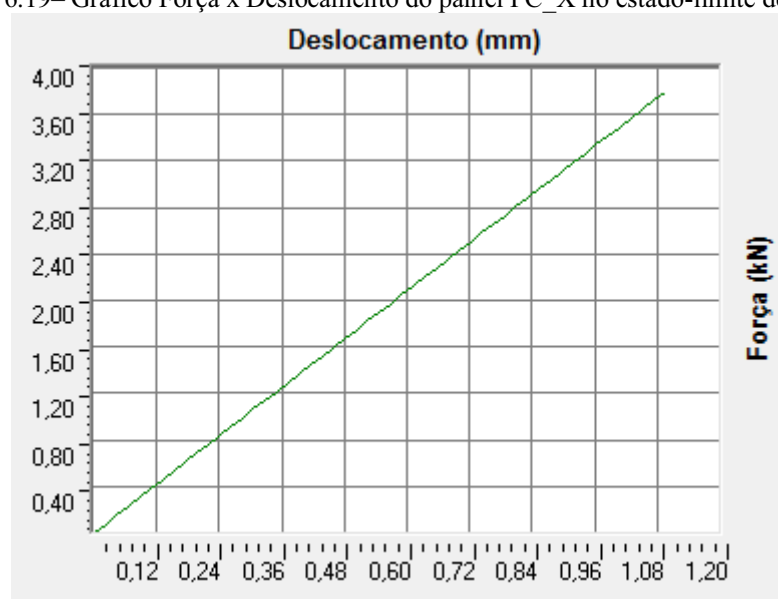
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.18– Gráfico Força x Deslocamento do painel PC_PJ no estado-limite de serviço



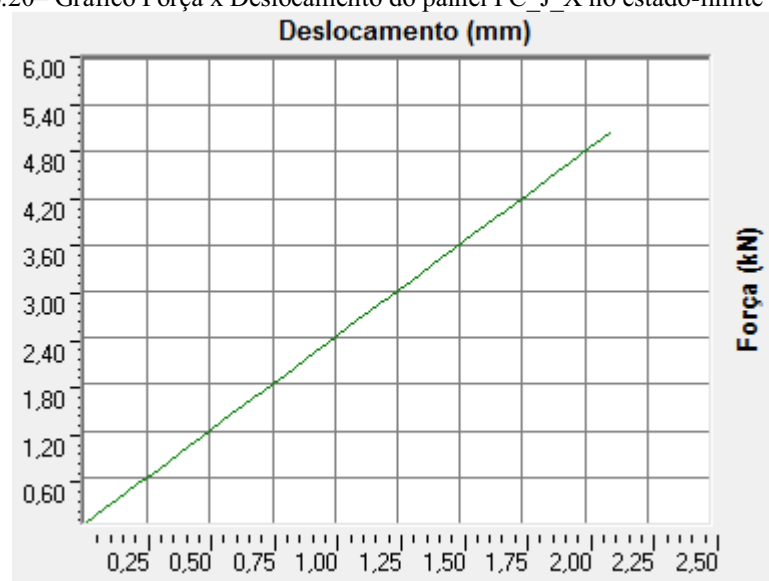
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.19– Gráfico Força x Deslocamento do painel PC_X no estado-limite de serviço



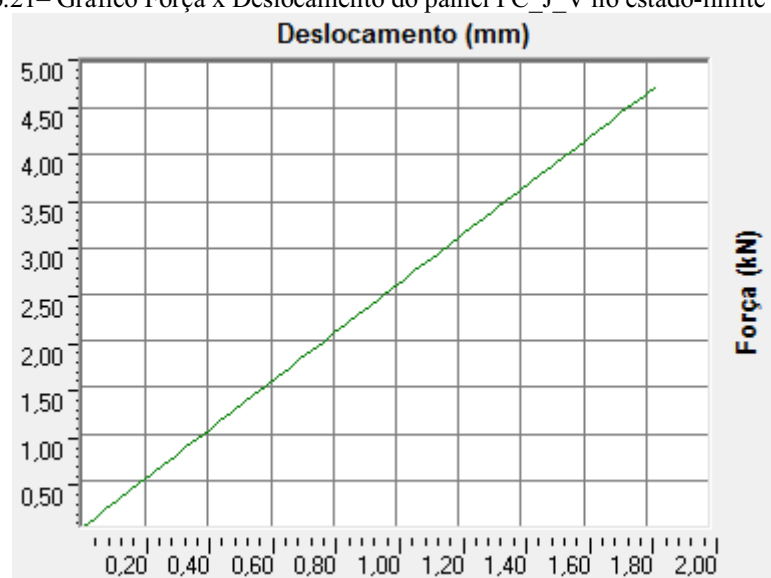
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.20– Gráfico Força x Deslocamento do painel PC_J_X no estado-limite de serviço



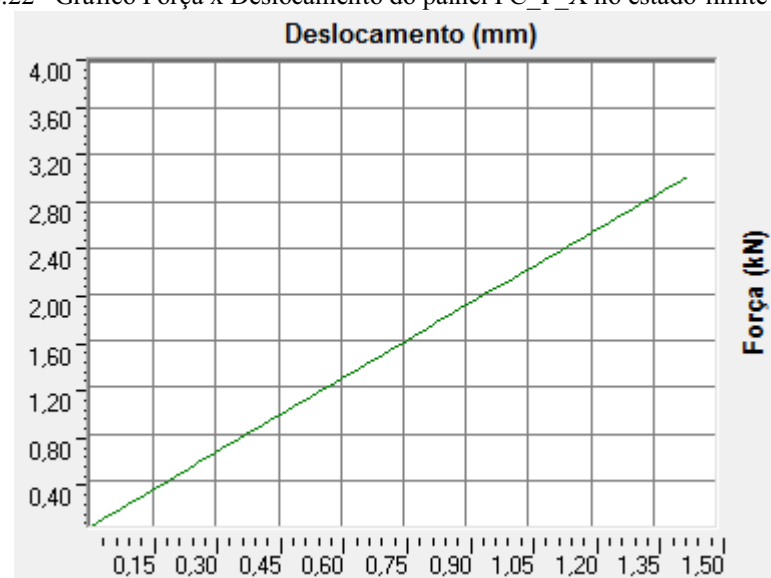
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.21– Gráfico Força x Deslocamento do painel PC_J_V no estado-limite de serviço



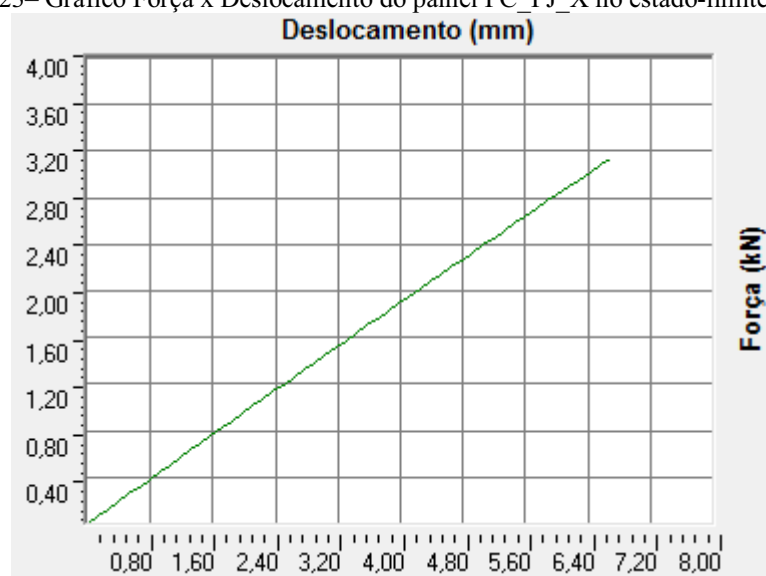
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.22– Gráfico Força x Deslocamento do painel PC_P_X no estado-limite de serviço



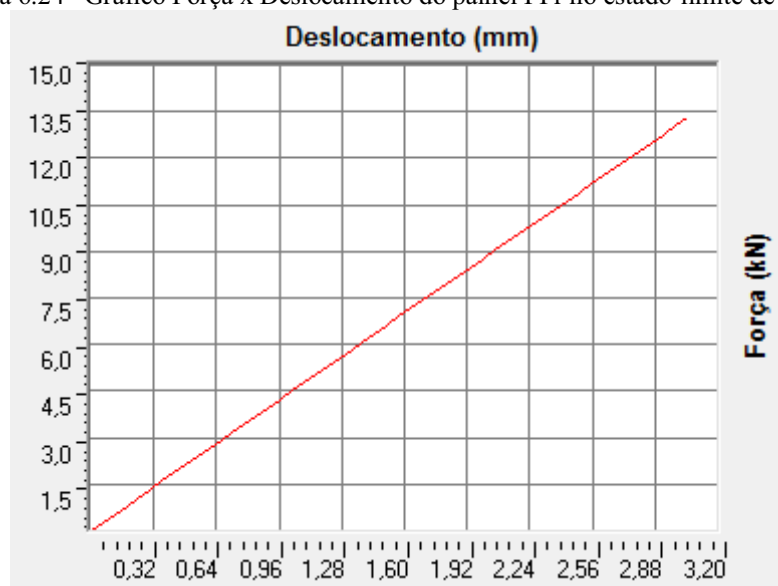
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.23– Gráfico Força x Deslocamento do painel PC_PJ_X no estado-limite de serviço



