

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

O USO DO SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING*
ASSOCIADO A OUTROS SISTEMAS CONSTRUTIVOS
COMO FECHAMENTO VERTICAL EXTERNO NÃO
ESTRUTURAL

AUTOR: ALEXANDRE KOKKE SANTIAGO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo

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

Ouro Preto – maio de 2008

S235u	<p>Santiago, Alexandre Kokke, O uso do sistema <i>light steel framing</i> associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural [manuscrito] / Alexandre Kokke Santiago - 2008.</p> <p>xv, 153f.: il. color., tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo.</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Metálica.</p> <p>1. Construção industrializada - Teses. 2. Estruturas metálicas - Teses. 3. Painéis de fechamento - Teses. 4. Fachadas - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 624.014</p>
-------	---

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

AGRADECIMENTOS

À meus pais e minha irmã, incentivadores constantes na concretização deste e de tantos outros desafios;

À Camila, não só pela revisão;

Ao meu orientador, professor Ernani Araújo, pelo cuidado, atenção e dedicação no desenvolvimento deste trabalho;

Aos demais professores do curso de Mestrado, pelos ensinamentos e esclarecimentos, em especial professora Arlene Freitas e professor Henor Souza, pela solução de dúvidas ao longo do trabalho e professora Márcia Veloso, orientadora no estágio de docência;

A todos os colegas do mestrado, engenheiros e arquitetos, pelos divertidos trechos Ouro Preto a BH, conversas e ajudas nas dúvidas constantes;

Aos profissionais da Usiminas, Brasilit e Flasan, pelo apoio técnico e interesse demonstrado no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A construção civil brasileira é marcada pelos sistemas construtivos artesanais, porém, diante da crescente demanda e da disponibilidade técnica de alternativas, várias correntes deste setor têm se mostrado abertos ao emprego de soluções industrializadas. Sistemas construtivos com concepção racionalizada têm ganhado espaço conforme cresce a aceitação da tecnologia por parte dos setores produtivos e principalmente dos consumidores. O sistema construtivo *Light Steel Framing* (LSF), que se apresenta como uma solução industrializada e racionalizada, vem ganhando espaço no Brasil em construções dos mais diversos usos e já conta com todos os insumos necessários para sua execução disponíveis no país. Os fechamentos verticais industrializados são utilizados no Brasil com certa frequência, sendo o *dry-wall* (internamente) e os painéis metálicos e de concreto pré-moldado (externamente) suas formas mais comuns. Entretanto, os fechamentos externos em LSF para edifícios com estrutura principal portante, que são comuns em países de cultura construtiva mais industrializada, ainda são raros em nosso país. A utilização deste sistema representa maior rapidez de execução com perdas mínimas; menor emprego de mão-de-obra; e a redução considerável no peso próprio comparado a materiais convencionais. Nesse contexto, o presente trabalho constitui um material técnico de apoio àqueles que desejam utilizar o LSF como alternativa de solução construtiva para fechamento externo vertical não estrutural. São apresentados os condicionantes técnicos dessa utilização e os princípios qualitativos básicos para o dimensionamento do sistema. Também são compilados diversos modos e conceitos de montagem para o emprego do sistema no fechamento de fachadas, com suas principais características, limitações e variações, levantados a partir de catálogos e materiais técnicos publicados por fabricantes e associações técnicas, principalmente estrangeiros, e visitas a obras. São estudados, ainda, alguns dos principais materiais de acabamento dos fechamentos e suas interfaces construtivas, de modo a garantir a eficiência proposta para o sistema e propostos detalhes construtivos para sua execução. O presente trabalho pretende fornecer subsídios para que os profissionais responsáveis pela construção possam tomar a decisão sobre a melhor forma de montagem a ser utilizada, em função dos condicionantes de cada obra.

ABSTRACT

The use of non industrialized techniques is remarkable at civil construction in Brazil. However, facing the increasing demand and availability of solutions, some sectors became open minded to the use of industrialized alternatives. Rationalized solutions have gained space as the acceptance of new technologies by constructors and final users grows. Light Steel Framing system (LSF), presented as a rationalized and industrialized solution, is already used in Brazil in a variety of buildings and all the components necessary to its employ are available nationally. Industrialized façade and partition systems are used in Brazil under certain circumstances, specially gypsum drywall (internally), and metal panels or pre-cast concrete (externally). However external LSF (or Cold-formed Steel) non structural walling systems, in buildings with main structure, is a widely used solution in countries with a constructive culture of industrialization, this system is rarely employed in national market. This lightweight, dry system offers enormous savings in construction time, material waste, labor requirements and dead load, compared to traditional construction techniques. Considering this context, this work aims at providing technical material to support professionals interested in using the LSF as an alternative solution to external cladding. The work presents the conditions for the use of the proposed technology, as well as basic qualitative considerations for system dimensioning. Several assembly solutions and concepts are presented, and their main qualities, limitations and variations, compiled from catalogs and technical notes from assemblers, manufacturers and their technical associations, as well as field investigation. The main cladding systems available in Brazil for the use with LSF are presented, with solutions and details to guarantee their correct application. The aim of this work is to provide technical information to fundament the decision making of professionals involved in construction.

SUMÁRIO

RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XV
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Considerações Iniciais	1
1.2 - <i>Light Steel Framing</i> e sua Inserção no Cenário Nacional	3
1.3 - Sistemas de Fechamento Industrializados no Brasil	5
1.4 - Objetivos.....	7
1.5 - Estruturação do Trabalho.....	8
2 - O SISTEMA <i>LIGHT STEEL FRAMING</i>.....	9
2.1 - Introdução	9
2.2 - O Sistema Construtivo <i>Light Steel Framing</i>	12
2.2.1 - Aço Galvanizado	13
2.2.2 - Perfis de Aço Utilizados.....	14
2.2.3 - Painéis.....	15
2.2.4 - Lajes	18
2.2.5 - Coberturas.....	20
2.3 - Acabamentos Verticais Para <i>Light Steel Framing</i>	21
2.3.1 - Características Gerais	21
2.3.2 - Isolamento Térmico e Acústico	22
2.4 - Métodos de Construção	23
2.4.1 - Método “ <i>Stick</i> ”	23
2.4.2 - Método por Painéis	23
2.4.3 - Construção Modular	25
2.5 - Racionalização e Coordenação Modular	26

2.5.1 - <i>Light Steel Framing</i> e Modulação.....	30
3 - CONSIDERAÇÕES ESTRUTURAIS DA UTILIZAÇÃO DE LSF COMO FECHAMENTO EXTERNO.....	31
3.1 - Concepção Estrutural	31
3.2 - Dimensionamento	33
3.2.1 - Princípios para o Dimensionamento do Fechamento.....	33
3.2.2 - Cargas para Dimensionamento	35
3.2.2.1 - Peso Próprio	35
3.2.2.2 - Cargas devidas ao Vento	35
3.2.2.3 - Cargas Sísmicas	36
3.2.2.4 - Cargas de origem Térmica.....	36
3.2.2.5 - Cargas de Impacto.....	37
3.2.3 - Deslocamentos e Estados Limites.....	37
3.2.4 - Tensões Atuantes	38
3.3 - Deslocamentos na Estrutura Principal.....	38
3.3.1 - Formas de Deslocamentos na Estrutura Principal.....	39
3.3.1.1 - Assentamento da fundação	40
3.3.1.2 - Deslocamento das vigas de contorno do edifício.....	40
3.3.1.3 - Oscilação provocada pelo vento	40
3.3.2 - Absorção de Deslocamentos Verticais	40
3.3.3 - Absorção de Deslocamentos Horizontais	41
3.4 - Conexão das peças de LSF com a Estrutura Principal	42
3.4.1 - Dimensionamento da Conexão	43
3.4.2 - Pinos acionados à pólvora	43
3.4.3 - Parafusos.....	45
3.4.4 - Solda.....	46
4 - MODOS DE MONTAGEM DE FECHAMENTOS EXTERNOS EM <i>LIGHT STEEL FRAMING</i>.....	47
4.1 - Método Embutido.....	48
4.1.1 - Ligação Rígida	52
4.1.2 - Espaço superior para movimentação, com travamento horizontal	53

4.1.2.1 - Travamento com Bloqueadores e Fitas metálicas	54
4.1.2.2 - Travamento com Canaletas e Cantoneiras	55
4.1.2.3 - Travamento com Espaçadores	56
4.1.3 - Espaço superior para movimentação, com peças especiais	58
4.1.4 - Fixação superior dos montantes com cantoneiras com furos oblongos	59
4.1.5 - Guia Superior Dupla.....	61
4.1.6 - Montante com furos oblongos na extremidade superior	63
4.1.7 - Guia superior com furos oblongos	65
4.1.8 - Movimentação na extremidade inferior do painel	67
4.1.9 - Avaliação Crítica das Montagens Embutidas	67
4.2 - Painéis Contínuos de Fachada	69
4.2.1 - Ligações rígidas	75
4.2.2 - Ligações não-rígidas conectadas às almas dos montantes	77
4.2.3 - Ligações não-rígidas conectadas às mesas e enrijecedores dos montantes	81
4.2.4 - Conexão horizontal entre painéis	84
4.2.5 - Avaliação Crítica das Montagens Contínuas	89
4.2.6 - Painéis Janela a Janela.....	89
5 - ACABAMENTOS E INTERFACES	95
5.1 - Interface das Peças de LSF com a Estrutura Principal.....	96
5.2 - Painéis com Acabamento Pré-Executado	96
5.3 - Juntas e Encontros de Placas de Acabamento	97
5.4 - Materiais de Acabamento e Formas de Aplicação	98
5.4.1 - Painéis OSB	99
5.4.1.1 - <i>Siding</i>	100
5.4.1.2 - Argamassa.....	105
5.4.1.3 - EIFS (<i>Exterior Insulation and Finishing System</i>).....	107
5.4.2 - Placas Cimentícias	111
5.4.3 - Alvenaria	118
5.4.4 - Gesso Cartonado	119
5.4.5 - Painéis Metálicos	125
6 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA.....	128

6.1 - Resistência Ao Vento	129
6.1.1 - Análise e Recomendações de projeto.....	133
6.2 - Isolamento Térmico.....	134
6.2.1 - Recomendações de projeto	135
6.3 - Isolamento Acústico	136
6.3.1 - Propriedades e análise comparativa	138
6.3.2 - Recomendações de projeto	139
6.4 - Peso Próprio.....	141
6.4.1 - Propriedades e análise comparativa	141
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
7.1 - Sugestões Para Trabalhos Futuros	145
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema de construção portante em LSF.....	12
Figura 2.2 - Alguns dos subsistemas do <i>Light Steel Framing</i>	13
Figura 2.3 - Seções usuais de perfis para LSF	14
Figura 2.4 - Parafuso cabeça lenticilha e ponta broca.....	14
Figura 2.5 - Parafuso estrutural - cabeça sextavada e ponta broca	15
Figura 2.6 - Desenho esquemático de painel típico em LSF e seus componentes.....	15
Figura 2.7 - Esquema de travamento horizontal do painel por bloqueadores	16
Figura 2.8 - Desenho esquemático de painel portante em LSF com abertura	17
Figura 2.9 - Painel não-estrutural com abertura.....	18
Figura 2.10 - Montagem de vigas da estrutura de piso	19
Figura 2.11 - Desenho esquemático de laje seca	19
Figura 2.12 - Desenho esquemático de laje úmida	20
Figura 2.13 - Tesouras de cobertura em LSF.....	21
Figura 2.14 - Instalação de isolamento em lã de vidro.....	22
Figura 2.15 - Montagem de painel em LSF no canteiro de obras.....	23
Figura 2.16 - Painéis em LSF produzidos em fábrica e transportados para obra	24
Figura 2.17 - Montagem de painéis em LSF com acabamento executado previamente	24
Figura 2.18 - Construção de edifício em módulos	25
Figura 2.19 - Montagem de módulo de banheiro. Edifício de Hotel, São Paulo	25
Figura 2.20 - Coordenação modular entre elementos construtivos.....	28
Figura 2.21 - Centre Pompidou.....	29
Figura 2.22 - Museu Guggenheim Bilbao, durante obras de construção	29
Figura 3.1 - Cargas de origem térmica nos fechamentos em LSF	36
Figura 3.2 - Pino para fixação à pólvora em concreto.....	44
Figura 3.3 - Pino para fixação à pólvora em aço	44
Figura 3.4 - Parafuso estrutural - cabeça sextavada e ponta broca	45
Figura 3.5 - Algumas configurações de solda entre chapas de aço.....	46
Figura 4.1 - Vedação em LSF – Método Embutido	49
Figura 4.2 - Montagem de painéis de LSF embutidos	50
Figura 4.3 - Fechamento em LSF, método embutido.....	50

Figura 4.4 - Instalação de painel embutido de fachada em LSF.....	51
Figura 4.5 - Ligação rígida dos montantes com a guia superior.....	52
Figura 4.6 - Travamento superior com bloqueadores e fitas	54
Figura 4.7 - Travamento superior com canaleta e cantoneiras	55
Figura 4.8 - Espaçador instalado entre montantes	56
Figura 4.9 - Espaçador e guarda.....	57
Figura 4.10 - Modelos de peças de conexão do montante à guia com movimentação ..	58
Figura 4.11 - Cantoneira superior com furos oblongos para movimentação.....	59
Figura 4.12 - Cantoneiras de fixação superior de montantes.....	61
Figura 4.13 - Montagem com guia dupla	62
Figura 4.14 - Montantes com furos superiores oblongos	64
Figura 4.15 - Guia superior com furos oblongos	65
Figura 4.16 - Dimensões dos furos oblongos nas mesas da guia superior	66
Figura 4.17 - Vedação em LSF - Método contínuo	69
Figura 4.18 - Montagem de painel contínuo de fachada.	70
Figura 4.19 - Execução de painel contínuo em <i>retrofit</i> de edifício comercial.....	70
Figura 4.20 - Painel com montante contínuo da base ao topo do edifício.....	71
Figura 4.21 - Painel dividido verticalmente, conexões não-rígidas	72
Figura 4.22 - Painel dividido verticalmente, conexões rígidas e não-rígidas	73
Figura 4.23 - Cantoneira de reforço de borda de laje em concreto	74
Figura 4.24 - Detalhe para fixação inferior do painel contínuo	74
Figura 4.25 - Conexão rígida entre montante e estrutura com cantoneira comum	75
Figura 4.26 - Ligação rígida com cantoneira de aba longa	76
Figura 4.27 - Cantoneira com movimentação vertical	78
Figura 4.28 - Variações de cantoneira de fixação	79
Figura 4.29 - Cantoneira de movimentação fixada à face inferior da estrutura.....	80
Figura 4.30 - Ligação com cantoneira apoiada na mesa e enrijecedor do montante	81
Figura 4.31 - Ligação com perfil U apoiado na mesa e enrijecedor do montante	82
Figura 4.32 - Ligação apoiada na mesa e enrijecedor do montante com peça especial ..	83
Figura 4.33 - Peça de encaixe para painéis contínuos de fechamento	84
Figura 4.34 - Conexão horizontal rígida entre painéis	85
Figura 4.35 - Conexão não-rígida em painéis contínuos com guia com furos oblongos	87

Figura 4.36 - Conexão não-rígida entre painéis contínuos com pinos e placas.....	88
Figura 4.37 - Painéis janela a janela.....	90
Figura 4.38 - Montagem de painéis janela a janela em fachada	90
Figura 4.39 - Painel janela a janela com apoio secundário com braço diagonal	92
Figura 4.40 - Painel janela a janela com apoio secundário com perfil horizontal.....	93
Figura 4.41 - Painel janela a janela estabilizado com cantoneira superior.....	94
Figura 5.1 - Instalação de painel de LSF com acabamento cerâmico pré-executado	97
Figura 5.2 - Instalação de placas de OSB na fachada	99
Figura 5.3 - Placas de acabamento instaladas de forma defasada.....	100
Figura 5.4 - Execução de <i>siding</i> vinílico sobre membrana de polietileno e OSB.....	101
Figura 5.5 - Perfil de <i>siding</i> vinílico	101
Figura 5.6 - Painel embutido com acabamento em <i>siding</i> sobreposto a estrutura.....	103
Figura 5.7 - Painel embutido com acabamento em <i>siding</i> com estrutura aparente.....	103
Figura 5.8 - Painel contínuo com acabamento em <i>siding</i> sobre conexão rígida.....	104
Figura 5.9 - Painel contínuo com acabamento em <i>siding</i> não interrompido	104
Figura 5.10 - Painel contínuo com junta em perfil Z e acabamento em <i>siding</i>	105
Figura 5.11 - Painel contínuo com junta em perfil cartola e acabamento <i>siding</i> s	105
Figura 5.12 - Revestimento de argamassa aplicado sobre placas de OSB	106
Figura 5.13 - Desenho esquemático de fechamento com EIFS	107
Figura 5.14 - Painel embutido rígido com acabamento em EIFS	109
Figura 5.15 - Painel embutido não-rígido com acabamento em EIFS	109
Figura 5.16 - Painel contínuo com acabamento em EIFS sobre conexão rígida	110
Figura 5.17 - Painel contínuo com acabamento em EIFS sobre conexão não-rígida ..	110
Figura 5.18 - Painel contínuo com acabamento em EIFS sobre conexão não-rígida ..	111
Figura 5.19 - Execução de fechamento externo em placa cimentícia	112
Figura 5.20 - Junta oculta entre placas cimentícias.....	113
Figura 5.21 - Juntas aparentes.....	114
Figura 5.22 - Painel embutido rígido com acabamento em placa cimentícia.....	116
Figura 5.23 - Painel embutido não-rígido, com placa cimentícia	116
Figura 5.24 - Painel embutido rígido com acabamento em placa cimentícia.....	116
Figura 5.25 - Painel embutido não-rígido com placa cimentícia	117
Figura 5.26 - Painel contínuo com acabamento em placa cimentícia	117

Figura 5.27 - Painel contínuo com junta oculta em placa cimentícia	118
Figura 5.28 - Painel contínuo com junta em perfil Z em placa cimentícia.....	118
Figura 5.29 - Fechamento de alvenaria sobre painel OSB com manta de polietileno .	119
Figura 5.30 - Instalação de placa de gesso cartonado	121
Figura 5.31 – Etapas de execução de junta em placas de gesso cartonado	121
Figura 5.32 - Junção superior do acabamento em gesso de painel embutido rígido....	122
Figura 5.33 - Arremate inferior típico no acabamento em gesso de painel embutido .	122
Figura 5.34 - Arremates de acabamento em gesso, para painel contínuo	123
Figura 5.35 - Arremate superior com selante no acabamento em gesso	123
Figura 5.36 - Arremate superior com rodapés no acabamento em gesso	124
Figura 5.37 - Arremate de acabamento em gesso, para painel contínuo	124
Figura 5.38 - Painéis metálicos de acabamento externo.....	125
Figura 5.39 - Detalhe esquemático de fixação com pinos ocultos.....	126
Figura 5.40 - Seção horizontal de fixação de painel metálico com parafuso	126
Figura 5.41 - Inserts para fixação de painel metálico sobre fechamento em LSF	127
Figura 6.1 - Painel de fechamento em LSF com travamento horizontal e diagonal	133
Figura 6.2 - Barras horizontais e montantes duplos para isolamento acústico	139
Figura 6.3 - Ponto vulnerável na transmissão do som entre pavimentos	140
Figura 6.4 - Possibilidade de solução para isolamento do som entre pavimentos	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Deslocamentos (flechas) admissíveis em fechamentos de LSF	37
Tabela 4.1 - Resumo das características de painéis embutidos em LSF	68
Tabela 6.1 - Pressão admissível de vento em painéis de LSF, com flecha de L/240...	130
Tabela 6.2 - Pressão admissível de vento em painéis de LSF, com flecha de L/360...	130
Tabela 6.3 - Pressão admissível de vento em painéis de LSF, com flecha de L/600...	130
Tabela 6.4 - Valores de Pressão Dinâmica de Vento para fachadas	132
Tabela 6.5 - Qualificação do isolamento acústico	137
Tabela 6.6 - Índice de redução sonora para diversas montagens de paredes.....	138
Tabela 6.7 - Peso próprio de sistemas de fechamento vertical	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAGESSO – Associação Brasileira de Fabricantes de Chapas de Gesso

AISI – American Iron and Steel Institute

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

CEF – Caixa Econômica Federal

EIFS – Exterior Insulation and Finish System

IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia

ISO – International Organization for Standardization

LGSEA – Light Gauge Steel Engineers Association

LSF – Light Steel Framing

NASFA – North American Steel Framing Alliance

NBR – Norma Brasileira

OSB – Oriented Strand Board

SCI – Steel Construction Institute

SSMA – Steel Stud Manufacturers Association

TSN – The Steel Network

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

USIMINAS – Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais

1

INTRODUÇÃO

1.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No que se refere aos sistemas construtivos, o mercado da construção civil no Brasil apresentou mudanças pouco significativas e uma evolução muito lenta das tecnologias, dos processos construtivos e da gestão da organização nos últimos anos. Sua produção é focada em processos predominantemente artesanais, onde a baixa produtividade e o enorme desperdício se tornaram tão marcantes, que qualquer leigo pode pensar que essa é uma característica intrínseca da construção civil.

Porém, existe um grande número de sistemas de construção cuja filosofia e concepção visam exatamente combater essas características. São processos mais eficientes, com o

objetivo de aumentar a produtividade, minimizar o desperdício, melhorar a gestão dos recursos e serem capazes de atender a demanda cada vez maior por edificações.

Apesar da histórica resistência de grande parte dos setores da construção civil brasileira, alguns segmentos significativos desse setor, influenciados pelas tecnologias externas e visando aumento de sua eficiência, têm sinalizado pela aceitação de novas formas de se construir, ainda que de forma lenta se comparada a outros setores da economia.

Nessa realidade, grandes construtores nacionais têm buscado investir em tecnologias construtivas mais eficientes, resultando em produtos finais de qualidade e com custos competitivos quando comparados aos sistemas totalmente artesanais, hoje ainda dominantes no país. A adoção por parte das construtoras de uma estratégia voltada à racionalização do processo construtivo constitui um ponto fundamental para que o setor da construção evolua, tornando-se mais competitivo (BARROS e SABBATINI, 2003).