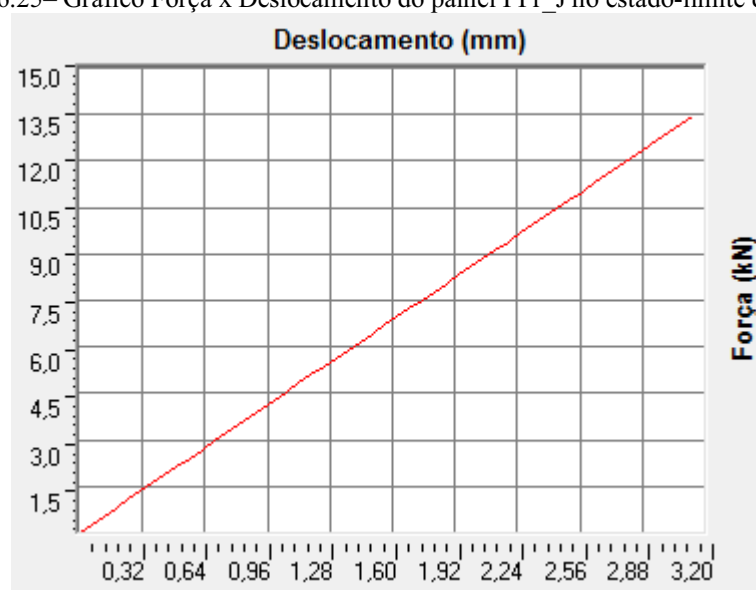
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.24– Gráfico Força x Deslocamento do painel PPr no estado-limite de serviço



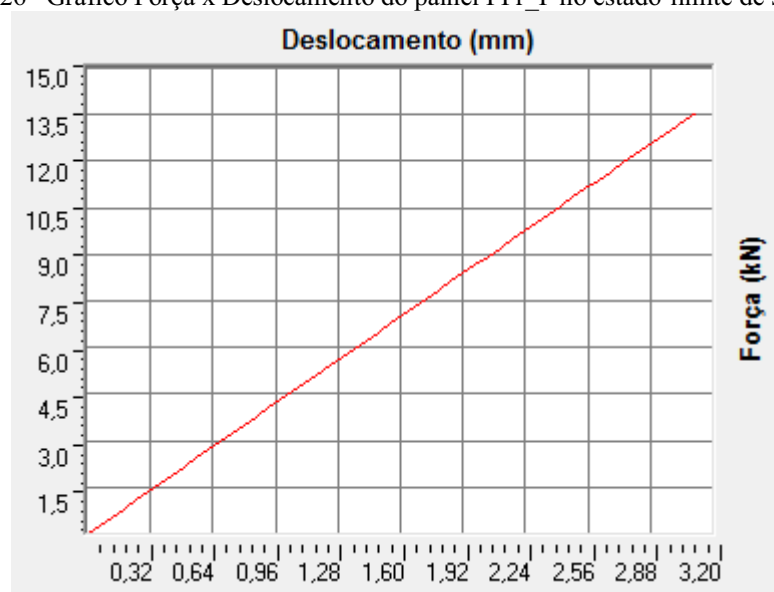
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.25– Gráfico Força x Deslocamento do painel PPr_J no estado-limite de serviço



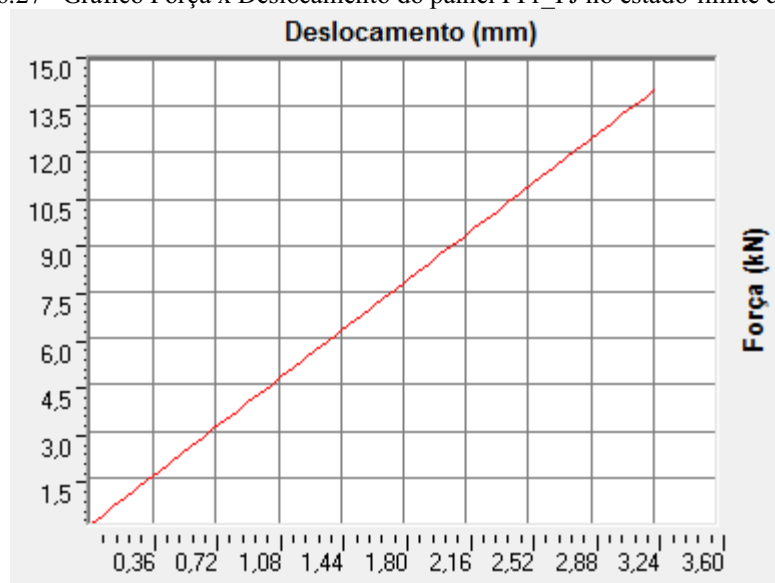
Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.26– Gráfico Força x Deslocamento do painel PPr_P no estado-limite de serviço



Fonte: do Próprio Autor

Figura 6.27– Gráfico Força x Deslocamento do painel PPr_PJ no estado-limite de serviço



Fonte: do Próprio Autor

Os gráficos mais retilíneos dos pórticos com fitas em “X” e “V” e com extremos treliçados demonstram a maior rigidez destas estruturas, quando comparados aos gráficos de linhas mais curvas dos painéis sem contraventamento.

6.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se constatar que:

- os painéis PC, PC_J, PC_P e PC_PJ não possuem estabilidade suficiente para proporcionar o deslocamento horizontal de topo permitido pelas recomendações normativas. A ausência de qualquer tipo de contraventamento fez com que estas estruturas apresentassem deslocamentos horizontais excessivos;
- todos os painéis propostos, tanto com perfis de 0,95 mm como com perfis de 0,5 mm de espessura tiveram deslocamento horizontal dentro dos limites permitidos por norma;
- todos os painéis comumente utilizados com contraventamento, com perfis de 0,95 mm de espessura, também tiveram deslocamentos aceitáveis, porém, quando foram utilizados perfis com 0,5 mm de espessura, o painel PC_PJ_X apresentou deslocamento horizontal superior ao recomendado;

- os painéis comumente utilizados com contraventamento apresentaram deslocamentos horizontais menores do que os obtidos nos painéis propostos;
- os painéis propostos PPr, PPr_P e PPr_J passaram em todas as verificações com perfis principais de 0,95mm de espessura. Já o painel proposto PPr_PJ apresentou a verificação da capacidade resistente à flexão composta de um dos montantes pertencentes ao extremo treliçado com um valor 1% maior do que o indicado por norma;
- os painéis comumente utilizados PC_X, PC_J_X e PC_J_V resistiram à todas as solicitações impostas com perfis principais de 0,95 mm de espessura. Com perfis desta mesma espessura, o painel PC_P_X apresentou a verificação da capacidade resistente à flexão composta dos montantes auxiliares com valores cerca de 6% maiores do que os recomendados por norma. Já o painel PC_PJ_X apresentou o montante auxiliar e o montante central com solicitações de flexão superiores à sua capacidade resistente;
- as vergas das portas dos painéis PC_P_X e PPr_P resistiram às solicitações quando feitas de perfis de 0,95 mm, desde que se utilizassem enrijecedores transversais nos pontos de aplicação das forças de compressão situados nos extremos da verga, uma vez que a força resistente ao enrugamento nestes pontos foi menor do que a força aplicada;
- os painéis propostos foram 2 a 7 kg mais leves do que os painéis comumente empregados com contraventamento, quando se tratou de painéis com perfis de 0,95 mm de espessura;
- os montantes auxiliares, as ombreiras e os montantes laterais pertencentes ao extremo com bloqueadores foram os perfis mais solicitados das estruturas comumente utilizadas. Esta mesma afirmação pode ser utilizada para os painéis propostos, exceto para o caso das ombreiras, que não fizeram parte dos elementos mais solicitados nestes painéis;
- nenhum painel estrutural resistiu às solicitações com perfis de 0,5 mm de espessura. Apenas os bloqueadores, guias, fitas de contraventamento e montantes de composição resistiram às solicitações com esta espessura. No caso dos painéis propostos, algumas ombreiras também resistiram aos esforços solicitantes;
- não é viável a utilização dos painéis estudados como "estruturas mistas", com apenas as guias, bloqueadores e montantes de composição com 0,5 mm de espessura. Isto porque as guias e bloqueadores de 0,5 mm possuem dimensões que não permitem o encaixe nos montantes de 0,95 mm de espessura e porque a utilização de perfis menos espessos apenas nos montantes de composição e em algumas ombreiras não surtiriam diferenças de peso

compensadoras. O que pode ser feito é a utilização das fitas diagonais de contraventamento com chapas de 0,5 mm espessura, desde que estas chapas atendam à capacidade resistente requerida nos pontos de ligação, que não fizeram parte do escopo deste trabalho;

- os painéis propostos ofereceram os maiores valores de Fatores de flambagem, indicando que perdem a estabilidade a partir de uma carga crítica maior do que a necessária para a flambagem das estruturas comumente utilizadas;
- os gráficos de força x deslocamento comprovaram a maior rigidez dos painéis contraventados com fitas diagonais e dos painéis propostos perante os painéis comumente utilizados sem contraventamento;
- os painéis propostos se mostraram viáveis estrutural e economicamente, se tornando uma alternativa às configurações comumente empregadas e recomendadas pela literatura em questão.

7 CONCLUSÕES

Com as considerações de análise utilizadas neste trabalho, não foi possível obter painéis estruturais suficientemente resistentes com perfis de 0,5 mm de espessura. A utilização destas mesmas estruturas combinando perfis de 0,5 mm e de 0,95 mm de espessura também se mostrou inviável.

Os painéis propostos constituídos de perfis de 0,95 mm de espessura, com as situações de carregamento e vinculação aqui consideradas, apresentaram um bom desempenho estrutural quando comparados aos painéis comumente utilizados e indicados na literatura referente ao sistema construtivo *Light Steel Framing*. Os painéis propostos também demonstraram vantagens econômicas, uma vez que possuem menor peso.

Os resultados obtidos não indicam que se deve abolir o emprego dos painéis estruturais comumente utilizados; estes painéis também demonstraram um bom comportamento estrutural, no que se refere à estabilidade e à capacidade resistente. O que os resultados apontaram foi uma alternativa às configurações comumente empregadas. Isto porque, tanto os painéis propostos quanto os painéis comumente utilizados apresentam suas particularidades de montagem, cada qual com suas vantagens e desvantagens.

As fitas diagonais de contraventamento utilizadas nos painéis indicados na literatura em questão são elementos que exigem atenção especial no momento da montagem, já que, como informou Consul Steel (2002), é muito importante certificar-se de que estejam tensionadas no momento da colocação, para que não haja deformação no painel ao se aplicar os carregamentos estruturais. Além disso, painéis com muitas aberturas acabam dificultando e até mesmo inviabilizando o emprego destas fitas.

A configuração do painel proposto permite uma menor interferência com as aberturas. Apresenta, porém, o mesmo princípio de distribuição dos elementos que os painéis com contraventamento em "k", também citados em literatura, formando treliças verticais; oferece, assim, conforme Davies (1999 apud CRASTO, 2005), dificuldades em relação às conexões e possíveis excentricidades.

Assim, conclui-se que os estudos não trouxeram uma configuração de painel estrutural ideal; apresentaram, sim, mais uma proposta de geometria estrutural, econômica, que pode ou não ser utilizada dependendo da adequação do fabricante, do método e do local de montagem da estrutura.

8 Sugestões para trabalhos futuros

A partir deste trabalho, propõem-se as seguintes sugestões para a realização de desenvolvimentos futuros:

- avaliar a influência dos painéis ortogonais através de análises tridimensionais;
- estudar outros tipos de configuração geométrica de painel que possam permitir a utilização de perfis mais esbeltos;
- estudar as ligações, verificando a capacidade resistente dos parafusos auto-atarraxantes e das chapas de ligação das fitas de contraventamento;
- fazer análises de flambagem local e distorcional dos painéis;
- analisar a influência das placas de fechamento estruturais na rigidez dos painéis de geometria diferenciada aqui propostos.

REFERÊNCIAS

- ALBERTINI, M. M. **Análise do comportamento experimental e numérico de prismas de alvenaria estrutural utilizando o elemento finito prismático regular parabólico**. 2008. 143 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008. Disponível em: <http://www.ppgec.feis.unesp.br/teses/2009/maicon_final_2009.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2012.
- ALMEIDA, F. J. Implementação de disciplina de métodos computacionais no curso de engenharia mecânica. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2004. p. 1566-1570. Disponível em: <http://ensino.univates.br/~chaet/Materiais/Elementos_Finitos.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2012
- ALMEIDA, S. J. C. **Análise numérica de perfis de aço formados a frio comprimidos considerando imperfeições geométricas iniciais**. 2007. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-03122007-093434/pt-br.php>>. Acesso em: 11 jun. 2012.
- AMEMIYA CONSTRUÇÕES EM STEEL FRAME LTDA. **Paulitec sistemas construtivos Ltda**. [S.l.: s.n.], 2009. Disponível em: <<http://www.decorandoemgesso.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 8 dez. 2012.
- AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE - AISI. **S100**: north american specification for the design of cold-formed steel structural members. Canadá: [s.n.], 2007. 196 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010. 87 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15253**: perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações - requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2005. 15 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988. 66 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008. 237 p.
- BALLIO, G. **Theory and design of steel structures**. London: Chapman and Hall, 1983. 632 p.
- BEVILAQUA, R. **Estudo comparativo do desempenho estrutural de prédios estruturados em perfis formados a frio segundo os sistemas apertado e light steel framing**. 2005. 225 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de

Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <<http://www.pos.dees.ufmg.br/dissertacoes/180.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

CAMPOS, A. S. **O que é o light steel framing**. [S.l.: s.n., 200-]. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=29&Cod=85>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

CASA MICURA. **Steel frame**. [S.l.: s.n., 198-]. Disponível em: <http://www.casamicura.com/stell_frame.php>. Acesso em: 22 fev. 2012.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - CBCA. **Guia do construtor em steel framing**. [S.l.: s.n.], 2003. Disponível em: <http://www.ushome.com.br/pdf/SF_Guia_Construtor.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2011.

CHEUNG, A. B. **Introdução aos modelos computacionais para análise estrutural: aplicação em SAP2000N**. Campo Grande: [s.n.], 2003. 80 p.

CHODRAUI, G. M. B. **Flambagem por distorção da seção transversal em perfis de aço formados a frio submetidos à compressão centrada e à flexão**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-18072003-124917/pt-br.php>>. Acesso em: 11 jun. 2012.

CLIQUE ARQUITETURA. **Gesso acartonado: resistência mecânica**. [S.l.: s. n.], 2011. Disponível em: <<http://www.cliquearquitetura.com.br/portal/dicas/view/gesso-acartonado-resistencia-mecanica/140>>. Acesso em: 24 fev. 2012.

CONSTRUTORA SEQUÊNCIA. **Obras residenciais**. [S.l.: s.n.], 2005. Disponível em: <http://www.construtorasequencia.com.br/obra_residenciais_capital_ville.asp>. Acesso em: 22 fev. 2012.

CONSUL STEEL. **Construcción con acero liviano: manual de procedimiento**. Buenos Aires: [s.n.], 2002. 257 p. Disponível em: <<http://consulsteel.com/documentacion-tecnica/>>. Acesso em: 7 ago. 2011.

CRASTO, R. C. M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing**. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. Disponível em: <<http://www.propec.ufop.br/index/tese.php?idtese=95>>. Acesso em: 8 ago. 2011.

DIAS, L. A. M. **Aço e arquitetura: estudo de edificações no Brasil**. São Paulo: Zigurate, 2001. 171 p.

_____. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo: Zigurate, 1997. 159 p.

DOMARASCKI, C. S.; FAGIANI, L. S. **Estudo comparativo dos sistemas construtivos: steel frame, concreto PVC e sistema convencional**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2009. 75 f. (Graduação em Engenharia Civil) – Fundação Educacional de Barretos, Centro

Universitário, Barretos, 2009. Disponível em:
<http://www.feb.br/cursos_engcivsc/ConradoLucas.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2012.

DÓRIA, A. S. **Análise da estabilidade de pórticos planos de aço com base no conceito de forças horizontais fictícias**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-13032007-084217/pt-br.php>>. Acesso em: 7 fev. 2012.

ELHAJJ, N.; BIELAT, K. **Prescriptive method for residential cold-formed steel framing**. USA: North American Steel Framing Alliance, 2000. 199 p. Disponível em:
<<http://codes.richmond.ky.us/Refs/Prescriptive%20Method%202000%20Edition%20-%20Steel%20Framing.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2012.

FORTES, B. A. C.; ARAÚJO, E. C.; RODRIGUES, F. C. Os desafios e oportunidades do aço na habitação em série. **Construção Metálica**, São Paulo, v. 1, n. 97, 2010. Disponível em:
<<http://www.abcem.org.br/revista-construcao-metalica.php?codDestaque=341>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel framing**: arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. 121 p.

FREITAS, M. F. **Ligações metálicas constituídas por parafusos auto-atarraxantes**. 2004. 139 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em: <http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2004ME_MarcioFelixdeFreitas.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2011.

FUTURENG. **Origens e história do LSF**. [S.l.: s.n.], 2003. Disponível em:
<<http://www.futureng.pt/origens>>. Acesso em: 20 fev. 2012.

JAVARONI, C. E. **Perfis de aço formados a frio submetidos à flexão**: análise teórico-experimental. 1999. 255 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. Disponível em: <http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1999DO_CarlosEduardoJavaroni.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2012.

LACERDA, A. O.; SÁ, P. A. C. O. **Padronização de painéis em light steel frame**. [S.l.: s.n.], 1999. Disponível em: <<http://metalica.com.br/padronizacao-de-paineis-em-light-steel-frame>>. Acesso em: 25 fev. 2012.

LOTURCO, B. **Chapas cimentícias são alternativa rápida para uso interno ou externo**. [S.l.: s.n.], 2003. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/chapas-cimenticias-sao-alternativa-rapida-para-uso-interno-ou-externo-79978-1.asp>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

LP BUILDING PRODUCTS. **Steel frame**. Curitiba: [s.n., 200-]. Disponível em:
<<http://www.lpbrasil.com.br/sistemas/steel-frame.html>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

MEDEIROS, H. **Steel framing**: obra rápida e limpa. [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/steel-framing-obra-rapida-18-01-2010.html>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios**: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. 1994. 294 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/silviobm/2003_TESE%20SILVIO%20MELHADO%201994_revival.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2012.

MENDONÇA, P.; CAMOTIM, D. Análise crítica do desempenho das fórmulas de interação do novo eurocódigo 3 em colunas-viga com diversas condições de apoio. In: CONGRESSO DE CONSTRUÇÃO METÁLICA E MISTA, 5., 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa: [s.n.], 2005. p. 437-448. Disponível em: <http://www.betar.pt/upload/pdf/pdf_1317693212.pdf>. Acesso em: 25 set. 2012.