Há atualmente no país, experiências bem sucedidas de emprego de sistemas industrializados na construção civil, principalmente em obras comerciais e industriais. A construção industrializada se apresenta como um caminho para a mudança da realidade da construção civil brasileira. Características como mão-de-obra qualificada, produção seriada e em escala de elementos padronizados, racionalização dos processos e insumos e possibilidade de controle rígido dos processos e cronograma da obra são características dos sistemas industrializados que vão de encontro aos problemas intrínsecos da construção artesanal.

Qualquer técnica ou solução construtiva desenvolvida fora do país deve ser analisada com cuidado antes de sua utilização no mercado nacional. As inovações devem ser economicamente viáveis e compatíveis com os condicionantes nacionais. Tecnologias importadas utilizadas sem qualquer adequação às condições climáticas, sociais e econômicas, e às expectativas do mercado brasileiro encontram dificuldades em se estabelecer e ser aceitas pelos usuários e pela cadeia produtiva. O processo de tropicalização é fundamental para que a construção industrializada possa ser uma realidade no mercado brasileiro. Como afirma Sales (2001), “é necessário se adequar o tipo de construção ao meio e ao cliente, e não o contrário”.

A utilização do aço na construção civil vem preencher muitas das premissas da construção industrializada. Seu processo de produção se baseia em elementos padronizados, dispostos através de uma lógica modular. Diminuição de desperdício, controle de qualidade do produto final e de seus insumos, além da qualificação da mão-de-obra empregada também são características importantes da construção em aço.

É importante entender que a decisão pelo uso de técnicas industrializadas de construção deve fazer parte da concepção do empreendimento. A construção em aço requer o conhecimento de suas potencialidades e limitações, atenção à compatibilização de projetos e subsistemas, além de controle das etapas da construção, desde o projeto até a finalização da edificação.

No mercado atual da construção civil brasileira, poucos profissionais estão realmente preparados para trabalhar de forma eficiente com uma filosofia de construção industrializada e sistêmica. Os profissionais da construção civil, sejam arquitetos e engenheiros envolvidos no processo de projeto, empresários responsáveis pelas decisões de investimento, até mesmo operários envolvidos diretamente na execução da obra, deveriam possuir uma visão global do sistema, de modo a serem capazes de tirar o máximo proveito desse tipo de solução (RIBAS, 2006).

Faz parte do papel desses profissionais da construção civil, o conhecimento técnico profundo dos sistemas construtivos, para construir de forma eficiente. A adoção de um sistema construtivo industrializado frente a um processo tradicional, como afirma Castro (2005) “(...) não se trata pura e simplesmente de uma substituição de materiais e sim de processos construtivos completamente distintos, com impactos diretos nas interfaces com sistemas complementares, bem como de diferenças significativas no cronograma de desembolso financeiro”.

1.2 - *LIGHT STEEL FRAMING* E SUA INSERÇÃO NO CENÁRIO NACIONAL

A industrialização da construção civil no Brasil é fato inegável e inevitável. Sua consolidação pode oferecer ao país oportunidade de desenvolver esse importante setor da economia, oferecendo moradias de melhor qualidade e menor custo para mais

pessoas, além de agregar valor ao trabalho de milhares de profissionais que atuam na cadeia produtiva do setor. Mas para o sucesso desse conceito é preciso que os profissionais envolvidos conheçam bem os sistemas construtivos, entre eles o *Light Steel Framing* (LSF), para poder oferecer aos consumidores serviços à altura de suas demandas.

A utilização do sistema LSF no Brasil começou marcadamente na década de 90, quando algumas construtoras começaram a importar *kits* pré-fabricados em LSF para montagem de casas. Apesar do uso de tais *kits* sem qualquer adaptação para a realidade brasileira, o processo construtivo industrializado se provou eficiente (CRASTO, 2005).

Toda tecnologia construtiva nova deve passar por processos de adequação e avaliação de sua pertinência para a aceitação do usuário final das construções. O LSF está atualmente passando por esse processo, já que se trata de um sistema construtivo desenvolvido em países com condições climáticas, econômicas e culturais bastante diversas das brasileiras. Desse processo de adaptação também faz parte o ajuste à cultura construtiva brasileira, baseada em materiais maciços e com pouca exigência de atenção à manutenção. Essa adaptação é fundamental para a aceitação do sistema por parte do usuário e para o emprego de soluções adequadas e de desempenho satisfatório.

O Brasil conta hoje com infra-estrutura capaz de prover todos os insumos necessários para a construção com sistema LSF. Porém, da mesma maneira que acontece com as construções em aço de modo geral, há pouco conhecimento técnico por parte dos profissionais envolvidos na construção civil.

Os setores envolvidos na produção dos insumos para LSF são hoje os principais responsáveis pela divulgação e pelo desenvolvimento técnico do sistema. Por meio de sua atuação foi aprovado pela Caixa Econômica Federal – principal órgão de financiamento da construção no país – um manual com requisitos mínimos de desempenho para as construções no sistema. Também existem hoje normas brasileiras especificando requisitos mínimos para perfis de aço galvanizado formados a frio e para o dimensionamento de estruturas utilizando esses perfis. A série de manuais técnicos

sobre construção em aço publicados pelo CBCA¹ constitui hoje uma das principais fontes de pesquisa nacionais sobre o tema (JARDIM e CAMPOS, 2005).

O sistema LSF é hoje utilizado no Brasil principalmente na construção de habitações unifamiliares de pequeno porte (até dois pavimentos), mas também tem sido empregado em construções bastante variadas, como hospitais, escolas e edifícios de apartamentos de até 4 pavimentos, além de retrofit de edificações existentes.

Uma aplicação para o LSF, comum em vários países do mundo mas ainda pouco difundida no país, é como elemento de fechamento vertical de fachadas em edifícios com estrutura convencional de aço ou de concreto. Hoje no Brasil, já é bastante comum a utilização de divisões internas dos edifícios em *DryWall*², que foi, como afirma Crasto (2005), o “grande precursor da implantação da industrialização dos subsistemas de fechamento e que vem mudando a mentalidade do usuário em relação a construções que não usem elementos maciços como o concreto e a alvenaria”.

1.3 - SISTEMAS DE FECHAMENTO INDUSTRIALIZADOS NO BRASIL

O sistema de fechamento externo é um dos mais importantes no processo construtivo como um todo, pois está diretamente ligado à imagem e ao conforto das edificações. Sua racionalização pode resultar em economia em outros subsistemas envolvidos no processo construtivo, como esquadrias, instalações e revestimentos (SALES, 2001).

Segundo Ramos (1997), os sistemas de fechamento são “aqueles que são projetados e solucionados para substituir as alvenarias numa construção, podendo ser autoportantes

¹ CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço. Entidade não comercial, gerida pelo IBS (Instituto Brasileiro de Siderurgia), cujo objetivo é promover a utilização do aço como material de construção civil. Contato e material técnico disponíveis em <[http://www. www.cbca-ibs.org.br](http://www.www.cbca-ibs.org.br)>.

² Traduzindo do Inglês: “Parede Seca”. Sistema de fechamento vertical interno, sem função estrutural, que utiliza perfis formados a frio de aço galvanizado e placas de gesso. Adaptado de CRASTO, 2005.

ou não, isolantes acústicos ou não, e isolantes térmicos ou não, mas sempre estanques à umidade e à chuva”. Analisando esta afirmação, podemos perceber que, culturalmente, os sistemas de fechamento são pensados para substituir, mesmo que parcialmente, a alvenaria como elemento de fechamento.

Edifícios erguidos com estrutura metálica, no Brasil, ainda utilizam com bastante frequência fechamentos convencionais em alvenaria. Essa associação é uma fonte potencial de patologias, já que esses sistemas possuem interfaces construtivas nem sempre bem resolvidas (SALES, 2001; BASTOS, 2004; RIBAS, 2006).

Fechamentos externos pré-fabricados e industrializados já são uma realidade no Brasil, sendo os painéis pré-moldados de concreto sua forma mais comum. Esses, porém, apresentam como desvantagens o alto custo e o alto peso do material, necessitando de grua para sua montagem (KRÜGER, 2000).

Maior organização e limpeza do canteiro, rapidez e facilidade na execução das vedações, facilidade de controle e menor desperdício de materiais são algumas das vantagens desses fechamentos industrializados sobre a alvenaria tradicional. (SILVA e SILVA, 2004)

O fechamento externo em LSF ainda é pouco comum no país e desconhecido pela maioria dos profissionais da área. Este tipo de fechamento oferece vantagens construtivas, em relação à alvenaria tradicional, semelhantes aos painéis pré-fabricados em concreto ou aos painéis metálicos. Tal sistema, porém, pode ser ainda mais vantajoso já que sua montagem é simples, seu peso próprio é baixo (aliviando estrutura e fundações), além de seu transporte para o canteiro e dentro dele ser fácil, visto que os elementos industrializados, como perfis e placas de fechamento, possuem dimensões e peso próprio pequenos.

O estudo detalhado dos aspectos construtivos do fechamento externo em LSF e das necessidades de adaptações no sistema para sua tropicalização é de fundamental importância para garantir sua viabilidade técnica, aceitação por parte dos usuários e minimização de patologias. Isso porque a utilização de forma incorreta de sistemas construtivos novos pode ocasionar, além da elevação do custo do edifício, uma

incidência de problemas patológicos, resultando numa resistência à utilização desse produto em empreendimentos posteriores.

Como afirma Sales (2001), grande parte das patologias físico-construtivas em fechamentos pré-fabricados tem sua origem em deficiências de projetos e planejamento de produção. Difundir o desenvolvimento das tecnologias construtivas nos meios envolvidos consiste em um dos primeiros e principais passos para sua popularização. Segundo a autora, um dos pontos críticos que merece maior atenção nos estudos e projetos na área é a interface entre fechamento e estrutura, de forma a garantir trabalhabilidade dos elementos e estanqueidade da edificação.

1.4 - OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral estudar a utilização do sistema construtivo LSF em associação a outros sistemas construtivos, industrializados ou não, como alternativa para fechamento externo não-estrutural de edificações.

Têm-se ainda como objetivos específicos:

- Conhecer a utilização de fechamentos industrializados no Brasil;
- Entendimento dos condicionantes da utilização de LSF em fechamentos externos;
- Discussão das características e aplicabilidade de detalhes construtivos existentes, no Brasil e no exterior, para execução dos fechamentos em LSF;
- Estudo das interfaces construtivas do sistema com a estrutura principal e proposição de soluções construtivas;
- Apresentação de propriedades básicas de desempenho do sistema de fechamento;
- Produção de material técnico de orientação a profissionais.

1.5 - ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O **CAPÍTULO I** deste trabalho apresenta-se como introdução aos aspectos básicos da construção racionalizada, do emprego do sistema LSF e dos fechamentos industrializados no Brasil.

No **CAPÍTULO II** faz-se uma revisão bibliográfica sobre o sistema LSF, apresentando conceitos técnicos e estruturais básicos para entendimento da sua aplicação como fechamento vertical.

No **CAPÍTULO III** são apresentadas considerações estruturais qualitativas sobre a utilização do LSF como fechamento externo de edifícios. São abordados princípios de dimensionamento e condicionantes relativos ao funcionamento do sistema.

O **CAPÍTULO IV** compila informações sobre modos de montagem de fechamentos externos em LSF, coletados a partir de catálogos técnicos de fabricantes, manuais de associações técnicas e visitas a obras. São apresentados métodos de utilização, discutindo diversas variações de execução, condicionantes e características de cada um.

O **CAPÍTULO V** é dedicado aos acabamentos, internos e externos, e suas interfaces construtivas, onde é mostrada a importância de seu planejamento e são propostos detalhes de execução.

No **CAPÍTULO VI** estão descritas algumas características do sistema construtivo LSF, como: isolamento acústico, isolamento térmico, resistência ao vento e peso próprio, com apresentação de diretrizes de projeto para sua otimização.

No **CAPÍTULO VII** reúnem-se as considerações finais deste trabalho.

2

O SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING*

2.1 - INTRODUÇÃO

O *Light Steel Framing* (LSF) é um sistema construtivo de concepção racionalizada, que vem passando por processo de aceitação e desenvolvimento no mercado da construção civil nacional. Trata-se de um sistema caracterizado pelo uso de perfis de aço galvanizado formados a frio compondo sua estrutura, que trabalha em conjunto com subsistemas também racionalizados, proporcionando uma construção industrializada e a seco.

Seu conceito estrutural que guia o projeto em LSF é de dividir a estrutura em uma grande quantidade de elementos estruturais, de maneira que cada um deles resista a uma

pequena parcela da carga total aplicada. Dessa forma é possível utilizar perfis mais esbeltos e painéis mais leves e fáceis de manipular (RODRIGUES, 2006).

De acordo com Crasto (2005), os principais benefícios e vantagens no uso do sistema LSF em edificações são os seguintes:

- Os produtos que constituem o sistema são padronizados de tecnologia avançada, em que os elementos construtivos são produzidos industrialmente, onde a matéria-prima utilizada, os processos de fabricação, suas características técnicas e acabamento passam por rigorosos controles de qualidade;
- Facilidade de obtenção dos perfis formados a frio perfilados, uma vez que são largamente utilizados pela indústria;
- O aço é um material de comprovada resistência e o alto controle de qualidade, tanto na produção da matéria-prima quanto de seus produtos, permite maior precisão dimensional e melhor desempenho da estrutura;
- Facilidade de montagem, manuseio e transporte devido à leveza dos elementos;
- Durabilidade e longevidade da estrutura, proporcionada pelo processo de galvanização das chapas de fabricação dos perfis;
- Construção a seco, o que minora o uso de recursos naturais e o desperdício;
- Os perfis perfurados previamente e a utilização dos painéis de gesso cartonado facilitam as instalações elétricas e hidráulicas;
- Facilidade na execução das ligações;
- Rapidez de construção;
- Leveza do sistema estrutural, possibilitando a diminuição do carregamento na fundação e barateando esta etapa construtiva;
- O aço é um material incombustível e reciclável;
- Grande flexibilidade no projeto arquitetônico.

Apesar dos conceitos modernos de industrialização, como praticidade, produtividade e velocidade, envolvidos em sua concepção, as origens do LSF remontam do século XIX,

nas habitações construídas pelos colonizadores no território americano naquela época. Visando atender ao crescente aumento da população e conseqüente demanda por edificações, foi necessário empregar métodos mais rápidos e produtivos na construção de habitações, utilizando os materiais disponíveis, no caso a madeira.

O método construtivo desenvolvido, chamado *Balloon Framing*, consistia em uma estrutura composta de peças em madeira serrada, de pequena seção transversal, espaçadas regularmente. Posteriormente as construções em madeira ficando conhecidas por *Wood Frame*, e tornaram-se a tipologia construtiva residencial mais comum nos Estados Unidos. As estruturas em madeira foram sendo substituídas lenta e gradualmente pelos perfis de aço, impulsionadas pelo grande desenvolvimento da indústria desse setor nos Estados Unidos.

Na metade do século XX, as siderúrgicas americanas começaram a desenvolver a tecnologia dos aços galvanizados (JARDIM e CAMPOS, 2005). Em 1933, na Feira Mundial de Chicago, foi apresentado um protótipo de uma residência em LSF que utilizava os perfis de aço substituindo a madeira. Elementos de aço formados a frio já são bastante utilizados em construções comerciais e industriais nos EUA desde o início de seu desenvolvimento, porém somente no final dos anos 1990 seu uso atingiu amplamente o setor residencial (LABOUBE e YU, 1998).

O crescimento da economia americana e a abundância na produção de aço no período pós Segunda Guerra possibilitou a evolução nos processos de fabricação de perfis formados a frio. Maior resistência, garantia e eficiência estrutural do aço em relação à madeira e sua capacidade de resistir às catástrofes naturais são características que tornaram o uso do LSF vantajoso nos Estados Unidos. Em países onde a construção civil é predominantemente industrializada, o LSF é bastante empregado. Atualmente, o mercado do aço no Japão é um dos mais desenvolvidos, detendo grande conhecimento na área de construções em perfis leves (FREITAS e CRASTO, 2006).

2.2 - O SISTEMA CONSTRUTIVO *LIGHT STEEL FRAMING*

O LSF é um sistema construtivo baseado em uma concepção racionalizada. Ele se caracteriza pela estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado, que formam um esqueleto estrutural capaz de resistir às cargas que solicitam a edificação, e por vários componentes e subsistemas inter-relacionados que possibilitam uma construção industrializada com grande rapidez de execução e a seco. Os perfis de aço galvanizado são utilizados para compor painéis estruturais ou não-estruturais, vigas de piso, vigas secundárias, tesouras de telhado e demais componentes (Figura 2.1).

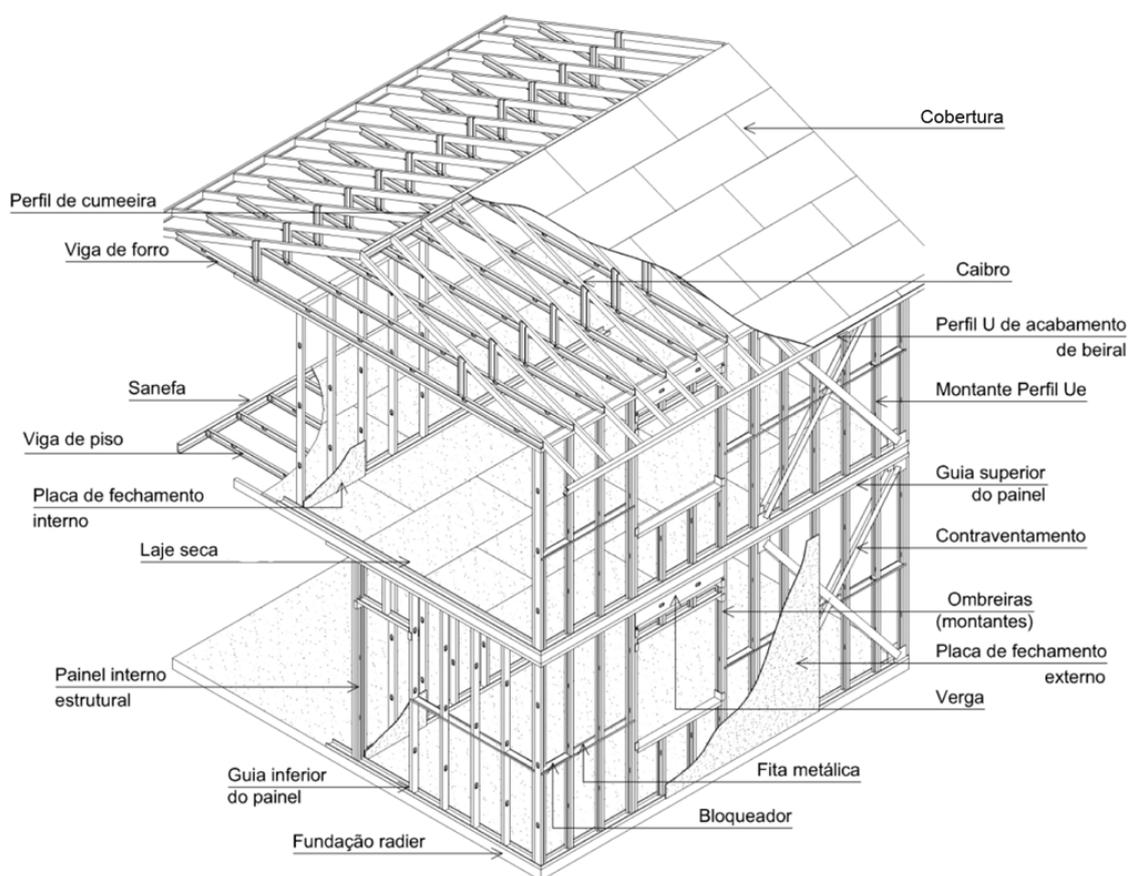


Figura 2.1 - Esquema de construção portante em LSF

Fonte: CRASTO, 2005, p.13.

Esse sistema construtivo é composto por vários componentes e subsistemas, que são, além do estrutural, aqueles de fundação, de isolamento termo-acústico, de fechamento interno e externo, vertical e horizontal, e instalações elétricas e hidráulicas (Figura 2.2).

O LSF, também denominado por Sistema Autoportante em Aço de Construção a Seco, possui sua estrutura composta de paredes, pisos e cobertura que, trabalhando em conjunto, possibilitam a integridade estrutural da edificação.

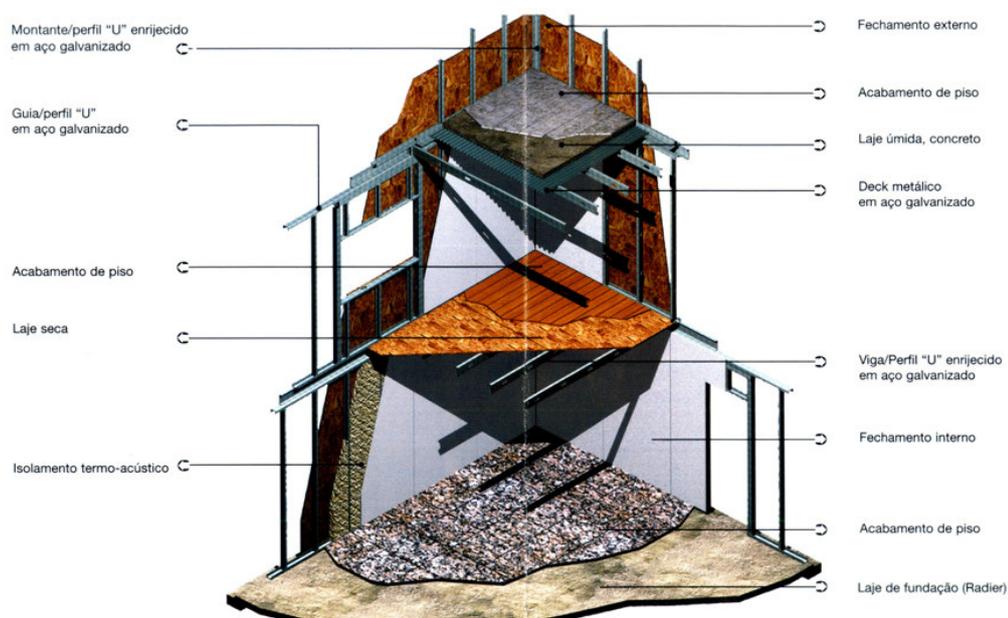


Figura 2.2 - Alguns dos subsistemas do *Light Steel Framing*
 Fonte: USIMINAS, 2005

2.2.1 - AÇO GALVANIZADO

Os elementos estruturais do sistema LSF são fabricados em aço galvanizado, que é aquele revestido com zinco ou liga alumínio-zinco pelo processo contínuo de imersão a quente ou por eletrodeposição. As massas mínimas de revestimento são de 150 g/m^2 (liga alumínio-zinco) a 180 g/m^2 (zinco) para perfis estruturais e de 100 g/m^2 para perfis não estruturais (NBR 15253:2005).

As espessuras de chapa galvanizadas disponíveis no mercado em grande escala no país são 0,40 mm, 0,50 mm, 0,65 mm, 0,80 mm, 0,95 mm, 1,25 mm, 1,50 mm e 1,75 mm, além das espessuras de 2,00 mm e 2,25 mm, um pouco menos usuais. Peças que necessitem de chapas com espessuras maiores devem ser confeccionadas e galvanizadas sob encomenda.

2.2.2 - PERFIS DE AÇO UTILIZADOS

Os perfis típicos utilizados no LSF são obtidos por perfilagem a partir de bobinas de aço galvanizado e as seções mais comuns nas construções em LSF são o “C” ou “U” enrijecido (Ue) para montantes e vigas, o “U” usado como guia na base e no topo dos painéis, o “Cartola” (Cr) empregado em ripas e as cantoneiras (L) (Figura 2.3).

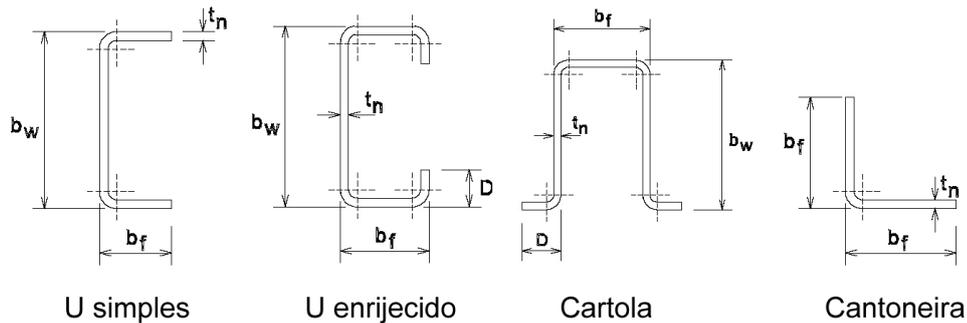


Figura 2.3 - Seções usuais de perfis para LSF

Fonte: CRASTO, 2005, p.24

As dimensões da alma (b_w) dos perfis Ue usualmente comercializados no Brasil são 90, 140 e 200 mm e as mesas (b_f) podem variar de 35 a 40 mm, dependendo do fabricante e do tipo de perfil. Já as dimensões da alma e das mesas dos perfis U são um pouco maiores que aquelas dos perfis Ue, para permitir o encaixe entre eles. As espessuras padronizadas de chapa, são 0,95 mm, 1,25 mm, 1,55 mm, 2,25 mm e 2,46 mm. Os perfis de LSF são padronizadas pela NBR 6355:2003.

Na montagem dos painéis, pisos e tesouras constituídos por perfis são utilizados parafusos autotarraxantes e autoperfurantes. Esses parafusos possuem cabeça larga e baixa do tipo lentilha e ponta broca. (Figura 2.4). Já nas ligações entre painéis, peças de apoio de tesouras e enrijecedores é utilizado o parafuso com cabeça sextavada e ponta broca, também conhecido como parafuso estrutural (Figura 2.5)



Figura 2.4 - Parafuso cabeça lentilha e ponta broca

Fonte: CISER, 2007



Figura 2.5 - Parafuso estrutural - cabeça sextavada e ponta broca
Fonte: CISER, 2007

2.2.3 - PAINÉIS

O conceito estrutural do LSF é dividir as cargas da edificação em um maior número de elementos estruturais, onde cada um destes é projetado para receber uma pequena parcela de carga. Dessa forma é possível a utilização de perfis conformados a frio com chapas finas de aço.

Os perfis verticais de seção Ue, denominados *montantes*, são espaçados entre si de acordo com a modulação determinada em projeto estrutural, usualmente de 400 mm ou 600 mm. O uso da modulação permite a minimização do desperdício dos materiais complementares industrializados, que possuem suas dimensões múltiplas desses módulos. Os montantes são unidos em seus extremos inferiores e superiores pelas guias, seção U, constituindo um quadro estrutural (Figura 2.6).

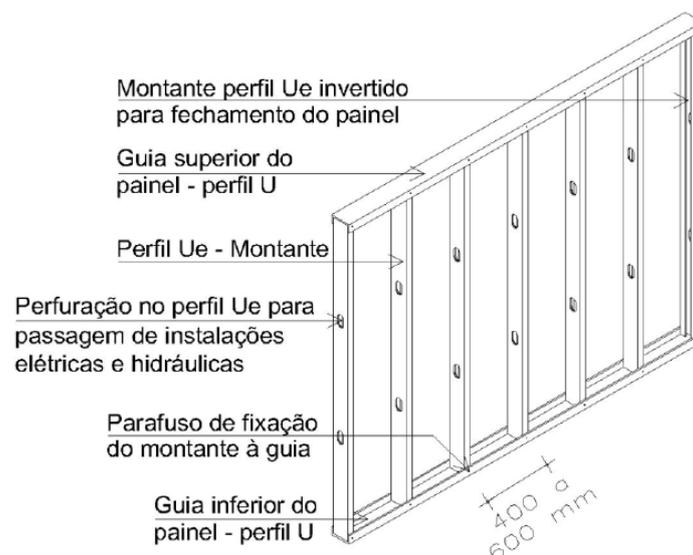


Figura 2.6 - Desenho esquemático de painel típico em LSF e seus componentes
Fonte: CRASTO, 2005, p.42

Os montantes dos painéis transferem as cargas verticais por contato direto por meio de suas almas, estando suas seções coincidentes com as dos montantes dos pavimentos imediatamente acima ou abaixo. Essa situação está dentro do conceito de estrutura alinhada ou *in-line framing* e é fundamental para que o sistema possa utilizar perfis de paredes esbeltas.

Para resistir aos esforços horizontais, como aqueles provocados pelo vento, garantindo a estabilidade dos painéis e conseqüentemente da construção, deve ser conferida rigidez neste plano aos painéis (RODRIGUES, 2006). Esta estabilização pode ocorrer por meio de contraventamento, executado com peças metálicas diagonais (normalmente fitas de aço galvanizado parafusadas aos montantes) ou através de diafragma rígido, composto por placas de fechamento com função estrutural (usualmente placas de OSB).

Para aumentar a rigidez dos painéis pode-se instalar bloqueadores horizontais constituídos por perfis Ue ou U, e as fitas metálicas e instalados perpendicularmente à seção do montante (Figura 2.7).

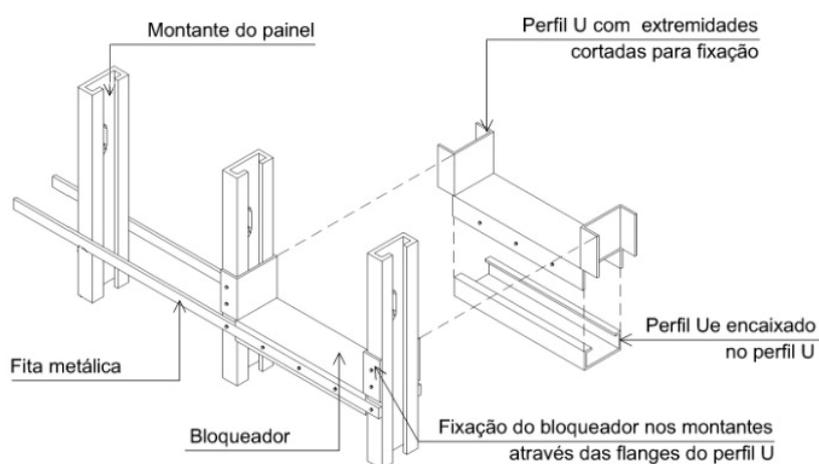


Figura 2.7 - Esquema de travamento horizontal do painel por bloqueadores

Fonte: CRASTO, 2005, p.60

Os painéis estruturais que possuem aberturas, como portas e janelas, necessitam de reforços estruturais como vergas, para redistribuir o carregamento dos montantes interrompidos aos montantes que delimitam lateralmente o vão (Figura 2.8). Essas vergas são constituídas por dois perfis Ue conectados por uma peça parafusada em cada extremidade.

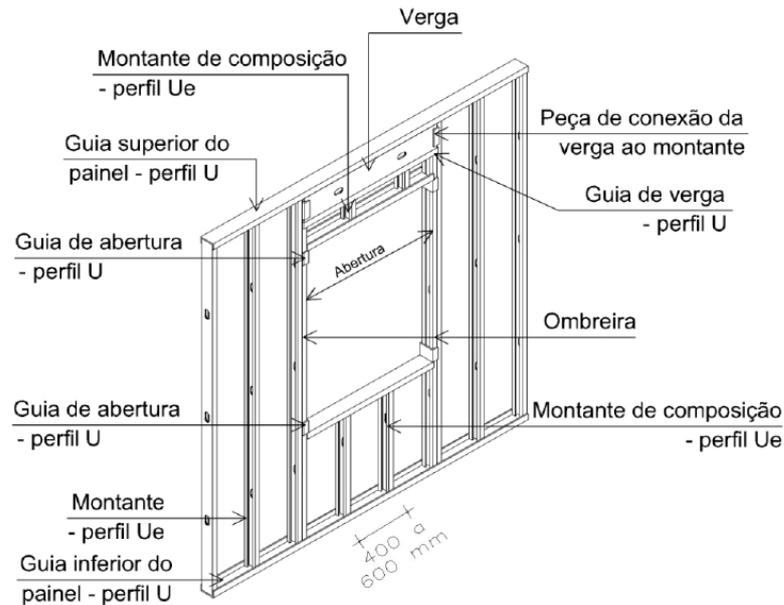


Figura 2.8 - Desenho esquemático de painel portante em LSF com abertura
 Fonte: CRASTO, 2005, p.48

Para a correta sustentação da carga distribuída pela verga, é necessário que os montantes laterais às aberturas sejam reforçados por ombreiras, que são montantes encaixados paralelamente a eles. O número dessas ombreiras é, de acordo com um método prescritivo, normalmente igual ao de montantes interrompidos pela verga, dividindo-se igualmente nos dois lados da mesma (CRASTO, 2005).

Nas montagens de edificações em LSF há painéis sem função estrutural. Os painéis não estruturais são aqueles que não suportam o peso da estrutura, mas apenas o peso próprio dos elementos que o constituem. Suas funções são de fechamento externo e divisória interna dos espaços. Apesar de não suportar carga da edificação, devem ser capazes de resistir aos esforços de vento.

A solução para as aberturas nos painéis não estruturais é bem mais simples, pois como não há cargas verticais para suportar, não há necessidade do uso de vergas e ombreiras. Dessa forma, a delimitação lateral do vão é feita com um único montante, onde será fixado o marco da abertura. As delimitações superior e inferior são feitas com guia cortada e parafusada ao montante lateral (Figura 2.9).

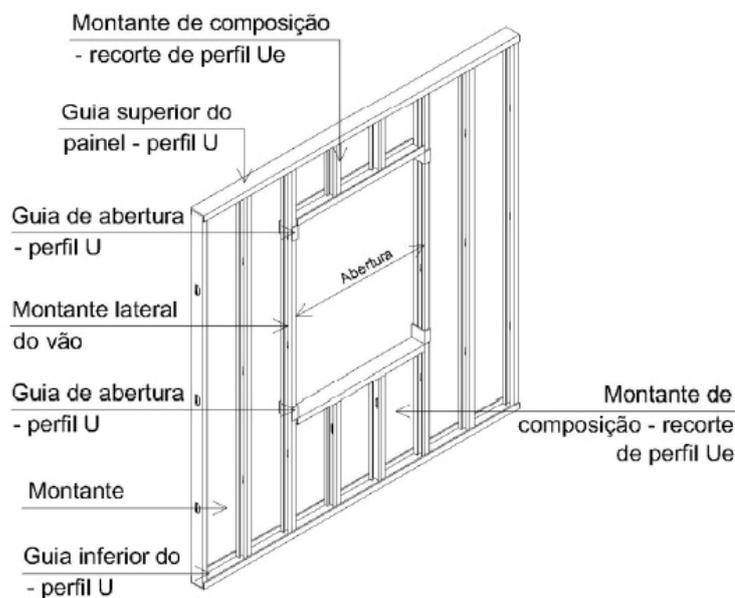


Figura 2.9 - Painel não-estrutural com abertura

Fonte: CRASTO, 2005, p.67

2.2.4 - LAJES

As lajes do sistema LSF possuem o mesmo princípio estrutural dos seus painéis, ou seja, são constituídas por perfis de aço galvanizado com espaçamento seguindo modulação definida em função das cargas a serem aplicadas. Tal modulação é, em geral, a mesma em toda a estrutura: cobertura, lajes e painéis.

As vigas de piso são responsáveis por transmitir aos painéis estruturais as cargas a que a laje está sujeita, servindo também como apoio para o contrapiso. Estas vigas são perfis de seção Ue, dispostos na horizontal, com dimensões de mesa geralmente similares àquelas dos montantes dos painéis, e altura determinada em cálculo, de acordo com as cargas e o vão desejados. Os perfis são transportados para a obra e sua montagem ocorre no canteiro em virtude da dimensão da laje dificultar o eventual transporte de todo o painel de piso montado (Figura 2.10).

Para evitar a flambagem lateral com torção, deslocamento e vibração das vigas de piso, essas devem ser travadas lateralmente (SCHARFF, 1996). Este travamento pode ser feito por meio de bloqueadores em perfis Ue, similares aos das vigas de piso, e fitas de aço galvanizado ligadas a estes por parafusos.



Figura 2.10 - Montagem de vigas da estrutura de piso

O conjunto formado pelas vigas de piso, contrapisos e os perfis de travamento horizontal deve trabalhar formando um diafragma rígido, tendo apenas movimento de corpo rígido no plano horizontal. Tal diafragma é responsável pela resistência a cargas horizontais no sistema (RODRIGUES, 2006).

Conforme a natureza do contrapiso, a laje pode ser denominada “úmida” ou “seca”. A laje é do tipo seca quando placas rígidas, geralmente de OSB ou cimentícias, são parafusadas à estrutura do piso, servindo de contrapiso. Geralmente utilizam-se manta de polietileno expandido e manta de lã de vidro na montagem para melhorar o desempenho acústico do sistema (Figura 2.11).

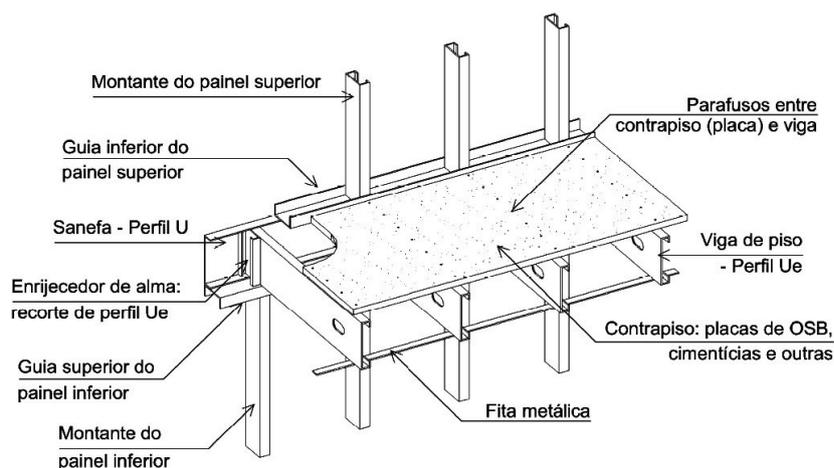


Figura 2.11 - Desenho esquemático de laje seca

Fonte: CRASTO, 2005, p.79

Nas lajes do tipo úmida, uma chapa ondulada de aço (telha) é parafusada às vigas da estrutura do piso e preenchida com concreto, servindo de base para o contrapiso. Para obter conforto acústico adequado, utiliza-se material isolante (geralmente lã de vidro compactada) entre a fôrma de aço e o concreto (Figura 2.12).

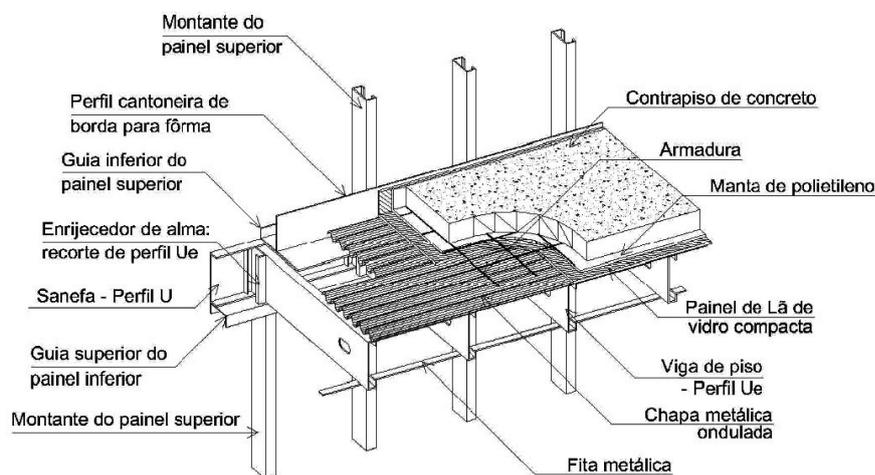


Figura 2.12 - Desenho esquemático de laje úmida

Fonte: CRASTO, 2005, p.77

2.2.5 - COBERTURAS

O sistema LSF possibilita a realização de vários tipos de cobertura, desde telhados inclinados, que se assemelham a um telhado convencional de madeira, podendo utilizar telhas cerâmicas, metálicas, asfálticas ou de concreto, até coberturas planas, com lajes úmidas impermeabilizadas.

Para a cobertura em LSF, utilizam-se os mesmos perfis de aço galvanizado do restante da edificação, podendo conformar treliças, coberturas planas ou tesouras. Dependendo do material escolhido para a cobertura, pode haver um substrato, geralmente de OSB, entre os perfis da estrutura e as telhas (Figura 2.13).

A estrutura da cobertura em LSF também segue o princípio da estrutura alinhada que existe no restante da edificação, onde a alma dos perfis que compõem tesouras ou caibros deve estar alinhada a alma dos montantes dos painéis de apoio e suas seções devem ter a mesma orientação, de modo que somente ocorra transmissão axial de cargas.



Figura 2.13 - Tesouras de cobertura em LSF

2.3 - ACABAMENTOS VERTICAIS PARA *LIGHT STEEL FRAMING*

2.3.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os fechamentos verticais externos e internos do sistema LSF são formados pelos perfis estruturais de aço galvanizado associados a componentes, geralmente em placas, posicionados externamente a estrutura. Os componentes de acabamento compatíveis com o conceito estrutural do sistema devem ser constituídos por elementos leves, formando um conjunto de baixo peso próprio. Os acabamentos verticais empregados devem, preferencialmente, ser parte de um sistema racionalizado que propicie uma construção rápida e a seco.

Os sistemas de acabamento devem atender aos critérios de habitabilidade, segurança, desempenho estrutural, resistência e reação ao fogo, estanqueidade à água, conforto termo-acústico, durabilidade e estética. Os produtos mais utilizados como acabamento para LSF, no mercado nacional, são: o OSB (especialmente combinado à argamassa, EIFS ou *siding*), a placa cimentícia e o gesso cartonado.

Os acabamentos verticais mais comuns para LSF e suas formas de execução são discutidos no Capítulo 5 do presente trabalho, onde também são descritos suas aplicações e propostos detalhes específicos para emprego como sistema de fechamento vertical externo para edifícios com estrutura principal portante.

2.3.2 - ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO

Diferentemente de conceitos tradicionais de isolamento, onde a massa da parede é o fator determinante de seu desempenho, nas construções em LSF os isolamentos térmico e acústico baseiam-se no conceito de isolação multicamada, que consiste em combinar placas leves de fechamento, sendo o espaço entre elas preenchido com material isolante. Nesse conceito, diversas combinações podem ser feitas a fim de aumentar o desempenho do sistema, por meio da colocação de mais camadas de placas ou aumentando a espessura do material intermediário (isolante).

Os materiais intermediários mais comuns nesse tipo de aplicação são a lã de rocha ou a lã de vidro. A montagem desse isolamento é feita após a execução de uma das faces do fechamento. O isolamento é fornecido em rolos, que são cortados e instalados entre os montantes (Figura 2.14). Imediatamente, procede-se a instalação da segunda face do fechamento, pois esse tipo de material possui grande sensibilidade às intempéries e à poeira.

A definição da forma de execução dos isolamentos dos painéis em LSF, que influencia no seu desempenho, deve ser feita na fase de projetos, em função das demandas existentes, analisando a relação custo/benefício desejada.



Figura 2.14 - Instalação de isolamento em lã de vidro
Fonte: ISOVER, 2007

2.4 - MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO

Segundo Crasto (2005), baseado no trabalho de outros autores sobre o assunto, os métodos de construção utilizando o LSF são basicamente os descritos a frente.

2.4.1 - MÉTODO “STICK”

Nesse método os perfis são cortados no canteiro de obra, os elementos como painéis, tesouras, lajes e contraventamentos são montados no local (Figura 2.15). Essa técnica pode ser usada em locais onde não é viável a pré-fabricação.

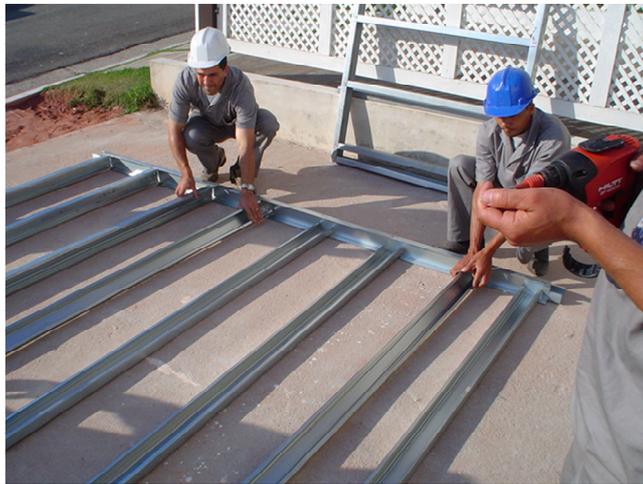


Figura 2.15 - Montagem de painel em LSF no canteiro de obras

As vantagens desse método construtivo são a não há necessidade do construtor possuir um local para a pré-fabricação dos elementos do sistema; a facilidade de transporte das peças até o canteiro; e a facilidade de execução das ligações entre os elementos, apesar do aumento de atividades na obra. Como desvantagens desse método tem-se: a montagem mais lenta da obra; e a necessidade da presença de mão-de-obra mais especializada no canteiro de obras, quando comparado com o método por painéis.