METÁLICA. **Casas industrializadas**: light steel framing - estrutura em perfil leve metálico. [S.l.: s.n.], 1999a. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/casas-industrializadas-light-steel-framing>>. Acesso em: 20 fev. 2012.

_____. **Steel frame**: casas industrializadas - as etapas da construção. [S.l.: s.n.], 1999b. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/steel-frame-casas-industrializadas>>. Acesso em: 20 fev. 2012.

RODOBENS NEGÓCIOS IMOBILIÁRIOS. **Minha casa, minha vida**: o programa. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www.minhacasaminhavidacom.br/programa.html>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS. **Sobre o software**. São Paulo: [s.n., 199-]. Disponível em: <<http://www.sap2000.multipius.com/overview.html>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

PEREIRA JUNIOR, C. J. **Edifícios de pequeno porte contraventados com perfis de chapa fina de aço**. 2004. 141 f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=257&mosmsg=You+are+trying+to+access+from+a+non-authorized+domain.+%28www.google.com.br%29>. Acesso em: 2 abr. 2012.

PINHEIRO, A. C. F. B. **Estruturas metálicas**: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 301 p.

POMARO, H. **Em defesa do light steel frame**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-ultimas-ler.php?cod=5447&bsc=&orig=noticias-ultimas>>. Acesso em: 22 fev. 2012.

RODRIGUES, F. C. **Steel framing**: engenharia. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. 127 p.

_____. **Tabelas de dimensionamento estrutural para edificações com o sistema construtivo em Steel Framing**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, [200-]. 39 p. Disponível em: <http://www.ushome.com.br/pdf/SF_TabDimens.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2012.

ROSA, J. C. M. **Estudo das equações de interação de colunas-viga do método 2 do Eurocódigo 3**. 2011. 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <<http://run.unl.pt/handle/10362/5960>>. Acesso em: 28 jan. 2012.

SALES, U. C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação**. 2001. 249 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas Metálicas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=152232>. Acesso em: 10 fev. 2012.

SANTIAGO, A. K.; RODRIGUES, M. N.; OLIVEIRA, M. S. **Light steel framing como alternativa para a construção de moradias populares**. São Paulo: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.construmetal.com.br/2010/downloads/contribuicoes-tecnicas/23-light-steel-framing-como-alternativa-para-a-construcao-de-moradias-populares.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2011.

SANTOS, W. S. **Interação flambagem global-flambagem local em pilares metálicos de seção I duplamente simétricos sob compressão uniforme**. 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/59354707/Flambagem-Global-e-Local>>. Acesso em: 20 jun. 2012.

SCHARFF, R. Introduction to residential steel framing. In: _____. **Residential steel framing handbook**. New York: McGraw-Hill, 1996. p. 1-29. Disponível em: <<http://www.openisbn.com/preview/0070572313/>>. Acesso em: 31 maio 2012.

SCHIEL, F. **Introdução à resistência dos materiais**. São Carlos: Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos/Departamento de Estruturas, 1983. v. 3, p. 395.

SILVA, M. M. A. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. 2003. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-01032004-150128/pt-br.php>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

SOUZA, D. A. **Análise numérica de colunas com seções enrijecidas e não-enrijecidas em perfis formados a frio**. 2005. 97 f. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. Disponível em: <http://www.tede.ufop.br/tde_arquivos/12/TDE-2006-03-27T09:22:53Z-42/Publico/Djaniro_seguro.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2012.

STABILE ENGENHARIA LTDA. **mCalcPerfis 3.0**. Porto Alegre: [s.n.,200-]. Disponível em: <http://www.stabile.com.br/pdf/Apres_mCalc_Perfis_3.0.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2013.

TERNI, A. W.; SANTIAGO, A. K.; PIANHERI, J. **Casa de steel frame:** instalações (parte 4). [S.l.: s.n.], 2008. Disponível em: < <http://www.pienge.com.br/pdf/ed4.pdf> >. Acesso em: 23 fev. 2012.

TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. M. **Theory of elastic stability.** 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1961. 541 p.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C. Comparação entre aspectos produtivos de edificações em *Light Steel Framing* e alvenaria estrutural. In: ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 8., 2011, Maringá. **Anais...** Maringá: [s.n.], 2011. p. 1-10. Disponível em: <<http://www.cbca-iabr.org.br/upfiles/fckeditor/file/Comparacao-entre-Aspectos-Produtivos-de-Edificacoes-em-Light-Steel-framing-e-Alvenaria-Estrutural.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2012.

WILSON, E. L. **Three-dimensional static and dynamic analysis of structures:** a physical approach with emphasis on earthquake engineering. 3. ed. Berkeley: CSI computers structures, 2002. 423 p. Disponível em: < <http://computersandengineering.com/downloads/manuals/ETABS/English/E-MAN-008.pdf> >. Acesso em: 25 set. 2012

ANEXOS

ANEXO A - Painéis PC, PC_J, PC_P, PC_PJ e PC_PJ_X com perfis de 0,5 milímetros de espessura

Para os painéis PC, PC_J, PC_P, PC_PJ e PC_PJ_X não foram obtidos os esforços solicitantes. Eles apresentaram deslocamento horizontal para o estado-limite de serviço maior que o permitido pelas recomendações normativas (Tabela A.1).

Tabela A.1 – Deslocamentos horizontais dos painéis PC, PC_J, PC_P, PC_PJ e PC_PJ_X no estado-limite de serviço, com perfis de 0,5 mm de espessura

Painel	Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
PC	1	133,56
	2	179,23
	3	365,43
PC_J	1	137,68
	2	224,8
	3	420,11
PC_P	1	177,92
	2	285,77
	3	523,55
PC_PJ	1	416,06
	2	985,82
	3	894,88
PC_PJ_X	1	9,17
	2	9,54
	3	25,06

Fonte: do Próprio Autor

ANEXO B – Solicitações, deslocamentos e verificações do painel PC_X com perfis de 0,5 milímetros de espessura

Tabela B.1 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes do painel PC_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente					
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	1	-4,91	107,27	2,26	107,27	-4,91	2,26
		2	-5,42	107,77	2,36	107,77	-5,42	2,36
		3	-4,80	124,72	2,47	178,59	-4,79	3,16
	2	1	-4,91	1,77	0,91	18,78	-4,84	1,11
		2	-5,42	1,66	1,00	18,94	-5,35	1,21
		3	-4,80	3,51	0,91	30,47	-4,69	1,24
	3	1	-5,13	0,00	0,92	26,74	-4,97	1,24
		2	-5,64	0,00	1,02	27,00	-5,48	1,33
		3	-5,15	0,00	0,93	42,99	-4,89	1,43
	4	1	-6,33	0,00	1,14	14,57	-4,87	1,07
		2	-6,85	0,00	1,23	14,76	-5,38	1,16
		3	-7,14	0,00	1,29	23,01	-4,74	1,15
	5	1	-4,97	0,00	0,90	19,35	-4,91	1,13
		2	-5,48	0,00	0,99	19,55	-5,43	1,23
		3	-4,89	0,00	0,88	31,02	-4,81	1,27
	6	1	-5,10	0,00	0,92	21,38	-4,95	1,17
		2	-5,61	0,00	1,01	21,63	-5,46	1,26
		3	-5,10	0,00	0,92	33,93	-4,87	1,31
	7	1	-6,15	10,35	1,24	10,35	-6,15	1,24
		2	-6,67	10,35	1,33	10,35	-6,67	1,33
		3	-6,87	16,32	1,45	16,32	-6,87	1,45
	8	1	-5,00	0,00	0,90	12,32	-4,98	1,06
		2	-5,52	0,00	0,99	12,46	-5,50	1,15
		3	-4,95	0,00	0,89	19,43	-4,93	1,14
	9	1	-5,01	0,00	0,90	10,09	-5,01	1,03
		2	-5,53	0,00	1,00	10,09	-5,52	1,12
		3	-4,96	0,00	0,89	16,22	-4,95	1,10
	10	1	-5,53	53,37	1,68	61,11	-5,50	1,78
		2	-6,05	54,17	1,79	61,42	-6,02	1,87
		3	-5,79	89,59	2,20	102,08	-5,75	2,35

Fonte: do Próprio Autor

Tabela B.2 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das seções críticas dos montantes, dos bloqueadores, guias e fitas de contraventamento do painel PC_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Solicitação e verificação correspondente								
Elemento	Nº	Combinação	N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta
Seções críticas dos montantes	4	1	-6,32	10,17	1,27	-		
		2	-6,84	10,15	1,36			
		3	-7,14	16,04	1,49			
	6	1	-5,09	11,39	1,06			
		2	-5,60	11,40	1,16			
		3	-5,09	18,24	1,15			
	8	1	-5,00	11,39	1,05			
		2	-5,51	11,40	1,14			
		3	-4,95	18,28	1,13			
Bloqueador	1	1	-1,31	0,29	0,15	-		
		2	-1,04	0,29	0,12			
		3	-1,73	0,29	0,20			
	2	1	-1,04	0,29	0,12			
		2	-1,04	0,29	0,12			
		3	-1,74	0,29	0,20			
	3	1	-			0,60	0,29	0,03
		2				0,60	0,29	0,03
		3				1,00	0,29	0,04
	4	1				0,59	0,29	0,03
		2				0,59	0,29	0,03
		3				0,99	0,29	0,04
Guia	-	1	-0,54	-		-		
		2	-0,55					
		3	-0,87					
Fita “X”	-	1	-			3,03	-	
		2				3,04		
		3				5,03		

Fonte: do Próprio Autor

Tabela B.3 – Deslocamento horizontal do painel PC_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
1	1,42
2	1,80
3	3,77

Fonte: do Próprio Autor

**ANEXO C - Solicitações, deslocamentos e verificações do painel PC_J_X
com perfis de 0,5 milímetros de espessura**

Tabela C.1 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes do painel PC_J_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente					
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	1	-5,06	114,92	2,39	114,92	-5,06	2,39
		2	-5,42	116,13	2,47	116,13	-5,42	2,47
		3	-4,79	111,15	2,29	181,86	-4,79	3,20
	2	1	-7,54	0,00	1,36	15,36	-7,53	1,56
		2	-7,92	0,00	1,43	15,57	-7,92	1,63
		3	-8,67	0,00	1,56	26,00	-4,78	1,20
	3	1	-7,83	19,47	1,66	22,55	-7,80	1,70
		2	-8,22	19,59	1,73	22,90	-8,19	1,77
		3	-9,02	31,60	2,03	32,92	-8,97	2,04
	4	1	-10,09	46,00	2,41	61,36	-6,32	1,93
		2	-10,75	49,16	2,57	64,21	-6,72	2,04
		3	-10,15	39,69	2,34	75,76	-6,44	2,14
	5	1	-5,31	0,00	0,96	23,21	-5,31	1,25
		2	-5,64	0,00	1,02	23,58	-5,63	1,32
		3	-5,55	0,00	1,00	34,25	-5,54	1,44
	6	1	-0,07	0,00	0,01	24,98	-0,06	0,33
		2	-0,07	0,00	0,01	25,46	-0,06	0,34
		3	-0,07	0,00	0,01	37,24	-0,06	0,49
	7	1	-0,04	0,00	0,01	22,10	-0,03	0,29
		2	-0,05	0,00	0,01	22,41	-0,04	0,30
		3	-0,03	0,00	0,01	34,07	-0,02	0,44
	8	1	-4,50	0,00	0,81	16,79	-4,49	1,03
		2	-4,83	0,00	0,87	16,90	-4,82	1,09
		3	-4,07	0,00	0,73	26,77	-4,06	1,08
	9	1	-10,21	30,48	2,23	30,48	-10,21	2,23
		2	-10,92	32,03	2,38	32,03	-10,92	2,38
		3	-9,69	31,03	2,15	31,03	-9,69	2,15
	10	1	-7,02	0,00	1,27	26,45	-5,20	1,28
		2	-7,36	0,00	1,33	27,40	-5,57	1,36
		3	-8,31	0,00	1,50	34,67	-4,94	1,34
	11	1	-6,64	0,00	1,20	18,01	-6,63	1,43
		2	-6,99	0,00	1,26	18,11	-6,98	1,49
		3	-7,58	0,00	1,37	28,39	-7,57	1,73
	12	1	-7,15	0,00	1,29	61,63	-7,11	2,07
		2	-7,58	0,00	1,36	61,99	-7,53	2,15
		3	-7,52	87,93	2,49	100,50	-7,47	2,64

Fonte: do Próprio Autor

Tabela C.2 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das seções críticas dos montantes, dos bloqueadores, guias e fitas de contraventamento do painel PC_J_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente					
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta
Seções críticas dos Montantes	2	1	-7,53	15,36	1,56	-		
		2	-7,92	15,57	1,63			
		3	-8,66	22,50	1,85			
	10	1	-7,01	17,02	1,48			
		2	-7,35	17,07	1,54			
		3	-8,30	26,55	1,84			
Bloqueador	1	1	-1,08	0,29	0,13			
		2	-1,08	0,29	0,13			
		3	-1,78	0,29	0,21			
	2	1	-0,91	0,29	0,11			
		2	-0,91	0,29	0,11			
		3	-1,54	0,29	0,18			
	3	1	-			0,60	0,29	0,03
		2				0,60	0,29	0,03
		3				1,00	0,29	0,04
	4	1				0,59	0,29	0,03
		2				0,59	0,29	0,03
		3				0,98	0,29	0,04
Guia	-	1	-0,86	-		-		
		2	-0,94					
		3	-1,01					
Fita “X”	-	1	-			2,87	-	
		2				2,88		
		3				4,70		

Fonte: do Próprio Autor

Tabela C.3 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações na verga do painel PC_J_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	Desloc. vertical (mm)
Verga da Janela 0,5 mm	1	9,47	253,69	25,0	4,9	2192,01	2192,01	4,85	18,7	5,9	6,08
	2	10,13	271,42	28,6	4,9	2344,93	2344,93	5,18	21,4	6,2	7,04
	3	9,38	240,96	24,5	4,8	2088,19	2088,19	4,61	17,0	5,8	5,92

Fonte: do Próprio Autor

Tabela C.4 – Deslocamento horizontal do painel PC J_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
1	3,07
2	3,35
3	6,03

Fonte: do Próprio Autor

**ANEXO D - Solicitações, deslocamentos e verificações do painel PC_J_V
com perfis de 0,5 milímetros de espessura**

Tabela D.1 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes do painel PC_J_V com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente					
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _s na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	1	-5,06	94,19	2,12	120,03	-5,01	2,45
		2	-5,42	94,77	2,20	120,32	-5,37	2,52
		3	-4,80	157,53	2,89	200,48	-4,71	3,43
	2	1	-5,05	59,57	1,68	59,57	-5,05	1,68
		2	-5,41	59,97	1,75	59,97	-5,41	1,75
		3	-4,79	97,92	2,12	97,92	-4,79	2,12
	3	1	-5,19	52,67	1,61	60,89	-5,18	1,72
		2	-5,55	53,16	1,68	61,04	-5,55	1,78
		3	-4,90	86,24	1,99	102,72	-4,90	2,20
	4	1	-10,21	107,97	3,23	107,97	-10,21	3,23
		2	-10,93	111,62	3,41	111,62	-10,93	3,41
		3	-9,69	147,04	3,64	147,04	-9,69	3,64
	5	1	-5,48	0,00	0,99	113,18	-3,82	2,14
		2	-5,83	0,00	1,05	113,81	-4,08	2,20
		3	-5,54	0,00	1,00	189,82	-3,55	3,08
	6	1	-0,04	0,00	0,01	30,71	-0,02	0,40
		2	-0,04	0,00	0,01	31,40	-0,02	0,41
		3	-0,03	0,00	0,01	45,50	-0,01	0,59
	7	1	-0,35	0,00	0,06	36,01	-0,06	0,47
		2	-0,36	0,00	0,07	36,63	-0,06	0,48
		3	-0,47	0,00	0,08	53,66	-0,06	0,70
	8	1	-6,57	0,00	1,18	79,33	-0,02	1,02
		2	-6,91	0,00	1,25	79,84	-0,02	1,03
		3	-7,40	0,00	1,33	132,93	-0,01	1,71
	9	1	-10,22	25,48	2,17	34,14	-10,21	2,28
		2	-10,93	27,08	2,32	36,24	-10,93	2,44
		3	-9,70	20,16	2,01	52,44	-9,69	2,42
	10	1	-6,40	0,00	1,15	58,90	-5,54	1,76
		2	-6,77	0,00	1,22	60,00	-5,91	1,84
		3	-6,89	0,00	1,24	89,32	-5,51	2,14
	11	1	-6,12	0,00	1,10	55,89	-6,04	1,81
		2	-6,48	0,00	1,17	56,46	-6,40	1,88
		3	-6,55	0,00	1,18	89,94	-6,43	2,32
	12	1	-6,57	0,00	1,18	58,33	-6,57	1,93
		2	-6,93	0,00	1,25	58,53	-6,92	2,00
		3	-7,23	85,74	2,41	97,55	-7,23	2,56

Fonte: do Próprio Autor

Tabela D.2 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das seções críticas dos montantes, dos bloqueadores, guias e fitas de contraventamento do painel PC J V com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente							
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta		
Seções críticas dos Montantes	1	1	-5,06	98,29	2,18	-				
		2	-5,42	98,89	2,25					
		3	-4,79	163,73	2,97					
	8	1	-3,57	49,09	1,27					
		2	-3,82	48,84	1,32					
		3	-3,26	87,28	1,71					
	10	1	-6,38	35,09	1,60					
		2	-6,76	35,20	1,67					
		3	-6,87	58,73	1,99					
Bloqueador	1	1	-0,98	0,29	0,12					
		2	-0,98	0,29	0,12					
		3	-1,63	0,29	0,19					
	2	1	-1,10	0,29	0,13					
		2	-1,10	0,29	0,13					
		3	-1,83	0,29	0,21					
	3	1	-			0,59	0,29	0,03		
		2				0,59	0,29	0,03		
		3				0,98	0,29	0,04		
	4	1				0,60	0,29	0,03		
		2				0,60	0,29	0,03		
		3				1,00	0,29	0,04		
Guia	-	1				-0,77	-		-	
		2				-0,77				
		3				-1,25				
Fita “V”	-	1	-			4,43	-			
		2				4,45				
		3				7,32				