2.4.2 - MÉTODO POR PAINÉIS

Nesse sistema os elementos da construção, como painéis, contraventamentos, lajes e tesouras de telhado são pré-fabricados fora do canteiro, transportados e montados no local (Figura 2.16). Os materiais de acabamento podem também ser aplicados na

fábrica, diminuindo o tempo de execução (Figura 2.17). Os painéis e subsistemas são conectados na obra usando as técnicas tradicionais do LSF.

As principais vantagens desse método são: a velocidade de montagem; o alto controle de qualidade e de custos na produção; a minimização da mão-de-obra no canteiro; e o aumento da precisão dimensional, resultado das condições de trabalho e montagem mais propícias. Como desvantagem desse sistema está a necessidade do construtor de dispor de um grande espaço físico para a montagem e estocagem temporária dos componentes.



Figura 2.16 - Painéis em LSF produzidos em fábrica e transportados para obra
Fonte: AEGIS METAL FRAMING, 2007



Figura 2.17 - Montagem de painéis pré-fabricados em LSF com acabamento executado previamente
Fonte: AEGIS METAL FRAMING, 2007

2.4.3 - CONSTRUÇÃO MODULAR

Na construção modular as unidades são completamente pré-fabricadas e podem ser entregues no local da obra com os acabamentos internos como revestimentos, louças, mobiliário fixo, instalações elétricas e hidráulicas, etc. As unidades podem ser montadas lado a lado ou uma sobre as outras, formando a construção final (Figura 2.18).

Uma utilização bastante comum, inclusive no Brasil, desse tipo de construção são os módulos de banheiros para obras comerciais e residenciais de grande porte (Figura 2.19). Nesse caso, cada banheiro é construído como uma unidade autoportante, que é transportada pronta (incluindo a instalação de louças e acabamentos), içada e instalada sobre a laje já construída do edifício (LAWSON e GRUBB, 1999).



Figura 2.18 - Construção de edifício em módulos
Fonte: SCI, 2007



Figura 2.19 - Montagem de módulo de banheiro. Edifício de Hotel, São Paulo
Fonte: PAVI, 2005

2.5 - RACIONALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO MODULAR

Sistemas construtivos industrializados, como o LSF, para que tenham todo seu potencial de ganho explorado, devem ser trabalhados, pelas equipes responsáveis pelo projeto, levando-se em conta todas as suas particularidades e conceitos de racionalização construtiva inerentes aos processos desta natureza.

Segundo SABBATINI (1989), racionalização construtiva é “um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção, em todas as suas etapas”.

O processo de racionalização construtiva deve começar ainda na fase de concepção do empreendimento, passando pelo desenvolvimento dos projetos, análise e especificação de componentes e materiais, detalhamento e compatibilização de projetos e subsistemas. As fases de construção e, posteriormente, utilização vão mostrar o comportamento do processo e do produto planejados, fornecendo dados para melhoria da qualidade no sistema e no processo, em futuros empreendimentos.

Os principais recursos ou ações a serem aplicados para promover a racionalização no processo de projeto são: a Construtibilidade, devendo incluir tanto a execução das atividades no canteiro quanto a fabricação e transporte de componentes; planejamento de todas as etapas do processo; uso da coordenação modular e dimensional; associação de estruturas industrializadas a sistemas complementares compatíveis; formação de equipes multidisciplinares; coordenação e compatibilização de projetos antes da execução; detalhamento técnico; antecipação de decisões; elaboração de projetos para produção; e existência de visão sistêmica. (CRASTO, 2005):

A racionalização do processo construtivo pretende integrar a produção de materiais de construção à execução da edificação propriamente dita, que compõem, freqüentemente, duas partes distintas e desvinculadas na indústria da construção civil. A utilização de um sistema de coordenação modular é uma das bases para a normalização de componentes construtivos, industrialização de sua produção e execução de edifícios de forma racionalizada.

Entende-se por coordenação modular o sistema dimensional de referência que, a partir de medidas com base no módulo predeterminado, compatibiliza e organiza tanto a aplicação racional de técnicas construtivas como o uso de componentes padronizados em projeto e obras. A coordenação modular tem como objetivo racionalizar a construção, do projeto à execução (GREVEN e BALDAUF, 2007).

A coordenação modular e a racionalização construtiva visam eliminar a fabricação, modificação ou adaptação de peças em obra, evitando a tomada de decisões por profissionais não capacitados e sem conhecimento global da construção, reduzindo também o trabalho de montagem das unidades e seus subsistemas. Para o emprego eficiente da coordenação modular, é fundamental que a indústria disponibilize seus produtos dimensionados como múltiplos de um único módulo, considerado como base dos elementos constituintes da edificação.

O módulo tem sido utilizado desde a antiguidade, mas foi a partir da revolução industrial que a modulação se tornou uma ferramenta primordial para a evolução da construção civil. Após o fim da Segunda Guerra Mundial, a necessidade de sistematização dos princípios de coordenação modular tomou grande dimensão, tendo em vista o rápido desenvolvimento da tecnologia da indústria frente à demanda cada vez maior por habitações.

O crescimento do intercâmbio comercial entre os países foi fator determinante para a afirmação de tal necessidade, que levou ao estabelecimento do módulo básico (unidade de medida de tamanho fixo a qual se referem todas as medidas que formam parte de um sistema de coordenação modular), representado pela letra M e correspondente a 100 mm, adotados nas normas ISO 1006:1983 – *Building Construction – Modular Coordination* e NBR 5706:1977 – *Coordenação Modular na Construção*, que estabelece o módulo básico (M) também de 100 mm (CRASTO, 2005).

Segundo essas normas, o módulo básico possui como funções fundamentais: ser o denominador comum de todas as medidas ordenadas; ser o incremento unitário de toda e qualquer dimensão modular a fim de que a soma ou a diferença de duas dimensões

modulares também seja modular; e ser um fator numérico, expresso em unidades do sistema de medidas adotado ou a razão de uma progressão.

A Figura 2.20, elaborada por Silva (2004) em sua dissertação de mestrado, ilustra uma relação modular otimizada entre elementos construtivos do edifício proposto em seu trabalho. Nessa ilustração, a distância entre os eixos estruturais é a dimensão a partir da qual se determinam as medidas dos demais componentes dos subsistemas, desde as grandes peças do sistema de fachada (mesmo módulo) até materiais de acabamento (módulos menores, porém sub-múltiplos).

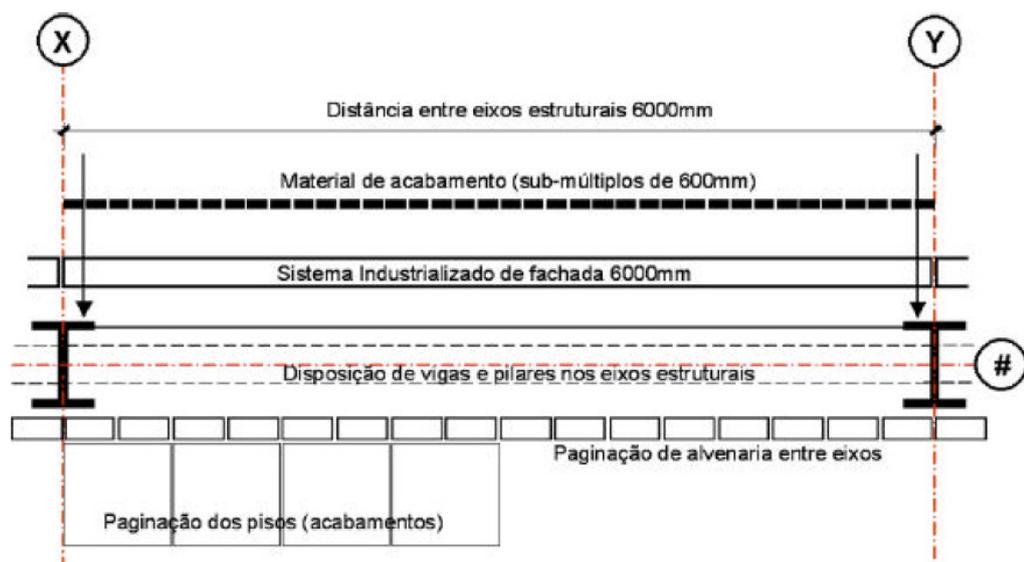


Figura 2.20 - Coordenação modular entre elementos construtivos

Fonte: SILVA, 2004, p. 71

A aplicação eficiente da coordenação modular na construção civil passa pela integração da edificação a uma malha modular que permita a coordenação de todas as informações de projeto, servindo de base tanto para a estrutura principal quanto para os outros componentes e subsistemas que obedecem a um padrão de coordenação modular.

As malhas modulares ou coordenadoras funcionam como elo de intercâmbio facilitador entre a coordenação funcional, volumétrica e, principalmente, estrutural da edificação. A base dessas malhas é um reticulado modular de referência que pode ser plano ou espacial, onde são posicionados a estrutura, as vedações, as esquadrias, e outros equipamentos, isolados ou em conjunto (FREITAS e CRASTO, 2006).

A utilização de malha de coordenação modular não deve ser entendida como fator limitante, que gera uma arquitetura pobre e repetitiva. A infinidade de combinações e arranjos permite uma grande flexibilidade, nas mais variadas linguagens arquitetônicas.

O Centre Pompidou (Figura 2.21), em Paris, França, projeto dos arquitetos Richard Rogers e Renzo Piano, 1976, e o Museu Guggenheim (Figura 2.22), em Bilbao, Espanha, projeto do arquiteto Frank Gehry, 1997, são exemplos de obras que foram executadas a partir de malhas modulares.



Figura 2.21 - Centre Pompidou
Fonte: GREAT BUILDINGS ON LINE, 2007



Figura 2.22 - Museu Guggenheim Bilbao, durante obras de construção
Fonte: GREAT BUILDINGS ON LINE, 2007

Na primeira obra, a malha modular e a repetição de elementos são facilmente percebidos, pois fizeram parte de sua concepção arquitetônica e são partidos para a

forma do edifício, que deixa evidente seus aspectos construtivos. Já na segunda, a forma orgânica e ousada desenvolvida pelo arquiteto foi executada graças a um trabalho de implementação de uma malha reticulada, que guiou o desenvolvimento da estrutura.

2.5.1 - LIGHT STEEL FRAMING E MODULAÇÃO

A coordenação modular e o uso de malhas construtivas são de grande importância em sistemas industrializados, como o LSF, pois asseguram o não desperdício dos materiais, proposto pela padronização de medidas (JARDIM e CAMPOS, 2005).

A malha modular estrutural do sistema LSF possui espaçamento usual de 400 mm ou 600 mm, definido no projeto estrutural, de acordo com o carregamento a que está submetido. Na fase de estudo preliminar de arquitetura, para projetos em LSF, Crasto (2005) sugere o emprego de uma malha de 1200 x 1200 mm, uma vez que nessa fase o arquiteto não tem ainda definição precisa da modulação estrutural. Sendo tal malha múltipla tanto de 400 mm quanto de 600 mm, permite-se posteriormente que o projeto seja adequado a qualquer das opções determinadas pelo projeto estrutural.

Essas malhas são também adequadas à modulação encontrada nos componentes do sistema, cuja execução é parametrizada em múltiplos e submúltiplos de 3 (JARDIM e CAMPOS, 2005). As placas cimentícias e de gesso cartonado, utilizadas como fechamento interno e externo, possuem largura e altura padrões de 1200 mm e 2400 mm, respectivamente, podendo ser encontradas com 2700 mm ou 3000 mm. O perfil metálico mais usual é conformado com 90 mm de alma por 3000 mm ou 6000 mm de comprimento. Os isolamentos em lã de vidro são encontrados em rolos com larguras para encaixar entre os perfis nos espaçamentos de 400 mm ou 600 mm.

O único material do sistema LSF produzido no Brasil e que não possui medidas dentro desse padrão é o OSB com placas de 1220 x 2440 mm. Isso ocorre porque o foco principal de seu fabricante ainda é o mercado norte-americano, onde a medida da placa é de 4' x 8'.

3

CONSIDERAÇÕES ESTRUTURAIS DA UTILIZAÇÃO DE LSF COMO FECHAMENTO EXTERNO

3.1 - CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

A forma mais comum de utilização do sistema *Light Steel Framing* (LSF) no fechamento externo de edifícios é como um sistema secundário, ou seja, que não possui papel estrutural no funcionamento do edifício como um todo. A estrutura principal do edifício é, então, dimensionada sem que os fechamentos tenham qualquer responsabilidade estrutural global, seja de suportar cargas, seja de estabilização (SCHAFER, 2003).

Porém, os fechamentos em LSF podem possuir função de colaborar no contraventamento horizontal da estrutura principal do edifício, aumentando a rigidez de seus quadros. Nessa hipótese, os elementos mais exigidos são as chapas diagonais de contraventamento do painel, os quadros das aberturas (janelas e portas) e os perfis nas bordas (guias e montantes) do painel. Um dos principais ganhos no dimensionamento da estrutura considerando o papel estrutural do painel de LSF é a diminuição do comprimento de flambagem dos pilares, resultado da presença de travamentos horizontais nesses painéis (PEREIRA JUNIOR, 2004).

No presente trabalho, optou-se pelo estudo da aplicação do sistema LSF apenas como fechamento não-estrutural. Neste caso, a responsabilidade estrutural do fechamento é resistir às cargas verticais decorrentes de seu peso próprio e dos materiais de fechamento e acabamento ligados diretamente aos painéis, transmitido-as às vigas, lajes ou fundações. O fechamento em LSF resiste também às cargas horizontais decorrentes da incidência do vento na fachada do edifício.

É importante estudar os deslocamentos aos quais a estrutura principal do edifício está sujeita, especialmente em locais de grande incidência de vento ou sujeitos a cargas sísmicas, para que a natureza secundária do fechamento seja mantida. Para que tais deslocamentos não prejudiquem a integridade do fechamento, pode-se optar pelo uso de detalhes especiais de montagem ou pelo dimensionamento dos elementos estruturais do fechamento capazes de suportar os esforços decorrentes da movimentação da estrutura principal. Esta última opção pode demandar o uso de perfis bastante robustos, sendo uma escolha antieconômica na maioria dos casos.

A solução de fachada deve possibilitar resistência suficiente para utilização dos materiais de acabamento industrializados mais comuns no mercado. Cada uma dessas técnicas pode ser aplicada em edifícios de pequeno ou grande porte, com a adaptação de detalhes construtivos e espaçamento entre montantes ao vão a ser vencido e carga a ser suportada, tanto do material de fechamento quanto de vento.

3.2 - DIMENSIONAMENTO

A preocupação dos engenheiros no desenvolvimento do cálculo estrutural, normalmente, se atem à integridade e resistência da estrutura principal do edifício, levando em conta quais seriam as opções de fechamento vertical apenas no momento da determinação das cargas. No caso da utilização de fechamento externo não-estrutural em LSF, deve haver preocupação com sua integridade por parte de toda a equipe de projeto, desde o princípio do dimensionamento da estrutura principal do prédio, uma vez que seu comportamento influi diretamente no dimensionamento e concepção de montagem do fechamento.

A análise estrutural de uma montagem de fechamento de fachada em LSF deve ser conduzida utilizando-se princípios comuns de engenharia de cálculo estrutural. A resistência do conjunto deve ser determinada a partir das resistências dos elementos isolados (LGSEA, 2001a).

As normas de referência para o dimensionamento das peças de LSF utilizadas como fechamento não-estrutural são a NBR 14762:2001 e a AISI/1996 Part V, além dos manuais prescritivos existentes, como RODRIGUES, 2006 e NASFA, 2000. As prescrições de normas e manuais devem ser analisadas de modo a considerar os esforços axiais e horizontais quando o painel não for isolado dos deslocamentos da estrutura principal e somente os horizontais quando o for.

3.2.1 - PRINCÍPIOS PARA O DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO FECHAMENTO

Os montantes dos painéis de fachada são dimensionados para resistir às cargas laterais e ao peso próprio do sistema de fechamentos. Eles devem ser dimensionados primordialmente à flexão, causada pela ação das cargas horizontais de vento incidentes perpendicularmente à fachada. Os modos de colapso dos montantes são a flambagem lateral com torção (FLT) para cada montante individualmente, e a flambagem por flexo-torção para o conjunto de montantes. No caso do deslocamento vertical do edifício

atingir o painel, causando carregamento axial no montante, este deve estar preparado para flexo-compressão ou flexo-tração.

Os montantes não travados horizontalmente podem também se mover para fora do plano da seção na direção de seu eixo de menor inércia. O travamento horizontal dos montantes, seja por meio de bloqueadores, seja pela utilização das placas de fechamento como diafragma rígido, atua na prevenção desses modos de colapso. A diminuição no espaçamento entre os travamentos aumenta a capacidade resistiva do conjunto como um todo, em função da diminuição do comprimento efetivo de flambagem dos montantes (LGSEA, 2001a).

É recomendado que as peças metálicas do fechamento em LSF possuam tensão de escoamento (F_y) maior ou igual a 230 MPa. A espessura de chapa deve ser determinada pelo cálculo estrutural, porém, recomenda-se uma espessura mínima de 0,80 mm para os componentes (guias e montantes) de montagens embutidas e com ligações feitas por parafusos autotarraxantes, e de 1,25 mm para qualquer componente que necessite de solda. Para as peças pequenas submetidas a esforços concentrados, como cantoneiras, perfis com rasgos ou espaçadores, recomenda-se tensão de escoamento maior ou igual a 340 MPa (LGSEA, 2001a).

Um ponto crítico do dimensionamento do painel é o encontro dos montantes com as guias, tanto em montagens rígidas, quanto naquelas que permitem a movimentação livre da estrutura principal. A flambagem local da alma do montante no ponto de encontro com a guia, a resistência da mesa da guia ao esforço concentrado e a capacidade da conexão com parafuso são os fatores determinantes nesse dimensionamento (LABOUBE e BOLTE, 2004).

As guias (perfil U) usadas no fechamento em LSF não necessariamente possuem a mesma espessura de chapa dos montantes. Isto porque estas peças são dimensionadas para resistir aos esforços concentrados impostos pela ligação com os montantes, de modo a evitar a deformação local de sua geometria. Enrijecedores compostos por peças de montantes U_e podem ser utilizados para colaborar na resistência das mesas das guias

nessa situação. Além disso, as guias devem resistir aos esforços de cisalhamento e punção que ocorrem na ligação com a estrutura principal.

3.2.2 - CARGAS PARA DIMENSIONAMENTO

Os carregamentos usualmente considerados no dimensionamento dos fechamentos não estruturais em LSF são: peso próprio, cargas devidas ao vento, cargas sísmicas, cargas de origem térmica e cargas de impacto.

3.2.2.1 - PESO PRÓPRIO

O peso próprio do fechamento em LSF compreende não só os elementos estruturais metálicos (montantes, guias, bloqueadores, etc), mas também todas as peças de acabamento do painel, como placas de vedação, parafusos, etc (LGSEA, 2001a).

A avaliação dos esforços resultantes das cargas de peso próprio do fechamento é bastante simples, porém, situações corriqueiras, como a carga concentrada em função de um elemento de fixação de placas de fechamento, a carga axial descarregada pela parede do andar superior apoiada ou o efeito de excentricidade causado por um elemento em balanço na fachada requerem atenção no dimensionamento do fechamento em LSF.

3.2.2.2 - CARGAS DEVIDAS AO VENTO

Os esforços decorrentes das cargas impostas pelo vento nas fachadas em LSF são os mais significativos no dimensionamento das peças estruturais que compõem este sistema de fechamento (LGSEA, 2001a). Esses esforços podem se dar de duas formas: por pressão direta (positiva) ou por pressão de sucção (negativa).

As cargas de vento são dimensionadas de acordo com normas específicas, no caso do Brasil a norma utilizada é a NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações. Características do edifício a ser dimensionado, como geometria, dimensões, localização, entorno e ocupação planejada são levadas em conta na determinação da pressão de vento a qual ele está sujeito.

3.2.2.3 - CARGAS SÍSMICAS

Os esforços devidos a abalos sísmicos são tipicamente forças horizontais aplicadas nos elementos de fechamento em função da aceleração de sua massa no momento de um terremoto. A grandeza desses esforços é função, então, da massa do fechamento, e também da intensidade do abalo sísmico (LGSEA, 2001a).

Em localidades sujeitas a abalos sísmicos, não significativos no território brasileiro, há códigos construtivos específicos para o dimensionamento dos esforços devidos a cargas sísmicas.

3.2.2.4 - CARGAS DE ORIGEM TÉRMICA

As cargas originadas das variações térmicas, incidentes no fechamento em LSF, são divididas em dois grupos (LGSEA, 2001a).

A dilatação ou encurtamento dos elementos estruturais produzem esforços axiais de compressão ou tração em função das variações térmicas ambientais, uma vez que suas extremidades estão ancoradas na estrutura primária do edifício (Figura 3.1 A).

A variação de temperatura entre as faces das placas de fechamento externo, especialmente quando utilizados painéis metálicos tipo sanduíche, pode criar um abaulamento nesta placa, provocando esforços horizontais distribuídos ao longo do montante (Figura 3.1 B).

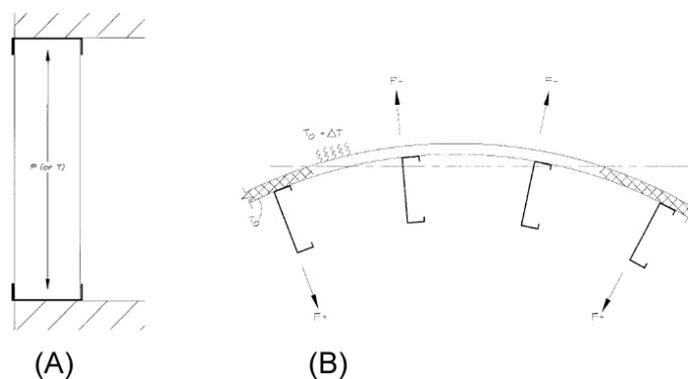


Figura 3.1 - Cargas de origem térmica nos fechamentos em LSF

(A) – Dilatação e encurtamento de perfis (B) – Diferença de temperatura no fechamento

Fonte: LGSEA, 2001a

3.2.2.5 - CARGAS DE IMPACTO

Os painéis de fechamento vertical em LSF devem apresentar acabamentos e estrutura de suporte com capacidade de resistir, sem comprometimento, aos impactos usuais decorrentes da ocupação e transferir parte da carga para a estrutura do edifício (COSTA, 2004).

3.2.3 - DESLOCAMENTOS E ESTADOS LIMITES

Nos fechamentos de fachada em LSF, os estados limites de utilização incluem a movimentação global do painel, vibrações, aparência (deslocamentos visíveis) e deslocamento dos elementos estruturais (perfis Ue e U) do painel de fechamento (LGSEA, 2001a).

Em montagens típicas, o estado limite de utilização determinante na avaliação estrutural é o deslocamento (flecha) dos elementos estruturais do painel de LSF, cujo limite é normalmente definido em função dos acabamentos externos que serão utilizados.

Os deslocamentos máximos admitidos para cada acabamento externo devem ser levados em conta no processo de dimensionamento. A Tabela 3.1 apresenta valores típicos de flechas admissíveis nos elementos de LSF para alguns materiais de acabamento externo.

Tabela 3.1 - Deslocamentos (flechas) admissíveis em fechamentos de LSF

Material de acabamento	Deslocamento admitido
Painel Metálico	L / 180 a 240
EIFS ³	L / 240
Reboco com argamassa	L / 360
Pedra	L / 360 a 600
Tijolos	L / 600

Fonte: LGSEA, 2001a, p.5

³ EIFS – *Exterior Insulation and Finishing System* (Sistema de Isolamento e Acabamento Externo): sistema de acabamento multicamada com grande capacidade de adaptação a deslocamentos e deformação. Ver item 5.4.1.3, página 107.

3.2.4 - TENSÕES ATUANTES

As tensões típicas que ocorrem em uma montagem usual de fechamento externo não estrutural em LSF são as seguintes (LGSEA, 2001a):

- Tensões devidas à flexão (compressão e tração);
- Tensões axiais (compressão ou tração);
- Tensão de cisalhamento;
- Tensões locais, devidas a esforços concentrados;
- Combinações das anteriores.

Em casos de carregamentos de vento ou sísmicos, os esforços atuantes podem, usualmente, ser minorados por um fator de 0,75, ou as capacidades resistivas majoradas por um fator de 1 1/3, de acordo com a seção A5.1.3, de AISI, 1996 (LGSEA, 2001a; SSMA, 2000).

3.3 - DESLOCAMENTOS NA ESTRUTURA PRINCIPAL

O estudo e entendimento dos deslocamentos previstos para a estrutura principal de um edifício são muito importantes para manter a natureza estrutural secundária para a qual o fechamento em LSF foi dimensionado, prevendo detalhes construtivos que permitam a ocorrência de tais deslocamentos, sem transferência significativa de esforços aos perfis do sistema secundário. A transferência de cargas não previstas para a estrutura do fechamento pode comprometer seu funcionamento, pois além do incremento de esforços aplicados para os quais as peças não foram dimensionadas, há ainda a possibilidade de deformações na sua geometria.

A instalação dos acabamentos (placas cimentícias, OSB, argamassa, gesso cartonado, etc) dos painéis em LSF utilizados em fechamento de fachadas deve prever detalhes construtivos, como juntas de movimentação, para absorver os deslocamentos e deformações inerentes ao sistema construtivo. A eventual transferência de deslocamentos da estrutura principal para o LSF aumenta significativamente tais

solicitações, podendo comprometer o desempenho e a integridade dos elementos de fechamento e acabamento (SCHAFER, 2003). Assim, a previsão de detalhes construtivos capazes de absorver os deslocamentos da estrutura principal sem transmiti-las ao LSF é importante não só para garantir o desempenho estrutural do sistema, mas também sua estanqueidade e estética, evitando o surgimento de diversas patologias construtivas.

É importante, no planejamento do fechamento em LSF, a interação entre o projeto desse sistema e o dimensionamento da estrutura principal. O cálculo estrutural deve descrever não só o caminhamento das cargas, mas também as movimentações e deformações previstas para a estrutura principal, pois é a partir destas grandezas que se dá a decisão da forma de se absorver os deslocamentos no fechamento em LSF. Após a escolha do detalhe a ser utilizado, sua capacidade de absorver a movimentação deve ser levada em conta no dimensionamento da estrutura principal, para que os deslocamentos impostos à estrutura do fechamento não sejam superiores aos admissíveis.

Há disponíveis no mercado, principalmente norte-americano onde o emprego de fechamentos em LSF é bastante desenvolvido, uma variedade muito grande de detalhes padronizados e peças construtivas específicas para absorver os deslocamentos da estrutura principal. Apesar de toda a disseminação do sistema e experiência existente, o entendimento da importância e das conseqüências das decisões sobre a absorção dos deslocamentos da estrutura principal pelo fechamento em LSF, por parte dos agentes envolvidos na construção civil, é ainda bastante escasso (SCHAFER, 2003).

3.3.1 - FORMAS DE DESLOCAMENTOS NA ESTRUTURA PRINCIPAL

Após a montagem da estrutura e do fechamento é possível a ocorrência de deslocamentos que necessitam de avaliação. Os principais deslocamentos considerados são função de variações térmicas, oscilação do vento, assentamento da fundação e deformações na estrutura.

3.3.1.1 - ASSENTAMENTO DA FUNDAÇÃO

A ocorrência de um assentamento uniforme da fundação não prejudica o desempenho dos fechamentos em LSF. Porém, qualquer movimento de recalque da fundação do edifício, no sentido longitudinal, pode provocar a rotação do painel, sendo necessário avaliar o deslocamento potencial para que os elementos de fixação possam absorvê-lo (COSTA, 2004).

3.3.1.2 - DESLOCAMENTO DAS VIGAS DE CONTORNO DO EDIFÍCIO

As vigas próximas à fachada estão mais sujeitas à flexão devido ao peso das lajes e dos sistemas de fechamento nelas apoiados. O seu deslocamento máximo é determinado por norma específica para cada material e tipo de estrutura (COSTA, 2004).

3.3.1.3 - OSCILAÇÃO PROVOCADA PELO VENTO

A oscilação provocada pelo vento gera uma movimentação vertical das colunas enquanto as lajes tendem a permanecer na horizontal, deixando o quadro estrutura, originalmente retangular, na forma de um paralelogramo (COSTA, 2004).

3.3.2 - ABSORÇÃO DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS

As ligações entre a estrutura principal e a estrutura secundária de fechamento podem ser executadas de forma rígida. Segundo Schafer (2003), uma montagem utilizando LSF em fachadas, executada com fixações rígidas e incapazes de absorver quaisquer deslocamentos da estrutura principal, pode funcionar corretamente. Isso ocorre se essa estrutura principal for rígida o suficiente para não transmitir qualquer carregamento para os montantes de LSF, se este esforço transmitido for pequeno a ponto de ser suportado sem problemas pelos perfis do fechamento, ou ainda, se os perfis forem dimensionados para resistir aos esforços quando esses forem mais significativos.

No caso de ligações rígidas, onde os montantes resistem a esforços axiais decorrentes dos deslocamentos da estrutura principal, é importante que o dimensionamento seja

elaborado atento à forma e à posição de aplicação desse carregamento no montante e como a carga será conduzida até a fundação ou ao apoio intermediário (LGSEA, 2004).

Atualmente, não há normas para determinação quantitativa da necessidade e dimensão dos detalhes construtivos necessários para absorver os deslocamentos da estrutura. Há argumentos de que detalhes rígidos permitem a movimentação das guias do fechamento por meio dos parafusos que as fixam na estrutura principal, o que pode ser suficiente para deslocamentos muito pequenos, mas problemático quando esses são mais significativos. Por isso, baseado em experiências de fabricantes e montadores, pode-se considerar consenso de que é prudente que toda montagem permita uma movimentação vertical independente do painel em relação à estrutura principal do edifício (SCHAFER, 2003).

3.3.3 - ABSORÇÃO DE DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

Quando a estrutura principal do edifício é submetida a cargas horizontais, é possível a ocorrência de deslocamentos entre os planos dos pavimentos. Quando tal movimento horizontal é paralelo à parede e esta está fixada rigidamente à estrutura principal, a parede é deformada, passando da forma de retângulo para paralelogramo. No caso de dimensionamento da parede como elemento resistivo às cargas horizontais e trabalhando associada à estrutura principal, essa parede cortante terá elementos capazes de resistir aos esforços impostos (LGSEA, 2004).

Entretanto, paredes de fechamento não estrutural em LSF não são usualmente dimensionadas como paredes cortantes, apesar de estarem normalmente sujeitas a cargas horizontais, mesmo de pequena grandeza, e serem capazes de resistir a elas. Quando a estrutura dos fechamentos não fizer parte do sistema de estabilização horizontal do edifício e, ainda, quando não se deseja que ela receba carregamento decorrente da movimentação da estrutura principal, aconselha-se o uso de detalhes construtivos que isolem a estrutura do fechamento da movimentação horizontal da macroestrutura do edifício (LGSEA, 2004).

O consenso entre fabricantes e montadores sobre a necessidade de detalhes para acomodar deslocamentos verticais não existe quando se analisam os deslocamentos horizontais. Os detalhes construtivos que permitem movimentação vertical nem sempre levam em conta a horizontal, que muitas vezes demanda detalhes mais caros ou de execução mais complexa. Não há dados experimentais conclusivos sobre esse assunto, sendo necessária uma discussão intensa entre engenheiros estruturais, empreiteiros, profissionais de execução e arquitetos para que seja definida a utilização ou não de detalhes que absorvam deslocamentos horizontais (SCHAFER, 2003).

3.4 - CONEXÃO DAS PEÇAS DE LSF COM A ESTRUTURA PRINCIPAL

A conexão das guias de instalação do fechamento em LSF com a estrutura principal do edifício pode ser feita com a utilização de parafusos, solda (no caso de estrutura de aço) ou por pinos acionados à pólvora.

Os pinos (também chamados fixadores) acionados à pólvora são a forma mais comum de fixação de LSF à estrutura principal do edifício, tendo como maiores vantagens a rapidez e a facilidade de execução e a grande resistência a cortante (LGSEA, 2001b). Comparadas com os pinos, outras opções de conexão demandam mais mão-de-obra e tempo de execução. É o caso do uso de parafusos com buchas ou parafusos de expansão na ligação com concreto, que demandaria uma perfuração prévia do substrato. Há também a possibilidade de uso de solda para ligação com o aço, que é mais cara e demanda a disponibilidade de mão-de-obra bastante qualificada. É possível ainda a utilização de parafusos autoperfurantes e autotarraxantes, porém esses só são eficientes em perfis estruturais de chapa fina.

Há situações, porém, em que a utilização de pinos à pólvora pode não ser a mais vantajosa. O uso de parafusos pode ser mais apropriado em uma instalação onde o barulho e o impacto do finca-pinos poderiam prejudicar o seu funcionamento, como em um hospital em reforma, por exemplo. Os parafusos podem ser indicados também em casos onde a conexão com o concreto deve ocorrer em um espaço restrito, pois, nessa situação, caso o pino à pólvora danifique o substrato no momento da instalação e precise ser substituído, não é possível a colocação de outro pino no mesmo ponto.

3.4.1 - DIMENSIONAMENTO DA CONEXÃO

O dimensionamento das conexões do LSF com a estrutura principal deve determinar o elemento de fixação mais adequado, fornecendo seu diâmetro, comprimento e penetração recomendados, a distância para a borda da estrutura e o espaçamento entre pinos de modo a não danificar o substrato, além da capacidade resistiva da conexão. Já no caso de solda, deve-se determinar sua forma, localização e a dimensão do cordão.

A resistência da guia do LSF aos efeitos locais de cisalhamento (rasgamento ou esmagamento) e puncionamento (*pull-over*) da chapa, a capacidade de resistência à tração do pino ao substrato (arrancamento) e sua resistência à cortante são os pontos determinantes da capacidade resistiva da ligação, que deve ser dada pelo menor valor entre os citados (RODRIGUES, 2006).

As normas de dimensionamento apresentam equações específicas para o cálculo da resistência da chapa em ligações realizadas com parafusos, tanto entre as peças de LSF quanto com as outras estruturas. Essas mesmas equações podem ser empregadas no dimensionamento quando a conexão é realizada por pinos acionados à pólvora (LGSEA, 2001b).

As resistências à cortante e à tração dos pinos ou parafusos utilizados nas conexões devem ser determinadas através de testes realizados e publicados pelos seus fabricantes. No caso de substrato em concreto, os fatores determinantes nessas resistências são o diâmetro do pino ou parafuso, a profundidade de penetração e a resistência à compressão do concreto. Já em substrato de aço, o diâmetro do pino ou parafuso e a espessura e resistência da chapa de aço base são os principais fatores que influenciam na resistência da conexão.

3.4.2 - PINOS ACIONADOS À PÓLVORA

Os pinos acionados à pólvora são fabricados em aço de alta resistência, com revestimento anticorrosivo de zinco e possuem conformações diferentes de acordo com o substrato a ser penetrado.

Os pinos para uso em concreto possuem fuste longo e liso, anel ou guia plástica para alinhamento e cabeça saliente para evitar a penetração excessiva no substrato (Figura 3.2). Sua aderência ao concreto se dá pelo deslocamento de parte da massa do substrato, que se comprime contra o pino, criando um apoio de fricção. Adicionalmente, o calor gerado durante o processo de penetração causa um efeito de sintetização do concreto ao pino (HILTI, 2007). Durante a fixação, pode haver pequeno dano à superfície do concreto, o que não compromete a resistência da ligação. Caso o dano seja mais significativo, o pino não pode ser instalado no mesmo local, sendo fixado em outro ponto onde o concreto esteja íntegro (LGSEA, 2001b).

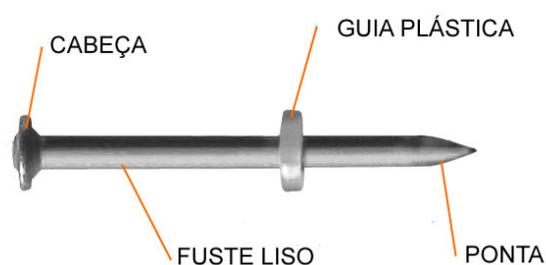


Figura 3.2 - Pino para fixação à pólvora em concreto
Fonte: HILTI, 2007

Os pinos projetados para uso em ligações com aço possuem fuste com ranhuras, que são responsáveis pela sua adesão ao substrato (Figura 3.3). Assim como nos pinos para concreto, há nos pinos para aço um anel plástico para alinhamento e cabeça saliente. Para o funcionamento correto do pino é fundamental que sua ponta atravesse completamente a chapa do perfil metálico de sustentação, pois, caso contrário, a pressão que ocorreria neste ponto tenderia a expulsá-lo do substrato. Assim, é importante o conhecimento da espessura da chapa de aço a ser penetrada para uma correta especificação do pino a ser utilizado (LGSEA, 2001b).



Figura 3.3 - Pino para fixação à pólvora em aço
Fonte: HILTI, 2007

Para que a instalação dos pinos não comprometa a integridade do substrato e a resistência das conexões vizinhas, deve-se respeitar uma distância mínima até a borda da viga de 75 mm para concreto e de 12,5 mm para aço, além de um espaçamento entre pinos de 100 mm para concreto e de 33,75 mm para aço (LGSEA, 2001b).

3.4.3 - PARAFUSOS

Os parafusos utilizados para fixação de fechamentos em LSF à estrutura principal são fabricados em aço de alta resistência, com revestimento anticorrosivo de zinco, variando seu formato e forma de fixação de acordo com o material da estrutura do edifício.

Para fixação na estrutura principal em aço, com chapas de espessura de até 3,5 mm, pode-se utilizar o mesmo parafuso estrutural (Figura 3.4) empregado nas ligações entre painéis, peças de apoio e enrijecedores. Tal parafuso é autoperfurante e autotarraxante, com cabeça sextavada e ponta broca N.3, e possui comprimento total de 25 mm. Já para estruturas de aço com espessuras de chapas acima de 3,5 mm utiliza-se um parafuso bastante semelhante ao anterior, porém com comprimento de 32 mm, ponta broca N.5 e diâmetro de fuste maior, que é capaz de perfurar substratos de maior espessura (LAWSON e GRUBB, 1997).



Figura 3.4 - Parafuso estrutural - cabeça sextavada e ponta broca
Fonte: CISER, 2007

Os parafusos autoperfurantes e autotarraxantes possuem como grande vantagem a facilidade de execução, já que não é necessário executar furação prévia, tanto no LSF quanto na estrutura principal, agilizando a montagem do painel de fechamento.

Quando a estrutura principal do edifício é executada em concreto armado, a fixação dos painéis de fechamento em LSF pode ser feita utilizando-se parafusos comuns e buchas plásticas. A fixação com parafusos é um processo bastante lento e trabalhoso já que esse

conjunto demanda a furação prévia do substrato para a inserção da bucha. O parafuso utilizado pode ter cabeça Philips ou sextavada. Pode-se também utilizar parafusos de expansão, porém esta opção torna a fixação mais cara e trabalhosa.

3.4.4 - SOLDA

A conexão do fechamento em LSF e de suas peças de sustentação com a estrutura principal em aço pode também ser executada com solda.

A solda é executada nos encontros das peças com a estrutura, podendo unir duas superfícies perpendiculares ou paralelas, com um cordão de seção aproximadamente triangular. O cordão de solda é depositado no chanfro formado pelo encontro das duas superfícies, que é previamente usinado para garantir a penetração total da solda, que se funde com os metais de base, formando a junta soldada (Figura 3.5). A penetração do cordão de solda é determinante para apontar a qualidade da ligação, e uma boa solda deve ter penetração total (DIETRICH, 2007).



Figura 3.5 - Algumas configurações de solda entre chapas de aço
Fonte: DIETRICH, 2007

A conexão com solda possui elevada resistência mecânica, resultado de um bom projeto de soldagem. Porém, o uso de solda na conexão de perfis finos de LSF demanda a disponibilidade de um profissional de soldagem qualificado na obra, além de, quando comparado com ligações por parafusos ou pinos acionados à pólvora, ter um custo mais elevado e demandar equipamentos mais pesados.

4

MODOS DE MONTAGEM DE FECHAMENTOS EXTERNOS EM *LIGHT STEEL FRAMING*

A utilização de fechamentos externos industrializados vem ganhando mercado no Brasil nos últimos anos, e tende a se desenvolver ainda mais, conforme a aceitação de novas tecnologias continue crescendo. Apesar da predominância de sistemas artesanais, há setores da construção nacional que empregam cada vez mais soluções construtivas industrializadas em empreendimentos significativos.

O sistema *Light Steel Framing* (LSF) hoje utilizado no Brasil tem sua origem no mesmo sistema utilizado em países mais industrializados. Tal sistema vem passando, sem perder suas qualidades e virtudes, por processo de adaptação de seus conceitos, técnicas e materiais à realidade brasileira. Apesar desse processo, os princípios da técnica

construtiva, conceito estrutural e os perfis utilizados são semelhantes àqueles encontrados no resto do mundo.

O fechamento externo em LSF já é prática comum em países desenvolvidos e com tecnologia e cultura construtiva mais industrializada, como Estados Unidos, Japão e países da Europa Ocidental, e vem ganhando espaço em nações em desenvolvimento, como Chile e Argentina. O conhecimento e avaliação das técnicas utilizadas nesses países, além do estudo das ainda esparsas experiências brasileiras, são o ponto de partida para a avaliação e o desenvolvimento dessa aplicação do sistema construtivo.

Os métodos de montagem mais comuns e suas soluções construtivas são sistematizados e avaliados neste capítulo, com base em informações colhidas junto a fabricantes, construtores e associações técnicas focadas no sistema LSF, mostrando diversas possibilidades de aplicação da tecnologia em fechamentos externos e constituindo material de apoio para tomada de decisões sobre o emprego deste sistema construtivo.

O conhecimento e avaliação dos métodos de montagem mais adequados para cada situação são fundamentais para se projetar elementos de fixação que compensem problemas eventualmente ocorridos na construção (nivelamento e prumo da estrutura), além de folgas ou juntas que possam compensar as tolerâncias dimensionais, a movimentação higrotérmica e a movimentação da estrutura.

4.1 - MÉTODO EMBUTIDO

O Método Embutido, também chamado *Infill*, é umas das possibilidades de solução construtiva para fachadas utilizando o sistema LSF, onde os painéis, que podem ser fabricados anteriormente ou no local, são montados internamente aos quadros da estrutura principal do edifício (Figura 4.1).

Em cada um dos quadros da estrutura principal fechados com LSF, as cargas dos painéis são descarregadas na estrutura imediatamente abaixo, segundo modelo de carga vertical uniformemente distribuída de forma linear ao longo da viga ou laje. Dessa forma, o sistema de fechamento não oferece limitação ao porte do edifício e nem demanda a

utilização de sistemas auxiliares de sustentação e de transmissão de sua carga para a estrutura principal do edifício.

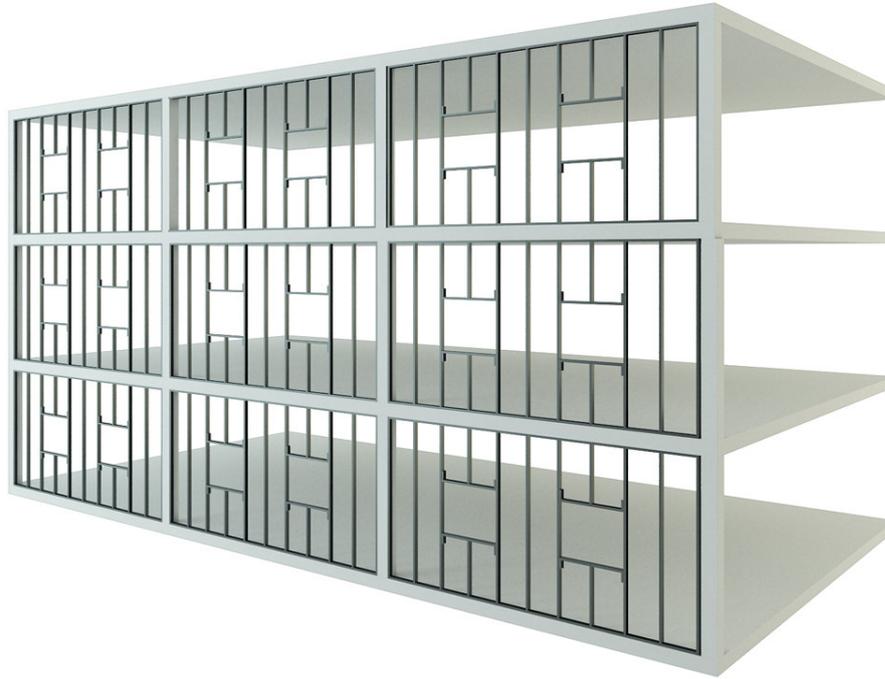


Figura 4.1 - Vedação em LSF – Método Embutido

Os painéis de LSF são geralmente instalados na borda externa da estrutura, porém essa prática não é obrigatória. Tal montagem tem por objetivo facilitar a instalação dos materiais de fechamento e isolamento externos, preferencialmente materiais industrializados e montados a partir de placas moduladas. Em casos onde se deseja tirar partido da estrutura aparente, pode-se optar pela montagem dos painéis recuados.