Fonte: do Próprio Autor

Tabela D.3 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações na verga do painel PC_J_V com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	Desloc. vertical (mm)
Verga da Janela 0,5 mm	1	9,46	253,50	24,97	4,86	2191,17	2191,17	4,84	18,7	5,9	6,12
	2	10,12	271,21	28,58	4,89	2344,07	2344,07	5,18	21,4	6,2	7,09
	3	8,98	240,59	22,49	4,84	2080,20	2080,17	0,00	11,0	5,7	5,92

Fonte: do Próprio Autor

Tabela D.4 – Deslocamento horizontal do painel PC_J_V com perfis de 0,5 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
1	2,22
2	2,33
3	5,74

Fonte: do Próprio Autor

**ANEXO E - Solicitações, deslocamentos e verificações do painel PC_P_X
com perfis de 0,5 milímetros de espessura**

Tabela E.1 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes do painel PC_P_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente					
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _s na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	1	-4,90	76,84	1,87	109,58	-4,90	2,29
		2	-5,41	78,15	1,98	110,16	-5,41	2,39
		3	-4,79	128,23	2,51	182,74	-4,78	3,21
	2	1	-4,96	0,00	0,89	17,94	-4,87	1,11
		2	-5,48	0,00	0,99	18,17	-5,38	1,20
		3	-4,89	0,00	0,88	28,26	-4,74	1,22
	3	1	-6,20	0,00	1,12	22,21	-4,84	1,16
		2	-6,71	0,00	1,21	22,85	-5,35	1,26
		3	-6,88	0,00	1,24	35,35	-4,69	1,30
	4	1	-5,22	0,00	0,94	27,63	-5,02	1,26
		2	-5,74	0,00	1,03	28,34	-5,54	1,36
		3	-5,31	0,00	0,96	44,29	-4,99	1,47
	5	1	-7,70	-17,67	1,16	19,48	-7,69	1,64
		2	-8,31	-18,31	1,26	20,09	-8,31	1,76
		3	-9,49	-27,97	1,35	30,77	-9,48	2,10
	6	1	-5,15	0,00	0,93	28,80	-5,13	1,29
		2	-5,67	0,00	1,02	29,83	-5,65	1,40
		3	-5,14	0,00	0,93	47,68	-5,11	1,53
	7	1	-7,97	70,52	2,34	114,48	-7,97	2,91
		2	-8,68	75,84	2,54	121,02	-8,68	3,12
		3	-8,13	97,43	2,72	183,22	-8,12	3,82
	8	1	-4,18	0,00	0,75	254,41	-0,04	3,28
		2	-4,53	0,00	0,82	269,42	-0,04	3,48
		3	-4,42	0,00	0,80	429,34	-0,03	5,53
	9	1	-5,43	162,68	3,07	278,00	0,01	3,58
		2	-5,87	175,78	3,32	297,68	0,01	3,83
		3	-6,66	287,79	4,90	471,25	0,13	6,07
	10	1	-7,46	111,10	2,77	254,87	-3,85	3,97
		2	-8,23	118,04	3,00	273,36	-4,18	4,27
		3	-7,35	177,52	3,61	427,19	-3,48	6,12
	11	1	-4,92	99,15	2,16	182,58	-4,75	3,21
		2	-5,43	104,97	2,33	196,90	-5,25	3,48
		3	-4,83	164,37	2,99	304,87	-4,49	4,73

Fonte: do Próprio Autor

Tabela E.2 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das seções críticas dos montantes, dos bloqueadores, guias e fitas de contraventamento do painel PC_P_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente						
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	
Montante	8	1	-3,40	129,92	2,28	-			
		2	-3,68	137,23	2,43				
		3	-3,60	218,20	3,46				
	9	1	-5,42	91,37	2,15				
		2	-5,86	91,88	2,24				
		3	-6,64	149,39	3,12				
Bloqueador	1	1	-1,03	0,29	0,12				
		2	-1,03	0,29	0,12				
		3	-1,72	0,29	0,20				
	2	1	-1,05	0,29	0,12				
		2	-1,05	0,29	0,12				
		3	-1,75	0,29	0,20				
	3	1	-			0,77	0,25	0,03	
		2				0,78	0,25	0,03	
		3				1,13	0,25	0,05	
		4				1	0,39	0,25	0,02
						2	0,40	0,25	0,02
						3	0,62	0,25	0,03
Guia	-	1	-1,35	-		-			
		2	-1,39						
		3	-2,14						
Fita “X”	-	1	-			3,47	-		
		2				3,50			
		3				5,74			

Fonte: do Próprio Autor

Tabela E.3 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações na verga do painel PC_P_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	Desloc. vertical (mm)
Verga da Porta 0,5 mm	1	-7,61	204	16,16	4,78	1164,54	1164,54	2,43	5,09	4,29	1,35
	2	-8,30	222,31	19,19	4,81	1284,06	1284,06	2,68	6,18	4,48	1,56
	3	-7,78	208,47	16,87	4,79	1145,76	1145,76	2,39	4,92	4,26	1,33

Fonte: do Próprio Autor

Tabela E.4 – Deslocamento horizontal do painel PC_P_X com perfis de 0,5 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
1	1,97
2	2,09
3	4,67

Fonte: do Próprio Autor

ANEXO F - Solicitações, deslocamentos e verificações do painel PPr com perfis de 0,5 milímetros de espessura

Tabela F.1 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes do painel PPr com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	1	-3,91	51,27	1,31	-			59,33	-0,07	0,77
		2	-4,34	52,01	1,40				58,96	-0,51	0,84
		3	-3,58	98,31	0,60	2,94	80,54	1,20	100,84	2,94	1,46
	2	1	-12,60	0,00	2,11	-			23,74	-6,55	1,40
		2	-13,08	0,00	2,19				24,40	-7,08	1,50
		3	-17,98	0,00	3,01				35,40	-7,49	1,71
	3	1	-5,20	0,00	0,87				33,10	-5,07	1,28
		2	-5,71	0,00	0,96				33,69	-5,58	1,37
		3	-5,27	0,00	0,88				51,80	-5,06	1,51
	4	1	-4,89	0,00	0,82				24,66	-4,88	1,13
		2	-5,40	0,00	0,90				25,05	-5,39	1,23
		3	-4,75	33,22	1,22				38,85	-4,74	1,29
	5	1	-4,93	0,00	0,83				22,95	-4,92	1,12
		2	-5,45	0,00	0,91				23,16	-5,43	1,21
		3	-4,83	0,00	0,81				37,22	-4,81	1,29
	6	1	-4,92	0,00	0,82				22,93	-4,92	1,12
		2	-5,43	0,00	0,91				23,12	-5,43	1,21
		3	-4,81	0,00	0,81				37,21	-4,81	1,28
	7	1	-4,97	0,00	0,83				24,67	-4,96	1,15
		2	-5,49	0,00	0,92				25,04	-5,48	1,24
		3	-4,89	0,00	0,82				38,82	-4,88	1,32
	8	1	-4,82	17,71	1,03				32,28	-4,69	1,20
		2	-5,33	18,03	1,12				32,92	-5,20	1,29
		3	-4,65	27,25	1,13				49,95	-4,43	1,39
	9	1	-5,02	-13,17	0,67	3,88	0,41	0,22	26,06	-3,31	0,89
		2	-5,53	-13,62	0,75	3,48	0,01	0,20	26,83	-3,80	0,98
		3	-4,98	-18,75	0,59	9,26	3,63	0,57	38,46	-2,18	0,86
	10	1	-9,06	0,00	1,52	-			45,81	-9,06	2,11
		2	-9,56	0,00	1,60				46,47	-9,56	2,20
		3	-11,87	0,00	1,99				73,59	-11,86	2,93

Fonte: do Próprio Autor

Tabela F.2 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das seções críticas dos montantes e das guias do painel PPr com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente		
			$N_{e,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta
Seções críticas dos Montantes	2	1	-12,60	8,16	2,22
		2	-13,07	8,48	2,30
		3	-17,98	10,39	3,14
	2	1	-6,40	12,79	1,24
		2	-6,93	0,03	1,16
		3	-7,24	0,06	1,21
	10	1	-9,05	17,96	1,75
		2	-9,55	17,24	1,82
		3	-11,86	34,67	2,43
Guia	-	1	Tração	-	
		2			
		3			

Fonte: do Próprio Autor

Tabela F.3 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das diagonais do painel PPr com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente					
			$N_{c,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	$N_{t,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta
Diagonal	1	1	-1,23	0,28	0,42	-		
		2	-1,32	0,29	0,45			
		3	-1,51	0,29	0,51			
	2	1	-			0,98	0,25	0,07
		2				0,91	0,25	0,07
		3				2,11	0,24	0,15
	3	1	-3,50	0,33	1,16	-		
		2	-3,56	0,33	1,18			
		3	-5,48	0,38	1,82			
	4	1	-			3,83	0,22	0,26
		2				3,70	0,22	0,25
		3				7,21	0,19	0,47
	5	1	-0,09	0,27	0,04			
		2	-0,15	0,27	0,06			
		3		0,26	0,01	0,31	0,26	0,03
	6	1	-2,48	0,31	0,83	-		
		2	-2,57	0,31	0,86			
		3	-3,59	0,33	1,19			
	7	1	-			2,49	0,23	0,17
		2				2,45	0,23	0,17
		3				4,42	0,21	0,29
	8	1	-6,03	0,40	2,00	-		
		2	-6,18	0,40	2,05			
		3	-9,14	0,52	3,03			

Fonte: do Próprio Autor

Tabela F.4 – Deslocamento horizontal do painel PPr com perfis de 0,5 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
1	2,02
2	2,02
3	6,65