Os perfis dos painéis de LSF propostos nesse fechamento não possuem função estrutural no edifício, sendo responsáveis apenas por resistir às cargas de vento e ao seu peso próprio e dos acabamentos de fachadas. Sendo assim, não há necessidade da execução de vergas com múltiplos perfis sobre os vãos de janelas e portas, e nem de colocação de ombreiras reforçando os montantes das extremidades, ao contrário do que ocorre em painéis portantes. Nesse caso, as vergas podem ser construídas utilizando-se apenas um perfil U, cortado e dobrado nas extremidades. Apenas em casos onde há grandes vãos ou forças de vento muito elevadas, há necessidade de uso de vergas compostas.

Os painéis de fechamento utilizando o método embutido podem ser executados com os mesmos princípios de montagem e dimensionamento tanto em edifícios com macroestrutura em aço quanto em concreto (Figura 4.2 e Figura 4.3). Dependendo da forma de montagem escolhida, os painéis devem ser executados *in loco* ou podem ser montados previamente em fábrica e instalados prontos na fachada (Figura 4.4).



Figura 4.2 - Montagem de painéis de LSF embutidos, com estrutura principal em aço. Hospital Aintree, Inglaterra

Fonte: METSEC, 2007



Figura 4.3 - Fechamento em LSF, método embutido, em estrutura de concreto armado. Edifício residencial, San Nicolás, Argentina

Fonte: SIDERAR, 1998, p.16



Figura 4.4 - Instalação de painel embutido de fachada em LSF, pré-montado em fábrica. Edifício residencial, Londres, Inglaterra

Fonte: KINGSPAN, 2008

Uma das limitações do fechamento de fachadas com o método embutido é a dificuldade em compensar eventuais problemas de alinhamento e prumo decorrentes da execução da estrutura principal. Esta compensação só é possível em função dos acabamentos externos, que podem eventualmente ter essa capacidade, como o uso de argamassa com revestimento.

Os painéis de fechamentos em LSF, quando montados pelo método embutido, podem ser concebidos com ligações rígidas entre os seus elementos estruturais e a estrutura principal do edifício, ou de forma a permitir o livre deslocamento entre eles. Em ambos os casos, a carga vertical do fechamento é transmitida para a viga ou laje localizada imediatamente abaixo.

No caso de se optar pela liberdade de deslocamento entre as estruturas, a conexão do montante com a guia superior deve ser feita utilizando-se peças ou montagens específicas que permitam o deslocamento na forma e grandeza propostos pela concepção e dimensionamento estruturais. Nos próximos itens do presente capítulo, discutir-se-á diversas formas de execução de tais montagens, apresentando suas vantagens, desvantagens e limitações.

4.1.1 - LIGAÇÃO RÍGIDA

A montagem do fechamento em LSF com ligações rígidas é feita com painéis executados de forma semelhante àqueles utilizados em construções autoportantes, que podem ser fabricados previamente e transportados ou montados no local da obra. As ligações entre os montantes e as guias superiores e inferiores são executadas com parafusos autoperfurantes e autotarraxantes. A conexão das guias com a estrutura principal é executada de forma rígida, com pinos acionados à pólvora, parafusos ou solda. (Figura 4.5).

A simplicidade e a facilidade de execução dos fechamentos com ligações rígidas, além do seu custo reduzido, constituem suas principais vantagens, que são função da não necessidade de detalhes ou peças especiais de montagem (SCHAFER, 2003).

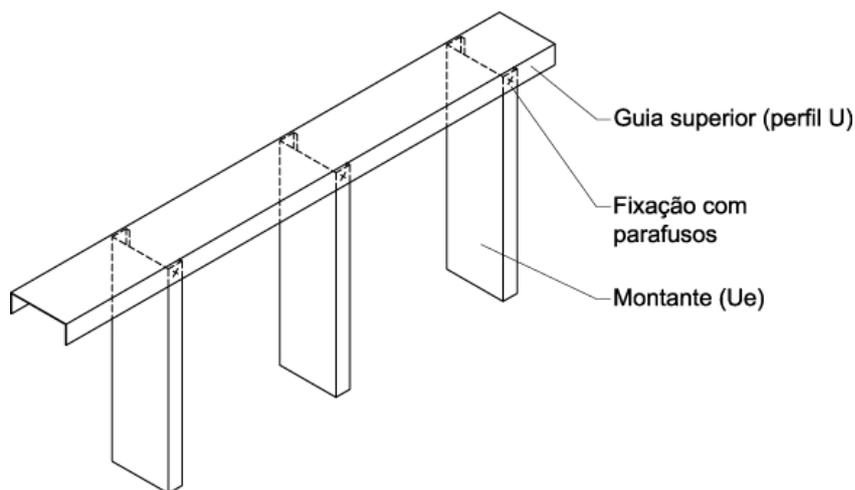


Figura 4.5 - Ligação rígida dos montantes com a guia superior

Fonte: Adaptado de SCHAFER, 2003, p.4

Quando o fechamento em LSF é executado com ligações rígidas há transmissão de carregamentos da estrutura principal, em função de seus deslocamentos, para a estrutura do painel em LSF. Como não há espaço para a movimentação independente entre essas estruturas, o acoplamento entre elas é inevitável, comprometendo a natureza secundária do fechamento. Tal comportamento deve ser levado em conta durante a concepção e o dimensionamento, tanto do fechamento quanto da estrutura principal do edifício (SCHAFER, 2003).

As ligações rígidas podem ser empregadas sem problemas em situações onde os deslocamentos previstos para a estrutura principal são pouco significativos ou quando seus elementos estruturais são dimensionados para resistir aos esforços deles decorrentes (LGSEA, 2004).

4.1.2 - ESPAÇO SUPERIOR PARA MOVIMENTAÇÃO, COM EXTREMIDADE DOS MONTANTES LIVRE E COM TRAVAMENTO HORIZONTAL

Visando permitir o deslocamento livre entre a estrutura do edifício e a estrutura do fechamento, pode-se optar pelo uso de montagem de LSF com espaço livre no topo dos montantes. Esse tipo de montagem permite a movimentação tanto vertical quanto horizontal da estrutura sem transmissão de esforços para os elementos do painel, com custo relativamente baixo (SCHAFER, 2003).

Em montagens de painéis em LSF com espaço superior para movimentação, as guias inferior e superior são fixadas à estrutura do edifício com pinos acionados à pólvora. Na parte inferior, os montantes são ligados às guias por parafusos, de modo semelhante aos painéis portantes de edificações.

A montagem da parte superior dos painéis é responsável por permitir sua trabalhabilidade dentro do quadro estrutural principal. Para tal, os montantes não são parafusados à guia superior e possuem dimensões inferiores ao vão total a ser preenchido, ficando espaçados da mesa da guia superior entre 15 e 25 mm, a ser confirmado pelo cálculo estrutural, o que requer guias de altura mínima de 50 e 75 mm, respectivamente (DIETRICH, 2007). A espessura da chapa da guia deve ser determinada em cálculo, em função da resistência às cargas concentradas transmitidas pelos montantes (LABOUBE e BOLTE, 2004).

Como os montantes não são parafusados à guia superior, a instalação de travamentos horizontais é fundamental para a garantia da integridade do painel, de modo a manter os montantes verticalmente alinhados e a restringir sua rotação. Esses travamentos podem ser executados com bloqueadores e fitas, montagens com cantoneiras e canaletas ou ainda com espaçadores especiais, conforme descritos a seguir.

4.1.2.1 - TRAVAMENTO COM BLOQUEADORES E FITAS METÁLICAS

Uma das formas de execução de travamento para montantes com extremidade superior não parafusada é por meio de bloqueadores e fitas instalados horizontalmente, o que mantém suas seções alinhadas, (Figura 4.6). Esses bloqueadores devem ficar a uma distância aproximada de 150 mm do topo do painel e são construídos com perfis Ue colocados horizontalmente entre os montantes e abraçados externamente por fitas metálicas, fixadas com o auxílio de parafusos autoperfurantes e autotarraxantes com cabeça lentilha. As fitas devem percorrer toda a extensão horizontal do painel e os bloqueadores ocorrem nas extremidades e a cada três ou quatro montantes (SSMA, 2007).

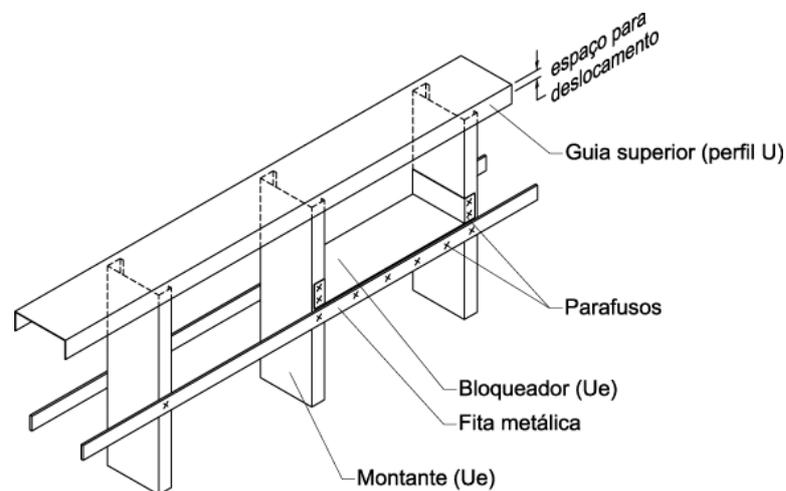


Figura 4.6 - Travamento superior com bloqueadores e fitas

Fonte: Adaptado de SSMA, 2007, p.32

O travamento com bloqueadores e fitas garante boa estabilidade a movimentos laterais e a rotação dos montantes, podendo ser executado com elementos usuais do sistema LSF, não sendo necessária a fabricação de peças ou perfis especiais. Sua execução é fácil, já que é conhecida pelos montadores por se tratar de montagem utilizada em construções portantes em LSF.

Sua desvantagem está no processo de montagem, que demanda cuidado no alinhamento vertical dos montantes durante a execução, já que estes não estão parafusados na guia superior.

4.1.2.2 - TRAVAMENTO COM CANALETAS E CANTONEIRAS

Outra forma de execução do travamento horizontal dos montantes com espaço superior para movimentação é o uso de canaletas (perfis U de pequena seção) combinados a cantoneiras (perfis L). Nesta montagem os montantes possuem furos oblongos, que podem ser previamente perfurados em fábrica ou executados no canteiro de obras com ferramentas apropriadas, e distanciados, no máximo, 400 mm do topo do painel (SSMA, 2007). Através destes furos são instaladas canaletas horizontais ao longo de todo o painel. A fixação entre canaletas e montantes é feita com cantoneiras, utilizando parafusos autotarraxantes e autoperfurantes, tanto no contato com as canaletas quanto com os montantes (Figura 4.7).

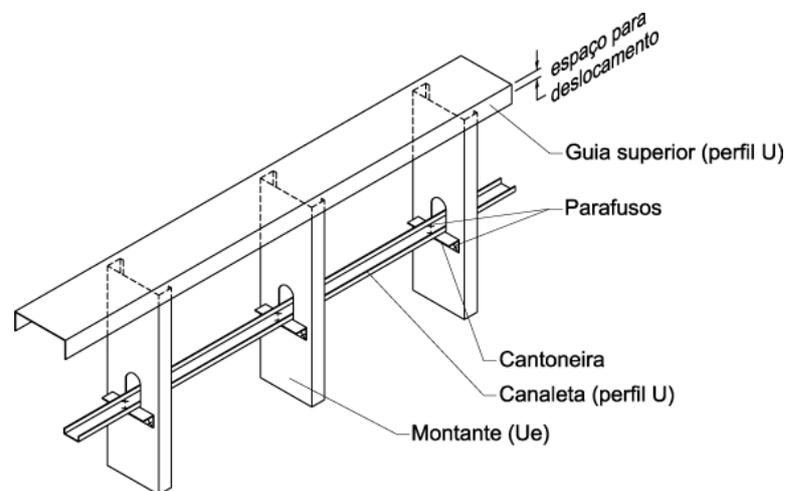


Figura 4.7 - Travamento superior com canaleta e cantoneiras

Fonte: Adaptado de SSMA, 2007, p.29

A canaleta de travamento deve ter largura de 40 mm, e a cantoneira de fixação ao montante deve ter seção de 50 x 50 mm, ambas com espessura de 1,25 mm (SCHARFF, 1996). A cantoneira deve abranger, no mínimo, 80% da dimensão da alma do montante para melhorar sua resistência à torção (SSMA, 2007). A canaleta deve ser cortada em peças de comprimento tal que garantam uma sobreposição no momento da emenda, que deve ocorrer próxima aos montantes, onde serão parafusadas às cantoneiras. Os comprimentos de 1250 a 1300 mm permitem sua utilização em modulações estruturais de 300, 400 ou 600 mm.

Assim como o travamento com bloqueadores e fitas, a instalação do painel com o uso de canaletas e cantoneiras demanda atenção no alinhamento vertical dos montantes durante a execução. A estabilidade à torção dos montantes deve ser verificada pelo cálculo estrutural, visando não necessitar do apoio das placas de acabamento externo para tal (SSMA, 2007).

4.1.2.3 - TRAVAMENTO COM ESPAÇADORES

Uma evolução técnica do travamento com combinação de canaletas e cantoneiras é o espaçador com rasgos para travamento. Para sua montagem, os montantes devem possuir furos oblongos na parte superior, distanciados até 300 mm do topo do painel. O espaçador consiste em uma cantoneira de aço galvanizado, com rasgos laterais perpendiculares que são encaixados nos furos oblongos dos montantes, sem a utilização de parafusos ou solda (Figura 4.8).

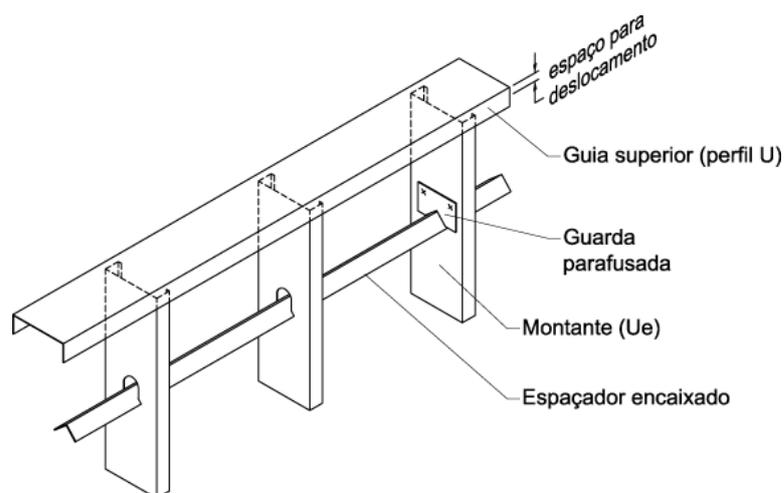


Figura 4.8 - Espaçador instalado entre montantes

Fonte: Adaptado de DIETRICH, 2007

O espaçamento entre os rasgos para encaixe é planejado de tal maneira que a mesma peça pode ser utilizada em modulações estruturais de 300, 400 ou 600 mm. As peças possuem seção de 30 mm e comprimento de 1250 mm, o que requer áreas de sobreposição entre os espaçadores ao longo do painel, devendo estas ocorrer junto aos montantes (Figura 4.9). A espessura usual dessa peça é de 1,50 mm (DIETRICH, 2007).

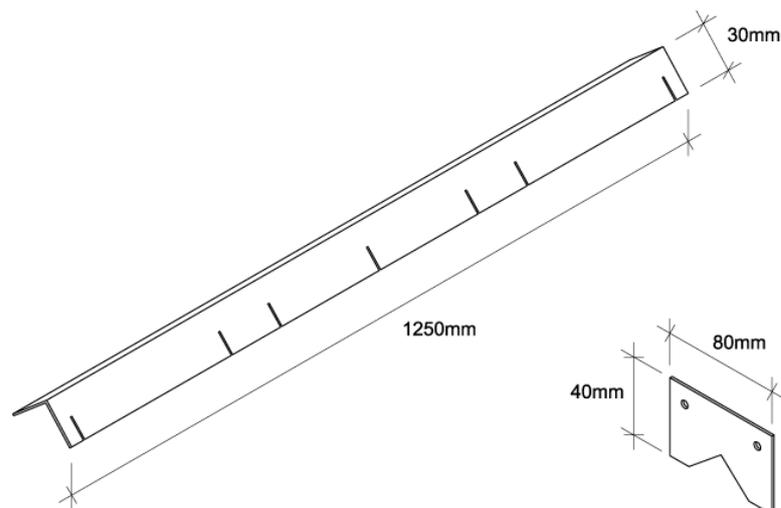


Figura 4.9 - Espaçador e guarda
Fonte: Adaptado de DIETRICH, 2007

Recomenda-se utilizar uma peça metálica de guarda, encarregada de evitar que o espaçador se desencaixe do montante quando o fechamento for submetido a carregamento ou deslocamento. Essa guarda pode ser feita com o uso de uma chapa metálica, com largura de 80 mm, altura de 40 mm e espessura de chapa de 1,50 mm, além de um rasgo triangular com dimensão similar a do espaçador na sua parte inferior para encaixe. A guarda deve ser parafusada ao montante após a instalação do espaçador (DIETRICH, 2007).

Este sistema possui como grande vantagem a rapidez na execução, quando comparado aos bloqueadores com fitas ou canaletas com cantoneiras. Grande parte desse ganho é devido ao fato da peça ser fabricada com rasgos em distâncias pré-determinadas, fazendo com que o alinhamento vertical dos montantes deixe de ser uma dificuldade.

Assim como na montagem com canaletas, o ponto fraco desse sistema está na estabilização dos montantes à rotação, que deve ser verificada em cálculo. Outro ponto a ser avaliado é o fato desta solução ser patenteada por um fabricante de LSF norte-americano, sendo necessária autorização ou modificação em sua forma para seu uso.

4.1.3 - ESPAÇO SUPERIOR PARA MOVIMENTAÇÃO, COM USO DE PEÇAS ESPECIAIS DE CONEXÃO LIGADAS À GUIA

Com o objetivo de facilitar a execução dos painéis de fechamento em LSF existem peças especiais responsáveis pela ligação dos montantes à guia superior, garantindo sua estabilidade e alinhamento, mas mantendo o espaço superior de movimentação e com isso a capacidade do painel de se adaptar aos deslocamentos da estrutura principal.

As peças de movimentação são fixadas às guias superiores por meio de parafusos autoperfurantes e autotarraxantes com cabeça lenticular em posição determinada pela modulação estrutural adotada. Apesar das diferenças na forma, o princípio de funcionamento é criar reentrâncias onde se encaixam os enrijecedores dos montantes, permitindo sua livre movimentação vertical, restringindo sua rotação e também qualquer deslocamento horizontal (Figura 4.10).

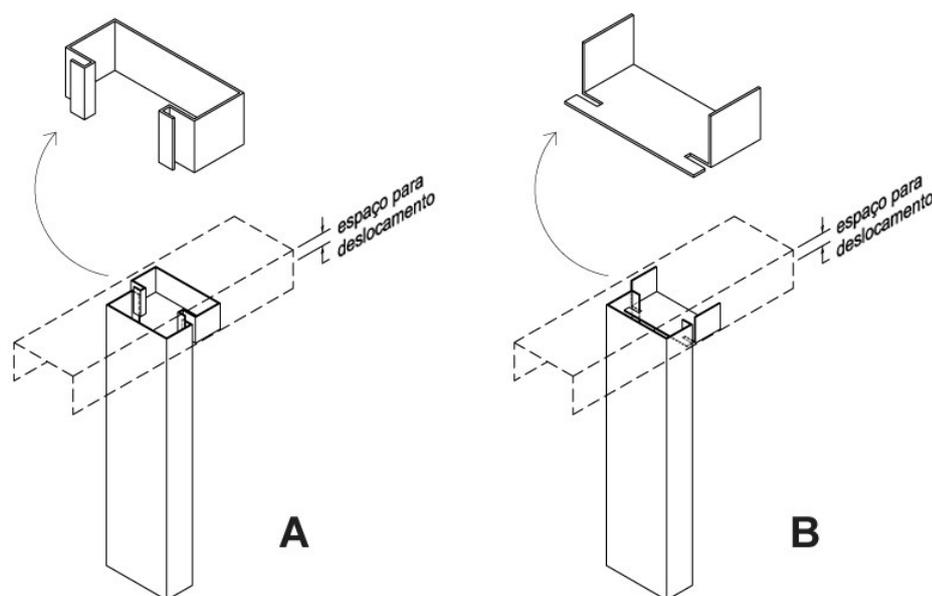


Figura 4.10 - Modelos de peças de conexão do montante à guia com movimentação
Fonte: A- Adaptado de METSEC, 2007, p.13; B- Adaptado de HADLEY GROUP, 2005, p.11

As peças apresentadas são fabricadas com chapas de aço galvanizado dobradas e cortadas, sendo viável sua produção para o uso em nosso país, mesmo em escala reduzida. Porém, estes elementos são patenteados por seus desenvolvedores, o que requer autorização para sua reprodução, ou desenvolvimento de novas formas baseadas no conceito apresentado.

A utilização de peças de movimentação permite o emprego de guias superiores com paredes mais finas, porém mantém a necessidade de altura das mesas. Com a substituição de travamentos feitos por conjuntos de elementos pelo emprego de uma peça única e pequena, há a diminuição do consumo total de material e conseqüente diminuição de custos. Estes são também reduzidos em função do menor tempo de montagem do painel em relação a outros sistemas de travamento horizontal (HADLEY GROUP, 2005).

Um ponto que merece atenção no momento do dimensionamento das peças é o fato do contato entre a peça de movimentação e o montante ser feito pelo seu enrijecedor. Deve-se adotar espessura de chapa adequada em ambas as peças para que não ocorram deformações locais nem rasgamento da chapa em função das solicitações impostas.

4.1.4 - FIXAÇÃO DA EXTREMIDADE SUPERIOR DOS MONTANTES COM CANTONEIRAS COM FUROS OBLONGOS

A utilização de cantoneiras com furos oblongos para conexão dos montantes é uma das soluções construtivas existentes no mercado para a absorção de deslocamentos verticais da estrutura principal, sem a solicitação do painel de fechamento (Figura 4.11).

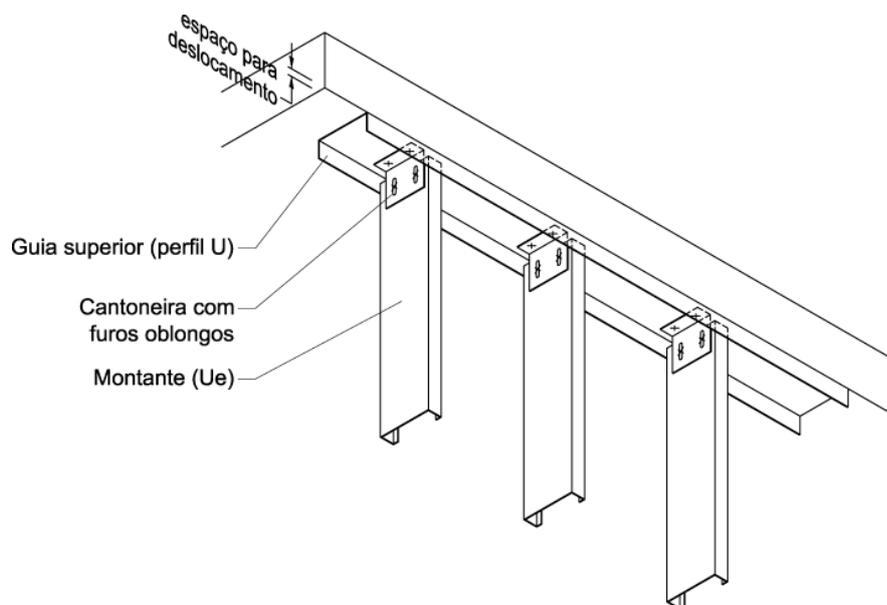


Figura 4.11 - Cantoneira superior com furos oblongos para movimentação
Fonte: Adaptado de TSN, 2006, p.26

A montagem do painel é feita com guia convencional fixada à estrutura e parafusos na parte inferior dos montantes. Na parte superior, guias convencionais de LSF são fixadas à estrutura imediatamente acima do painel. Em seguida, são instaladas cantoneiras em aço galvanizado com furos oblongos na aba vertical, distanciadas conforme a modulação estrutural planejada e fixadas à estrutura com pinos acionados à pólvora ou parafusos. A extremidade superior de cada montante é fixada à cantoneira por meio de parafusos autoperfurantes e autotarraxantes, instalados no eixo médio do furo oblongo.

Há diversos modelos de cantoneiras para fixação de montantes e absorção de deslocamentos nos painéis oferecidas nos mercados onde o fechamento em LSF é popular.

Um dos modelos de cantoneira, que absorve tanto deslocamentos horizontais quanto verticais, é fabricado a partir de chapa de aço galvanizado com espessura de 2,60 mm (Figura 4.12 A). As abas da cantoneira são iguais e possuem 80,0 mm com dois furos oblongos de largura 6 mm e 45 mm de comprimento em cada uma. Os furos oblongos acomodam deslocamentos de até 40 mm, sendo 20 mm em cada sentido, tanto na aba vertical (em contato com o montante) quanto na horizontal (em contato com a estrutura do edifício) (TSN, 2006).

As cantoneiras utilizadas nessa montagem podem ser executadas com frisos enrijecedores perpendicularmente à dobra. Os frisos são responsáveis por aumentar a resistência da cantoneira a esforços aplicados perpendicularmente ao painel, permitindo que sejam utilizadas chapas mais finas, mais facilmente encontradas no mercado brasileiro. Quando não está prevista a absorção dos deslocamentos horizontais da estrutura, a cantoneira pode ser executada com furos comuns em uma das abas, que pode ser mais curta que a outra onde estão os furos oblongos (Figura 4.12 B). Podem também haver mais furos oblongos ou comuns nas abas, dependendo de seu tamanho ou do dimensionamento de cada conexão.

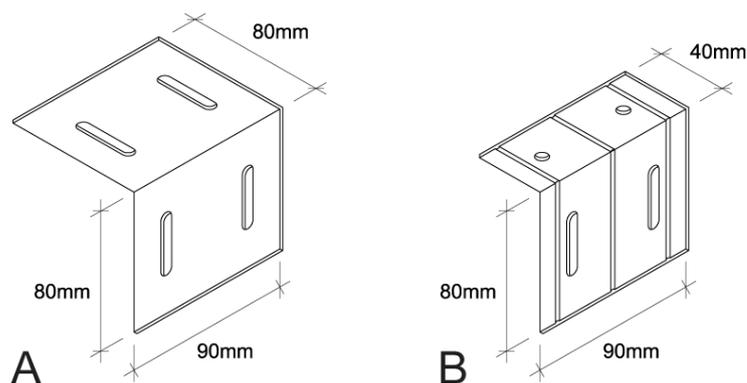


Figura 4.12 - Cantoneiras de fixação superior de montantes
 A- Cantoneira com furos oblongos em ambas as abas. B-Cantoneira com frisos enrijecedores e sem absorção deslocamentos horizontais

Fonte: Adaptado de TSN, 2006

A montagem de painéis de fechamento externo em LSF utilizando cantoneiras com furos oblongos para a conexão da extremidade superior dos montantes permite, com facilidade, a absorção de deslocamentos verticais e horizontais. Esse sistema, porém, não possibilita a execução prévia dos painéis, uma vez que a fixação das cantoneiras deve ser feita no elemento estrutural do edifício.

O uso de cantoneiras na montagem apresentada possibilita a execução do painel sem a guia superior, gerando economia de material. Porém é importante considerar que a falta da guia superior pode prejudicar a montagem dos acabamentos desses painéis, que normalmente são nela parafusados.

A fixação das cantoneiras à estrutura principal do edifício deve ser avaliada pela equipe de cálculo estrutural, uma vez que, caso se opte pela utilização de pinos acionados à pólvora, o pequeno espaçamento entre eles pode prejudicar a integridade do substrato, especialmente em estruturas de concreto. A utilização de parafusos é também uma opção para a fixação das cantoneiras, porém sua instalação é mais lenta e trabalhosa.

4.1.5 - GUIA SUPERIOR DUPLA

A montagem de painéis de fechamento em LSF com guia superior dupla visa permitir o deslocamento livre entre a estrutura principal do edifício e a estrutura do painel. Como não há conexão entre as guias superiores, tanto os deslocamentos horizontais quanto os verticais são bem acomodados (SCHAFER, 2003).

Na montagem de painéis de LSF utilizando guia superior dupla para absorção de deslocamentos, a guia externa, chamada guia de movimentação, é instalada primeiro, conectada à estrutura principal do edifício. O painel de fechamento propriamente dito deve ser montado como um painel convencional de LSF, com ligações rígidas entre montantes e guias executadas com parafusos autotarraxantes e autoperfurantes, podendo ser montado no local ou em fábrica e transportado para a obra. Com a guia de movimentação instalada e o painel pronto, este é posicionado, de forma que sua guia superior fique interna à guia de movimentação (DIETRICH, 2007).

Após o encaixe do painel em LSF não deve haver nenhuma ligação entre a guia de movimentação e a guia superior do painel. Para o funcionamento correto da montagem, a guia superior do painel deve possuir mesas com dimensões grandes o suficiente para que os parafusos que a ligam aos montantes não interfiram na liberdade de movimentação do conjunto (SSMA, 2000). Para isso, a distância entre a cabeça do parafuso e a borda inferior da mesa da guia de movimentação deve ter a mesma grandeza do deslocamento estimado para a estrutura principal (Figura 4.13).

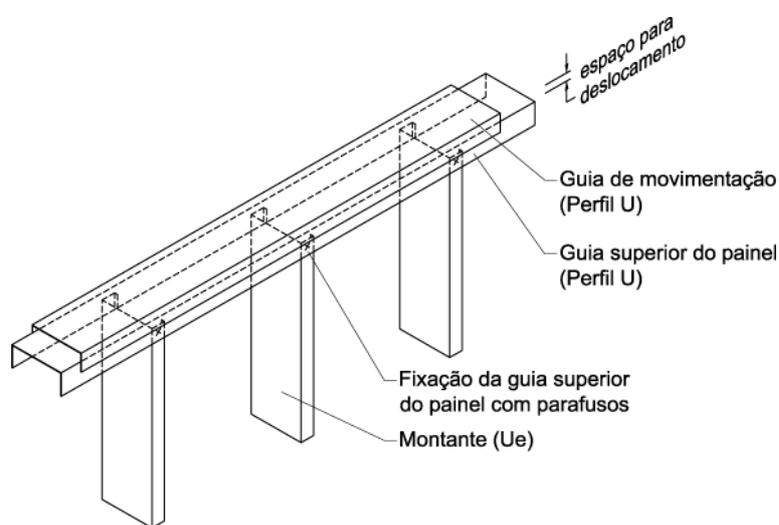


Figura 4.13 - Montagem com guia dupla

Fonte: Adaptado de SSMA, 2000, p.1

A mesa da guia de movimentação, para garantir sua correta interação com a guia superior do painel, deve ter dimensão igual ao espaço de movimentação (deslocamento previsto para a estrutura principal), acrescido de 25 mm, para edifícios de um pavimento, e duas vezes o deslocamento previsto acrescido de 25 mm para os demais

casos (SSMA, 2000). A espessura de chapa da guia de movimentação varia de 0,80 a 2,50 mm, conforme o dimensionamento (DIETRICH, 2007).

Já a guia superior do painel, para garantir que os parafusos de fixação dos montantes não interfiram na movimentação vertical do conjunto, deve ter altura de mesa igual ao espaço de movimentação previsto acrescido de 40 mm, para edifícios de um pavimento, e duas vezes o deslocamento calculado acrescido de 40 mm, para os demais casos (SSMA, 2000).

Como na montagem com guia dupla a extremidade dos montantes está parafusada à guia superior do painel, a sua estabilização à rotação é eficiente. Além disso, a transmissão das cargas horizontais do painel para a guia de movimentação ocorre de forma uniformemente distribuída, resultando em uma guia mais fina quando comparada àquela utilizada na montagem com extremidade dos montantes livre (SSMA, 2000).

Dentre as desvantagens da montagem com guia superior dupla está a necessidade de execução de peças especiais, que encarecem o sistema. A guia superior do painel deve ter mesas mais longas que o usual e a guia de movimentação possui dimensões de alma e espessura de chapa maiores que as usuais do sistema LSF. Apesar de especiais, essas peças são de fácil fabricação.

Deve ser dada atenção ao ponto de encontro entre as guias, pois a maior espessura resultante da duplicidade de chapas pode levar a distorções na instalação das placas de acabamento do painel (SCHAFER, 2003).

4.1.6 - MONTANTE COM FUROS OBLONGOS NA EXTREMIDADE SUPERIOR

Uma das possibilidades de execução de painéis de LSF com capacidade de absorver os deslocamentos da estrutura principal, sem transmiti-los à estrutura do painel, é o emprego de montantes com furos oblongos na extremidade superior de suas mesas (STEELER, 2003).

A montagem do painel utilizando esse tipo de montante é feita com guias inferiores comuns, parafusadas aos montantes e fixadas à estrutura do edifício. Os montantes são

cortados mais curtos que o vão vertical total do painel, deixando espaço superior para movimentação. A guia superior deve ter mesas maiores que o usual e é fixada à estrutura principal (Figura 4.14).

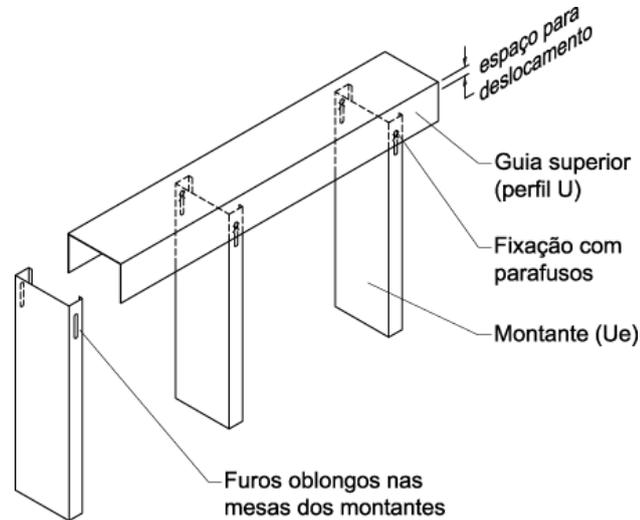


Figura 4.14 - Montantes com furos superiores oblongos

Fonte: Adaptado de STEELER, 2003, p.2

Os parafusos de ligação entre a guia superior e os montantes são fixados a 10 mm da borda inferior da mesa da guia, de modo a atravessar o furo oblongo do montante em seu eixo vertical. O furo oblongo tem altura de duas vezes o deslocamento previsto, para permitir a movimentação vertical da estrutura (STEELER, 2003).

Esse sistema tem como vantagem a facilidade de execução, uma vez que seu processo de montagem é similar ao de painéis portantes convencionais. Porém, a necessidade de alinhamento dos furos oblongos nas extremidades superiores dos montantes requer atenção na execução.

A ligação entre a guia superior e o montante é um ponto frágil do sistema, visto que o parafuso não tem nenhuma fixação ao montante. Em caso de solicitação horizontal excessiva em que a guia se deforme, o parafuso pode se desencaixar do furo oblongo do montante, levando o painel ao colapso.

4.1.7 - GUIA SUPERIOR COM FUROS OBLONGOS

A montagem com guia superior com furos oblongos visa à execução de painéis de LSF com maior facilidade e rapidez, mas sem deixar de lado a necessidade de absorção dos deslocamentos da estrutura.

A montagem de painéis utilizando esse sistema é similar à execução de um painel com ligações rígidas. A guia inferior é fixada à macroestrutura e parafusada aos montantes do mesmo modo que em painéis portantes convencionais. As extremidades dos montantes são ligadas à guia superior também através de parafusos autoperfurantes e autotarraxantes, e esta guia é fixada à estrutura do edifício com pinos acionados à pólvora ou parafusos. O diferencial deste painel está na forma da guia superior, que possui furos oblongos verticais em toda a extensão de suas mesas, onde os parafusos de conexão com os montantes devem ser instalados para permitir a movimentação do conjunto (Figura 4.15). As demais peças são as mesmas utilizadas em painéis comuns do sistema LSF.

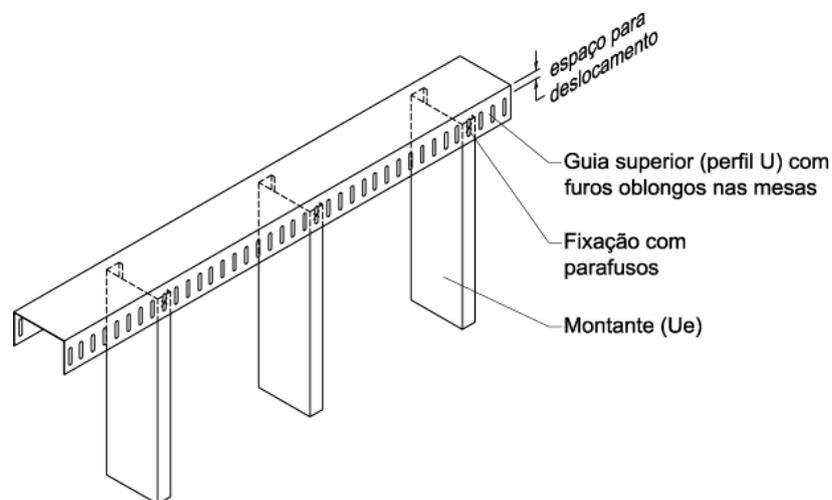


Figura 4.15 - Guia superior com furos oblongos
Fonte: Adaptado de SCHAFER, 2003, p.6

As guias superiores com furos oblongos possuem dimensão de alma similar às guias comuns para adaptação às peças convencionais, altura de mesas de 65 mm e espessura de chapa variando de 0,80 mm a 1,75 mm, conforme dimensionamento. Os furos estão espaçados longitudinalmente em ambas as mesas a cada 25 mm, possuem largura de 6 mm e altura de 40 mm, e estão centrados verticalmente na mesa (Figura 4.16). A

execução da guia com essas dimensões permite montagens capazes de absorver deslocamentos de até 25 mm e o espaçamento entre furos permite adaptação a diversas modulações estruturais sem necessidade de descarte de partes da guia e conseqüente desperdício de material (DIETRICH, 2007).

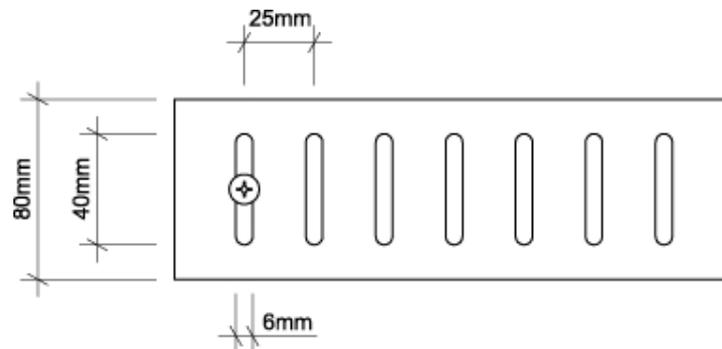


Figura 4.16 - Dimensões dos furos oblongos nas mesas da guia superior

Fonte: Adaptado de SCAFCO, 2007, p.2

Na execução do painel, para garantir a performance do conjunto frente aos deslocamentos da estrutura, é importante que o parafuso de ligação entre guia e montantes seja instalado no eixo vertical do furo oblongo, permitindo deslocamentos de mesma grandeza para baixo e para cima. Além disso, a distância entre o topo do montante e a alma da guia, que é o espaço de movimentação do conjunto, deve ser de no mínimo 12,5 mm (SCAFCO, 2007).

Dentre as vantagens da utilização de guia superior com furos oblongos está a evidente independência entre os deslocamentos verticais da estrutura principal e da estrutura do painel. Além disso, a extremidade superior dos montantes é travada lateralmente, evitando problemas com a rotação dos perfis (SCHAFER, 2003). A execução de fechamentos com esse sistema é fácil, rápida e utiliza os mesmos elementos e o mesmo princípio de montagem de painéis convencionais, que podem ser executados em fábrica e transportados para a obra, desde que exista travamento provisório por meio de fitas metálicas em suas faces. A montagem com guia superior com furos oblongos não permite absorver o deslocamento horizontal da estrutura (SCHAFER, 2003).

4.1.8 - MOVIMENTAÇÃO NA EXTREMIDADE INFERIOR DO PAINEL

Nos painéis de fechamento onde é necessária a execução de ligações que permitam a movimentação da estrutura, estas normalmente ocorrem na parte superior do painel, devido à maior facilidade de execução. Em casos pouco comuns pode ser necessária a execução de ligações permitindo a movimentação na parte inferior do painel. Essas situações ocorrem em reformas de edificações existentes, quando a estrutura ou laje inferior ao novo fechamento não é capaz de suportar as cargas da nova construção.

Nesses casos, a guia superior é conectada a uma estrutura capaz de resistir aos esforços dimensionados, e a ligação dos montantes com essa guia deve ser feita por meio de parafusos que não permitam seu deslocamento. Essa conexão deve ser dimensionada para ser capaz de suportar, além dos esforços horizontais, todo o peso próprio do painel e de seus acabamentos. Na parte inferior deve ser utilizado detalhe construtivo que permita o deslocamento, como guias duplas, guias com furos oblongos, travamento horizontal dos montantes, etc. (LGSEA, 2004).

Construtivamente, a execução desse tipo de fechamento é muito complicada, pois os montantes do painel devem ficar suspensos, deixando livre abaixo deles o vão de movimentação, até que sejam parafusados à guia superior, que os conecta a estrutura.

4.1.9 - AVALIAÇÃO CRÍTICA DAS MONTAGENS EMBUTIDAS

A Tabela 4.1 apresenta de forma resumida as principais características dos diversos modos de montagem apresentados para painéis externos embutidos executados com LSF. Este resumo serve para orientar profissionais de projeto e construtores na tomada de decisão sobre qual método possui as características desejáveis e mais indicadas para as diversas situações de projeto existentes.

Dentre as alternativas de montagem do fechamento em LSF embutido, que permitem o deslocamento vertical livre da estrutura principal, duas se destacam como mais interessantes para a maioria das situações: a guia superior com furos oblongos (Figura 4.15) e o travamento de montantes com extremidade superior livre usando bloqueadores e fitas metálicas (Figura 4.6).

A guia superior com furos oblongos se destaca pela rapidez e precisão de execução, resultado da facilidade na montagem do painel e no alinhamento vertical dos montantes, além da possibilidade de execução do painel previamente fora da obra. Já a montagem com extremidade superior livre e travamento por bloqueadores e fitas se mostra como a alternativa mais interessante dentre aquelas que não necessitam de peças especiais, pois trava lateralmente os montantes de forma eficiente e é conhecida pelos montadores, já que é uma montagem usual mesmo em edificações térreas.