Fonte: do Próprio Autor

ANEXO G - Solicitações, deslocamentos e verificações do painel PPr_J com perfis de 0,5 milímetros de espessura

Tabela G.1 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes do painel PPr_J com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	1	-3,90	52,03	1,32	0,27	52,02	0,68	59,49	0,27	0,78
		2	-4,31	52,86	1,40	-			59,09	-0,16	0,79
		3	-3,61	97,73	1,86	3,43	81,17	1,24	101,21	3,43	1,50
	2	1	-12,82	0,00	2,15	-			26,25	-6,85	1,48
		2	-13,30	0,00	2,23				27,11	-7,42	1,59
		3	-18,38	0,00	3,08				38,29	-7,80	1,80
	3	1	-5,29	0,00	0,89				32,44	-5,19	1,29
		2	-5,82	0,00	0,98				33,08	-5,72	1,38
		3	-5,33	0,00	0,89				52,22	-5,17	1,54
	4	1	-9,88	32,50	2,07				59,36	-6,34	1,83
		2	-10,90	34,73	2,27				64,22	-6,99	2,00
		3	-9,64	35,43	2,07				68,72	-6,23	1,93
	5	1	-4,72	8,41	0,90				25,15	-3,60	0,93
		2	-5,18	8,07	0,97				27,57	-3,96	1,02
		3	-4,80	16,87	1,02				27,46	-3,54	0,95
	6	1	-0,08	0,00	0,01				21,54	-0,02	0,28
		2	-0,09	0,00	0,01				21,99	-0,02	0,29
		3	-0,09	0,00	0,02				33,05	-0,02	0,43
	7	1	-0,05	0,00	0,01				14,59	-0,01	0,19
		2	-0,06	0,00	0,01				14,29	-0,01	0,19
		3	-0,04	0,00	0,01				26,55	-0,01	0,34
	8	1	-4,20	7,97	0,81				25,55	-3,50	0,92
		2	-4,66	8,49	0,89				28,02	-3,86	1,01
		3	-3,94	10,08	0,79				28,03	-3,38	0,93
	9	1	-9,93	19,23	1,91				27,20	-6,28	1,40
		2	-10,95	21,47	2,11				31,85	-6,93	1,57
		3	-9,73	13,71	1,81				36,24	-5,40	1,37
	10	1	-4,91	-25,13	0,50				34,32	-4,88	1,26
		2	-5,44	-24,85	0,59				35,09	-5,41	1,36
		3	-4,70	-44,28	0,22				52,17	-4,65	1,45
	11	1	-5,00	13,29	1,01	4,02	0,34	0,23	26,76	-3,29	0,90
		2	-5,52	13,63	1,10	3,62	0,08	0,20	27,62	-3,83	1,00
		3	-4,97	19,21	1,08	9,46	3,55	0,58	39,00	-1,98	0,83
	12	1	-9,14	0,00	1,53	-			46,02	-9,14	2,12
		2	-9,63	0,00	1,61				46,69	-9,63	2,21
		3	-12,06	0,00	2,02				73,81	-12,06	2,97

Fonte: do Próprio Autor

Tabela G.2 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das seções críticas dos montantes e das guias do painel PPr_J com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente		
			$N_{e,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta
Montante	1	1	-3,89	56,45	1,38
		2	-4,31	56,09	1,44
		3	-3,61	97,73	1,86
	2	1	-6,69	13,07	1,29
		2	-7,26	12,39	1,38
		3	-7,53	26,86	1,61
	1	1	-12,82	7,98	2,25
		2	-13,29	8,31	2,33
		3	-18,37	10,06	3,21
	8	1	-4,20	17,12	0,92
		2	-4,66	18,78	1,02
		3	-3,94	18,32	0,90
Guia	-	1	-0,67	-	
		2	-0,73		
		3	-0,76		

Fonte: do Próprio Autor

Tabela G.3 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das diagonais do painel PPr_J com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente					
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta
Diagonal	1	1	-1,25	0,28	0,42	-		
		2	-1,36	0,29	0,46			
		3	-1,49	0,29	0,50			
	2	1	-			0,98	0,25	0,10
		2				0,91	0,25	0,10
		3				2,11	0,23	0,17
	3	1	-3,50	0,33	1,17	-		
		2	-3,53	0,33	1,18			
		3	-5,65	0,39	1,87			
	4	1	-			3,83	0,22	0,25
		2				3,70	0,22	0,24
		3				7,21	0,19	0,47
	5	1	-0,02	0,27	0,02	-		
		2	-0,11	0,27	0,05			
		3	-	0,26	-	0,31	0,26	0,04
	6	1	-2,41	0,23	0,80	-		
		2	-2,47	0,23	0,82			
		3	-3,65	0,21	1,21			
	7	1	-			2,49	0,23	0,18
		2				2,45	0,23	0,18
		3				4,42	0,21	0,29
	8	1	-6,09	0,40	2,02	-		
		2	-6,24	0,41	2,07			
		3	-9,14	0,54	3,03			

Fonte: do Próprio Autor

Tabela G.4 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações na verga do painel PPr_J com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Combinação	V _{y,Sd} (kN)	M _{x,Sd} na seção da V _{y,Sd} máxima (kN.mm)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	M _{x,Sd} (kN.mm)	M _{x,Sd} na força concentrada intermediária (kN.mm)	V _{y,Sd} no momento fletor máximo (kN)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	Desloc. vertical (mm)
Verga da Janela 0,5 mm	1	9,47	253,66	24,98	4,86	2174,35	2174,35	4,80	18,42	5,90	6,27
	2	10,44	279,88	30,41	4,90	2398,73	2398,73	5,30	22,42	6,25	7,26
	3	9,26	248,23	23,92	4,85	2127,99	2127,99	4,70	17,64	5,82	6,07

Fonte: do Próprio Autor

Tabela G.5 – Deslocamento horizontal do painel PPr_J com perfis de 0,5 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
1	2,07
2	2,08
3	6,86

Fonte: do Próprio Autor

ANEXO H - Solicitações, deslocamentos e verificações do painel PPr_P com perfis de 0,5 milímetros de espessura

Tabela H.1 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes do painel PPr_P com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _s na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	1	-4,05	52,02	1,35	-			57,26	-0,33	0,79
		2	-4,49	52,89	1,43				56,72	-0,78	0,86
		3	-3,82	97,90	1,90	2,55	80,98	1,19	98,49	2,55	1,41
	2	1	-13,72	0,00	2,30	-			25,00	-6,45	1,40
		2	-14,28	0,00	2,39				25,88	-6,99	1,50
		3	-19,26	0,00	3,23				36,08	-7,21	1,67
	3	1	-5,22	0,00	0,87				35,02	-5,08	1,30
		2	-5,74	0,00	0,96				35,97	-5,59	1,40
		3	-5,29	0,00	0,89				52,76	-5,07	1,53
	4	1	-4,89	0,00	0,82				26,62	-4,87	1,16
		2	-5,40	0,00	0,90				27,37	-5,39	1,25
		3	-4,75	0,00	0,80				39,86	-4,74	1,31
	5	1	-4,94	0,00	0,83				25,56	-4,92	1,15
		2	-5,45	0,00	0,91				26,22	-5,43	1,25
		3	-4,84	0,00	0,81				38,72	-4,81	1,30
	6	1	-4,94	24,66	1,14				24,66	-4,94	1,14
		2	-5,46	25,34	1,24				25,34	-5,45	1,24
		3	-4,81	37,19	1,28				38,08	-4,81	1,30
	7	1	-7,43	35,93	1,71				46,68	-4,72	1,39
		2	-8,20	38,76	1,87				50,29	-5,20	1,52
		3	-7,27	40,77	1,74				54,32	-4,65	1,48
	8	1	-4,21	0,00	0,71				22,40	-0,01	0,29
		2	-4,59	0,00	0,77				24,23	-0,01	0,31
		3	-4,46	0,00	0,75				25,63	-0,01	0,33
	9	1	-2,20	12,82	0,53	1,72	12,82	0,26	26,64	-1,43	0,58
		2	-2,57	13,81	0,61	0,82	13,81	0,22	28,73	-1,72	0,66
		3	-1,16	15,13	0,39	4,43	15,13	0,44	30,66	-0,44	0,47
	10	1	-7,43	31,53	1,65	0,36	42,52	0,57	58,83	-3,50	1,34
		2	-8,20	33,60	1,81	-			58,64	-3,90	1,41
		3	-7,27	39,07	1,72				99,09	-3,03	1,78
	11	1	-10,18	0,00	1,71	-			49,03	-10,18	2,34
		2	-10,70	0,00	1,79				49,78	-10,69	2,43
		3	-13,62	0,00	2,28				78,30	-13,62	3,29

Fonte: do Próprio Autor

Tabela H.2 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das seções críticas dos montantes e das guias do painel PPr P, com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente		
			$N_{e,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta
Montante	2	1	-13,71	10,91	2,44
		2	-14,28	11,42	2,54
		3	-19,26	13,29	3,40
	2	1	-6,29	12,14	1,21
		2	-6,84	11,48	1,29
		3	-6,95	25,46	1,49
	8	1	-2,82	20,33	0,73
		2	-3,10	22,01	0,80
		3	-2,79	22,78	0,76
	10	1	-3,59	43,17	1,16
		2	-4,08	46,60	1,28
		3	-2,68	49,77	1,09
Guia	-	1	-0,61	-	
		2	-0,66		
		3	-0,70		

Fonte: do Próprio Autor

Tabela H.3 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das diagonais do painel PPr_P com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente					
			$N_{c,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	$N_{t,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta
Diagonal	1	1	-1,06	0,28	0,36	-		
		2	-1,15	0,28	0,39			
		3	-1,24	0,28	0,42			
	2	1	-			1,04	0,25	0,08
		2				1,00	0,25	0,07
		3				2,06	0,24	0,14
	3	1	-3,31	0,32	1,10	-		
		2	-3,33	0,33	1,11			
		3	-5,36	0,38	1,78			
	4	1	-			5,46	0,20	0,36
		2				5,46	0,20	0,36
		3				9,19	0,17	0,60
	5	1	-			0,17	0,23	0,02
		2				0,11	0,23	0,02
		3				0,72	0,22	0,06
	6	1	-2,66	0,26	0,88	-		
		2	-2,71	0,27	0,90			
		3	-4,12	0,29	1,37			
	7	1	-			3,16	0,20	0,21
		2				3,17	0,20	0,21
		3				5,23	0,18	0,34
	8	1	-4,50	0,30	1,49	-		
		2	-4,52	0,30	1,50			
		3	-7,34	0,36	2,43			

Fonte: do Próprio Autor

Tabela H.4 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações na verga do painel PPr_P com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	Desloc. vertical (mm)
Verga da Porta 0,5 mm	1	7,06	189,31	13,91	4,76	1153,57	1153,57	2,41	4,99	4,27	1,34
	2	7,80	208,94	16,95	4,79	1273,15	1273,15	2,66	6,08	4,46	1,55
	3	6,91	185,23	13,32	4,75	1128,76	1128,76	2,36	4,78	4,23	1,30

Fonte: do Próprio Autor

Tabela H.5 – Deslocamento horizontal do painel PPr_P com perfis de 0,5 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
1	2,20
2	2,24
3	6,77

Fonte: do Próprio Autor

ANEXO I - Solicitações, deslocamentos e verificações do painel PPr_PJ com perfis de 0,5 milímetros de espessura

Tabela I.1 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta dos montantes do painel PPr_PJ com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente								
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta	M _{y,Sd} (kN.mm)	N _{Sd} na seção flexionada (kN)	Flexão composta
Montante	1	1	-4,06	50,01	1,32	0,14	0,00	0,01	58,92	0,14	0,77
		2	-4,49	50,80	1,41	-			58,43	-0,31	0,80
		3	-3,75	98,80	1,90	3,47	0,00	0,20	100,87	3,47	1,49
	2	1	-12,77	0,00	3,28	-			88,94	-8,11	2,50
		2	-13,47	0,00	3,40				89,11	-8,82	2,62
		3	-16,67	0,00	4,75				152,25	-8,78	3,43
	3	1	-6,78	0,00	1,14				27,73	-4,69	1,14
		2	-7,14	0,00	1,20				30,15	-5,07	1,24
		3	-8,98	0,00	1,50				31,39	-5,27	1,29
	4	1	-0,18	0,00	0,03				24,45	-0,04	0,32
		2	-0,18	0,00	0,03				24,58	-0,04	0,32
		3	-0,24	0,00	0,04				40,43	-0,05	0,53
	5	1	-0,03	0,00	0,01	0,004	0,00	0,00	12,74	-0,03	0,16
		2	-0,04	0,00	0,01	0,003	0,00	0,00	13,11	-0,03	0,17
		3	-0,01	0,00	0,00	0,014	0,00	0,00	22,70	0,01	0,29
	6	1	-4,19	1,83	0,73	-			27,84	-0,09	0,37
		2	-4,64	2,02	0,80				30,07	-0,02	0,39
		3	-3,94	21,37	0,94				34,03	-0,02	0,44
	7	1	-9,90	18,30	1,89				22,12	-6,30	1,34
		2	-10,93	20,64	2,10				26,01	-6,96	1,50
		3	-9,69	11,27	1,77				26,13	-5,33	1,23
	8	1	-5,12	20,26	1,12				31,37	-5,10	1,26
		2	-5,65	20,13	1,21				32,25	-5,63	1,36
		3	-5,01	0,00	0,84				47,72	-4,99	1,45
	9	1	-7,42	37,83	1,73				45,46	-4,70	1,37
		2	-8,19	40,59	1,89				48,84	-5,18	1,50
		3	-7,26	43,28	1,77				54,20	-4,62	1,47
	10	1	-4,24	0,00	0,71				24,29	-0,03	0,32
		2	-4,62	0,00	0,77				26,43	-0,03	0,34
		3	-4,50	0,00	0,75				27,39	-0,03	0,36
	11	1	-2,03	14,40	0,53	1,50	14,40	0,27	24,79	-1,26	0,53
		2	-2,40	15,24	0,60	1,15	15,24	0,26	27,11	-1,55	0,61
		3	-0,91	18,77	0,39	4,89	18,77	0,52	27,61	-0,19	0,39
	12	1	-7,43	32,51	1,66	0,64	44,28	0,61	61,03	-3,37	1,35
		2	-8,20	34,58	1,82	0,26	45,26	0,60	60,90	-3,78	1,42
		3	-7,27	40,37	1,74	3,66	69,20	1,10	102,51	-2,86	1,80
	13	1	-10,61	0,00	1,78	-			49,52	-10,61	2,41
		2	-11,14	0,00	1,87				50,28	-11,13	2,51

		3	-14,22	0,00	2,38		79,03	-14,22	3,40
--	--	---	--------	------	------	--	-------	--------	------

Fonte: do Próprio Autor

Tabela I.2 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das seções críticas dos montantes e das guias do painel PPr_PJ com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente		
			$N_{c,Sd}$ (kN)	$M_{y,Sd}$ na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta
Seções críticas dos Montantes	1	1	-4,01	57,27	1,41
		2	-4,44	56,96	1,48
		3	-3,72	98,81	1,89
	2	1	-12,76	34,39	2,58
		2	-13,46	34,08	2,69
		3	-16,67	56,84	3,52
	3	1	-5,48	13,08	1,09
		2	-5,97	13,15	1,17
		3	-5,97	22,65	1,29
	3	1	-5,49	16,34	1,13
		2	-5,97	17,38	1,22
		3	-5,97	21,91	1,28
Guia	-	1	-0,72	-	
		2	-0,77		
		3	-0,87		

Fonte: do Próprio Autor

Tabela I.3 – Esforços solicitantes e verificação à flexão composta das diagonais do painel PPr_PJ com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Nº	Combinação	Solicitação e verificação correspondente					
			N _{c,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção comprimida (kN.mm)	Flexão composta	N _{t,Sd} (kN)	M _{y,Sd} na seção tracionada (kN.mm)	Flexão composta
Diagonal	1	1	-1,04	0,24	0,18	-		
		2	-1,14	0,24	0,19			
		3	-1,25	0,24	0,21			
	2	1	-			1,34	0,22	0,08
		2				1,30	0,22	0,08
		3				2,56	0,21	0,15
	3	1	-3,48	0,28	0,59	-		
		2	-3,50	0,28	0,59			
		3	-5,73	0,32	0,96			
	4	1	-			5,39	0,18	0,31
		2				5,38	0,18	0,30
		3				9,12	0,16	0,52
	5	1	-			0,35	0,23	0,02
		2				0,28	0,23	0,02
		3				0,98	0,22	0,06
	6	1	-2,82	0,27	0,48	-		
		2	-2,88	0,27	0,49			
		3	-4,35	0,29	0,73			
	7	1	-			3,32	0,20	0,19
		2				3,33	0,20	0,19
		3				5,44	0,18	0,31
	8	1	-4,68	0,30	0,79	-		
		2	-4,71	0,30	0,79			
		3	-7,62	0,37	1,28			

Fonte: do Próprio Autor

Tabela I.4 – Esforços solicitantes e verificação da combinação de ações nas vergas do painel PPr_PJ com perfis de 0,5 mm de espessura

Elemento	Combinação	$V_{y,Sd}$ (kN)	$M_{x,Sd}$ na seção da $V_{y,Sd}$ máxima (kN.mm)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	$M_{x,Sd}$ (kN.mm)	$M_{x,Sd}$ na força concentrada intermediária (kN.mm)	$V_{y,Sd}$ no momento fletor máximo (kN)	Momento- cortante	Enrugamento- momento	Desloc. vertical (mm)
Verga da Porta 0,5 mm	1	7,07	189,36	13,92	4,76	1153,94	1153,94	2,41	4,99	4,27	1,34
	2	7,80	209,00	16,96	4,79	1273,59	1273,59	2,66	6,08	4,46	1,55
	3	6,91	185,29	13,33	4,75	1129,21	1129,21	2,36	4,78	4,23	1,29
Verga da Janela 0,5 mm	1	9,47	253,70	24,99	4,86	2175,06	2175,06	4,81	18,43	5,90	6,28
	2	10,45	279,93	30,43	4,90	2399,55	2399,55	5,30	22,43	6,26	7,27
	3	9,26	248,26	23,93	4,85	2128,67	2128,67	4,70	17,65	5,82	6,07

Fonte: do Próprio Autor

Tabela I.5 – Deslocamento horizontal do painel PPr_PJ com perfis de 0,5 mm de espessura

Combinação	Deslocamento horizontal (mm)
1	2,46
2	2,53
3	7,23

Fonte: do Próprio Autor