Tabela 4.1 - Resumo das características das montagens de painéis de fechamento embutidos em LSF

Características Método de montagem	Absorve deslocamentos verticais	Absorve deslocamentos horizontais	Não requer peças especiais	Painéis executados na obra	Painéis executados previamente fora da obra	Dificuldade no alinhamento vertical dos montantes	Boa estabilização dos montantes à rotação
Ligação rígida	N	N	S	S	S	N	S
Espaço superior para movimentação Travamento com fitas e bloqueadores	S	N	S	S	N	S	S
Espaço superior para movimentação Travamento com canaletas e cantoneiras	S	N	S	S	N	S	N
Espaço superior para movimentação Travamento com espaçadores	S	N	N	S	N	N	N
Espaço superior para movimentação Travamento com peças especiais	S	N	N	S	N	N	S
Extremidade superior dos montantes com cantoneiras com furos oblongos	S	S	N	S	N	N	S
Guia superior dupla	S	S	N	S	S	N	S
Montantes com furo oblongo na extremidade superior	S	N	N	S	N	S	N
Guia superior com furos oblongos	S	N	N	S	S	N	S

Legenda: S – Característica presente, N – Característica Ausente

4.2 - PAINÉIS CONTÍNUOS DE FACHADA

Os fechamentos para fachadas em LSF podem ser executados como Painéis Contínuos externos, que são aqueles concebidos como uma “pele de revestimento” para o edifício independente dos quadros de sua estrutura principal, conhecidos também como Painéis Cortina (Figura 4.17). Assim como no método embutido, os painéis contínuos de fachada não possuem função estrutural no edifício, sendo responsáveis apenas por resistir às cargas de vento, ao seu peso próprio e dos acabamentos de fachadas.

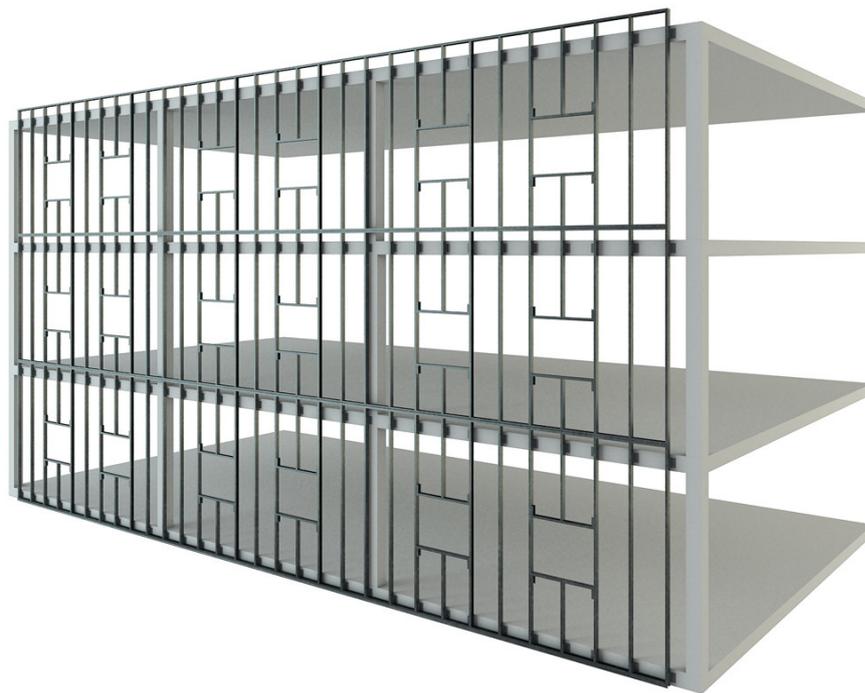


Figura 4.17 - Vedação em LSF - Método contínuo

O sistema de painéis contínuos oferece a vantagem de maximizar o aproveitamento da área interna do edifício, uma vez que não ocupa espaço na laje executada. Além disso, permite o alinhamento vertical da fachada independente da estrutura, especialmente útil em casos onde o cálculo estrutural indica a utilização de vigas e pilares com seções diferentes, ou em situações em que, pelo processo de execução, o prumo e o alinhamento da estrutura não são muito exatos.

O fechamento contínuo pode ser utilizado em edificações com estrutura de aço (Figura 4.18) ou concreto, e ainda no *retrofit* de fachadas de edificações existentes, como no

edifício comercial carioca mostrado na Figura 4.19, que recebeu uma nova escada com estrutura de aço e fechamento em LSF.



Figura 4.18 - Montagem de painel contínuo de fachada. Centro de vivência, New Castle, Inglaterra.

Fonte: METSEC, 2007



Figura 4.19 - Execução de painel contínuo em *retrofit* de edifício comercial. Rio de Janeiro, RJ

Fonte: FLASAN, 2008

Os painéis contínuos, quando executados em edifícios de até três pavimentos, são construídos com montantes contínuos que vão da base ao topo da construção. Nesse caso, a altura máxima indicada é de 12 m, por questões de transporte e manuseio das peças em obra. As conexões entre os montantes dos painéis e a estrutura do edifício são não-rígidas, ou seja, feitas por peças especiais que resistem às cargas horizontais, mas deixam livre o caminhamento vertical das cargas (Figura 4.20). Dessa forma, todo o carregamento vertical é diretamente transmitido à fundação (LGSEA, 2004).

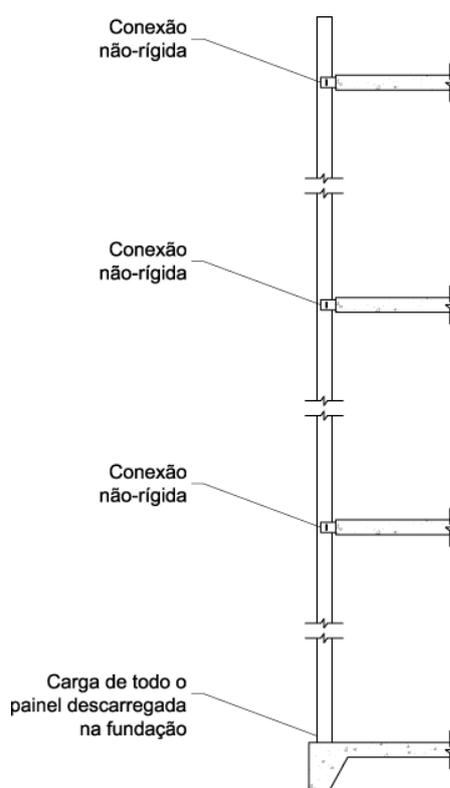


Figura 4.20 - Painel com montante contínuo da base ao topo do edifício
Fonte: Adaptado de LGSEA, 2004, p.6

No caso de edifícios de maior porte, pode-se executar a vedação com painéis de LSF divididos em partes, com altura normalmente de dois pavimentos, facilitando o transporte e manejo das peças na obra (LGSEA, 2004).

Quando os painéis são divididos no sentido da altura, uma das opções de execução é a montagem dos painéis “empilhados” uns sobre os outros, transferindo as cargas verticais para o painel imediatamente abaixo e posteriormente para a fundação ou para estruturas intermediárias de apoio. Os montantes são ligados à estrutura do edifício por

conexões não-rígidas, que são aquelas com peças que transferem as cargas horizontais para as vigas ou lajes em cada um dos pavimentos, e não são responsáveis por resistir às cargas verticais. As interfaces horizontais entre painéis são executadas de forma rígida (Figura 4.21).

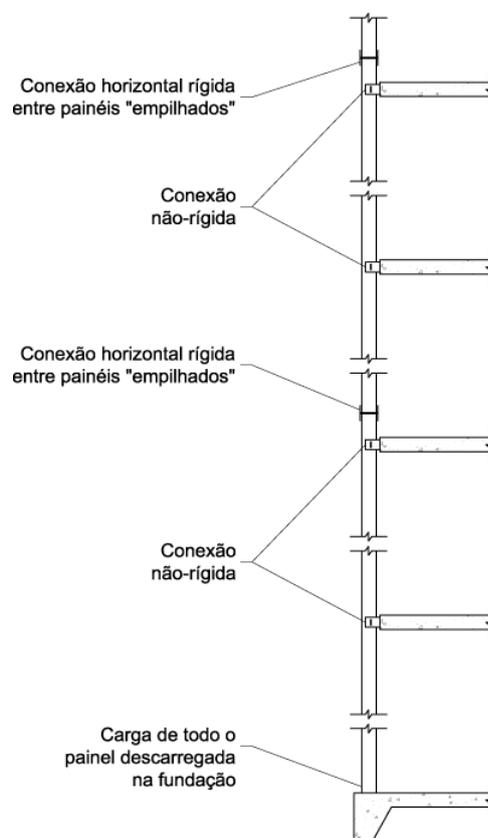


Figura 4.21 - Painel dividido verticalmente, utilizando conexões não-rígidas em todos os pavimentos

Fonte: Adaptado de LGSEA, 2004, p.6

A vedação contínua de edifícios altos também pode ser executada com painéis com altura de dois pavimentos sustentados por uma ligação rígida (responsável por resistir tanto às cargas horizontais quanto verticais) e uma ligação não-rígida (que permite a movimentação vertical e resiste a solicitações horizontais) alternadamente entre os pavimentos. Na interface entre painéis, a conexão deve ser feita de modo não-rígido, para não permitir a continuidade de cargas verticais entre eles (Figura 4.22).

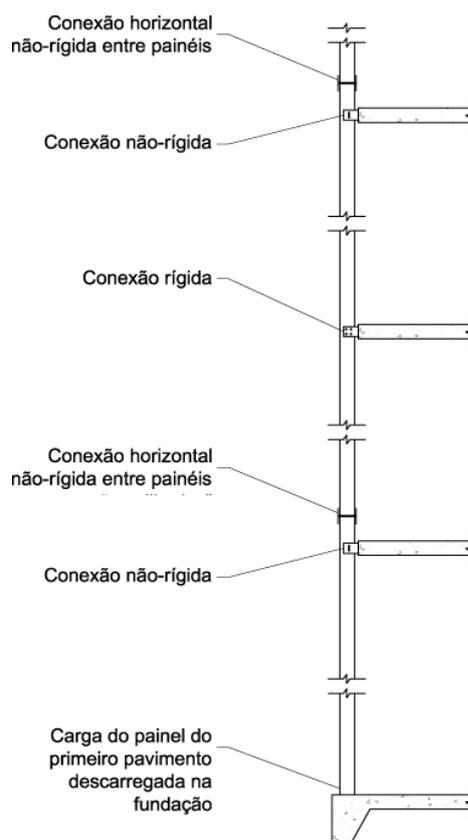


Figura 4.22 - Painel dividido verticalmente, utilizando conexões rígidas e não-rígidas alternadamente

Fonte: Adaptado de LGSEA, 2004, p.2

Em casos onde os deslocamentos previstos são pequenos ou os montantes e as conexões são dimensionados para resistir aos esforços decorrentes da movimentação entre a estrutura principal do edifício e a do fechamento, os painéis contínuos também podem ser executados com todas as ligações rígidas na conexão com a estrutura principal do edifício, assim como ocorre com o fechamento em painéis embutidos na estrutura.

A ligação das peças de fixação dos painéis de fechamento contínuos com a estrutura do edifício é executada com pinos acionados à pólvora, parafusos ou solda. Nos casos de emprego de parafusos ou pinos é comum que a fixação seja realizada na borda da laje em concreto, especialmente nas edificações com estrutura metálica em perfis I. Quando isso ocorre, recomenda-se a instalação de uma cantoneira metálica contínua ao longo de toda a borda da laje, com o objetivo de garantir que a penetração dos pinos ou parafusos não comprometa a integridade do concreto (Figura 4.23). A espessura dessa cantoneira deve ser de 5 a 10 mm (LGSEA, 2001a).

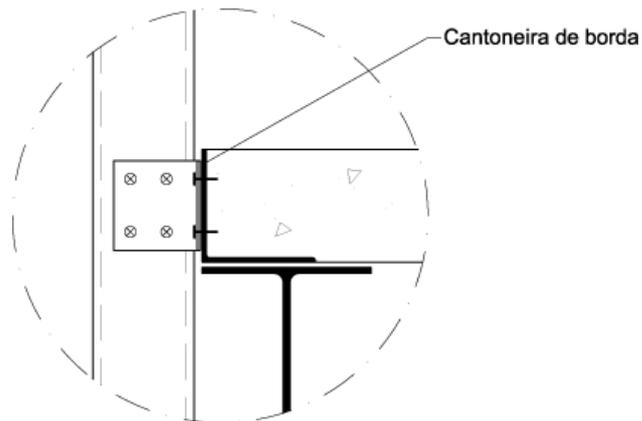


Figura 4.23 - Cantoneira de reforço de borda de laje em concreto

Quando há opção pelo uso de apoio intermediário para os painéis, este pode ser feito com a laje do pavimento se projetando além da viga, de modo a apoiar o painel e permitir que ele envolva as vigas e pilares. Outra possibilidade de estrutura para apoio intermediário é o uso de uma cantoneira em aço galvanizado, contínua em toda a extensão do painel a ser suportado e fixada à estrutura principal do edifício (Figura 4.24). A fixação da guia inferior do painel à cantoneira de apoio intermediário é feita com parafusos estruturais e a fixação da cantoneira inferior à estrutura principal do edifício, com pinos acionados à pólvora ou parafusos (METSEC, 2007).

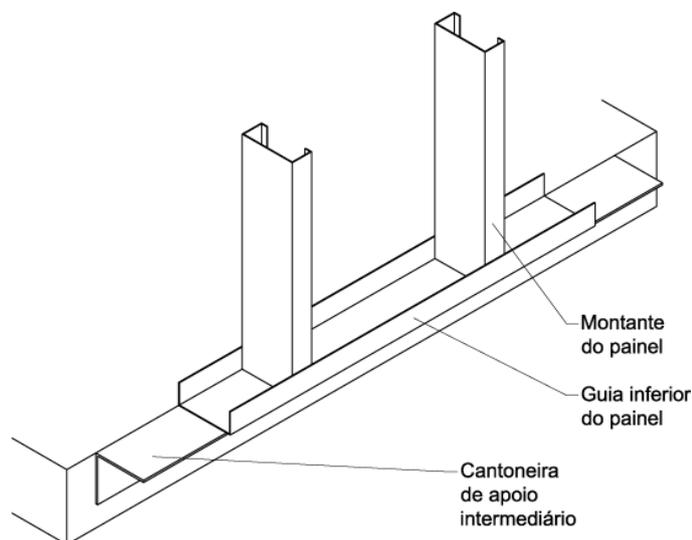


Figura 4.24 - Detalhe para fixação inferior do painel contínuo

Fonte: Adaptado de METSEC, 2007, p.14

4.2.1 - LIGAÇÕES RÍGIDAS

As ligações rígidas são responsáveis por resistir às cargas horizontais impostas ao fechamento e também aos carregamentos verticais decorrentes do peso próprio dos painéis e seus acabamentos. São normalmente utilizadas em combinação com ligações que permitem a movimentação vertical dos montantes, mas podem também ser empregadas em todas as conexões do painel com a estrutura, desde que tanto as ligações quanto as peças do painel sejam dimensionados para tal.

A execução das ligações rígidas com cantoneiras apresenta grande adaptabilidade, visto que a gama de cantoneiras disponíveis no mercado é grande. Além disso, pode-se facilmente executar uma peça especial, em virtude da necessidade de maior espessura de chapa ou dimensão extra para atender às demandas do cálculo estrutural.

Há vários modelos de cantoneiras oferecidos no mercado, específicas para fixação rígida dos montantes da estrutura do fechamento em LSF à estrutura principal. Dois destes modelos, ilustrativos de seus conceitos e variações, são apresentados a seguir.

O modelo mais simples é uma cantoneira comum, extrudada ou fabricada a partir de chapa de aço galvanizado dobrada, com espessuras de 1,50 mm, 1,75 mm e 2,50 mm. As abas da cantoneira são iguais, com largura de 40 mm, e seu comprimento varia em função da altura da viga e do cálculo estrutural (Figura 4.25) (DIETRICH, 2007).

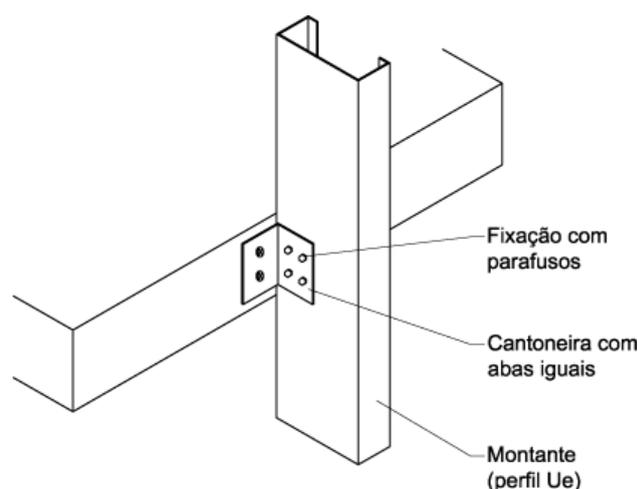


Figura 4.25 - Conexão rígida entre montante e estrutura executada com cantoneira comum

Fonte: Adaptado de DIETRICH, 2007

A conexão das cantoneiras com a estrutura do edifício pode ser feita com pinos acionados à pólvora, parafusos ou solda. A conexão com os montantes deve ser feita com parafusos estruturais autoperfurantes e autotarraxantes. A quantidade de pinos ou parafusos deve ser determinada em cálculo, em função de suas resistências ao cisalhamento, sendo estes posicionados na cantoneira de modo simétrico, começando pelas extremidades superior e inferior em direção ao centro.

Este modelo de cantoneira de fixação possui a vantagem de ser executada a partir de peças comuns do sistema LSF, facilmente encontradas no mercado. Porém, a interação da cantoneira com o montante pode causar solicitação por momento fletor, em ambas as peças, em virtude da conexão se realizar de modo assimétrico em relação ao eixo da mesa do montante. Deve haver preocupação com este fato no momento do dimensionamento da estrutura do painel.

Uma variação dessa solução é o emprego de cantoneira em aço galvanizado com comprimentos diferentes em cada uma das abas. Para aumentar a resistência da peça e permitir o uso de chapas mais finas em sua fabricação pode haver frisos enrijecedores perpendiculares à dobra da cantoneira ou dobras de enrijecimento nas bordas horizontais (Figura 4.26).

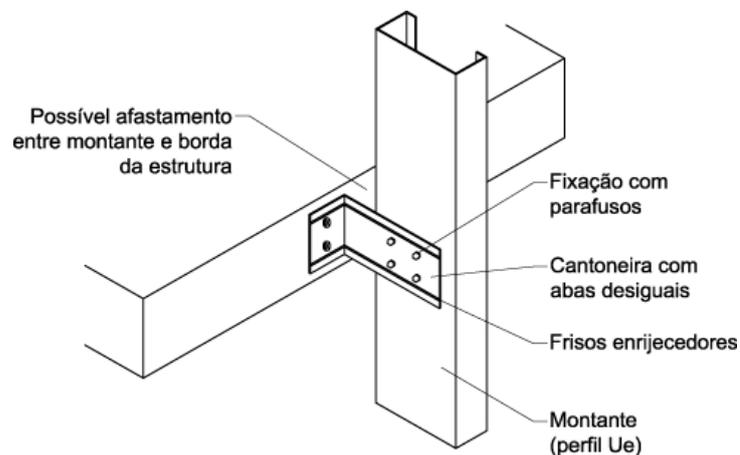


Figura 4.26 - Ligação rígida com cantoneira de aba longa

Fonte: Adaptado de TSN, 2006

Essa cantoneira possui altura aproximada de 125 mm, podendo variar em virtude de cálculo estrutural, e sua aba menor, que é utilizada para fixação à estrutura principal do edifício, possui 40 mm. A aba mais longa é o ponto de fixação ao painel de LSF,

possuindo comprimento correspondente à largura da mesa desse montante somada ao eventual afastamento que se queira executar entre o painel e a estrutura do edifício.

Uma das vantagens do uso de cantoneira com abas desiguais está na transmissão da solicitação vertical aos montantes no eixo de sua alma, o que diminui os efeitos de momento fletor nas peças do painel. Esse modelo de cantoneira permite ainda o alinhamento dos montantes do painel em casos onde as vigas e pilares possuem seções diferentes ao longo do edifício. O emprego dos frisos enrijecedores confere maior capacidade resistiva à cantoneira. A necessidade de execução de peça específica para essa montagem e o conseqüente aumento de custo em relação à cantoneira de abas iguais são suas desvantagens.

No caso da estrutura principal do edifício possuir vigas de aço em perfis I, é necessário que a aba mais longa da cantoneira possua comprimento suficiente para que ela possa ser conectada à alma do perfil I. Pode-se também fixar a cantoneira na face lateral da laje em concreto, com a utilização de cantoneira de borda.

4.2.2 - LIGAÇÕES NÃO-RÍGIDAS CONECTADAS ÀS ALMAS DOS MONTANTES

As ligações não-rígidas que permitem a movimentação vertical dos painéis de fechamento em LSF são responsáveis por garantir a natureza secundária, do ponto de vista estrutural, do fechamento em relação ao edifício.

As peças utilizadas nas ligações não-rígidas dos montantes ao quadro da estrutura principal possuem a função estrutural de resistir apenas às cargas horizontais de vento. As cargas verticais (peso próprio do painel e seus acabamentos, esquadrias, etc.) devem ser transmitidas diretamente às fundações, no caso de edifícios de pequeno porte, e no caso de edifícios maiores, às estruturas auxiliares especialmente projetadas e calculadas para este fim, ou, ainda, às ligações rígidas (SCHAFER, 2003).

A utilização de cantoneiras para a execução das ligações com movimentação vertical, nos painéis contínuos de LSF, possui como vantagem sua grande capacidade de adaptação às diversas solicitações estruturais e posições de montagem. Tal adaptabilidade é função da variedade de dimensões que as cantoneiras possuem, além

do fato de a fabricação de cantoneiras especiais (com maior espessura, frisos de enrijecimento, maior comprimento dos furos oblongos, dimensão maior das abas, etc.) não representar grande dificuldade.

A ligação com cantoneiras não permite o deslocamento horizontal do painel, sendo necessária a avaliação da grandeza dessa sollicitação para que os perfis do fechamento sejam dimensionados para resistir aos esforços dela advindos, sem comprometer seu desempenho e integridade estrutural.

O modelo básico de cantoneira com liberdade de movimentação vertical é fabricado em chapa de aço galvanizado com espessura de 1,75 mm. O comprimento da cantoneira é de 125 mm e suas abas possuem 40 mm e 150 mm (LGSEA, 2004).

A fixação da cantoneira à estrutura principal do edifício é feita pela aba menor, com o uso de pinos acionados à pólvora, parafusos ou solda. A aba maior é usada para fixação do perfil do painel de fechamento, e seu comprimento pode variar em função da dimensão da mesa dos montantes e de eventual afastamento em relação à estrutura principal do edifício (Figura 4.27).

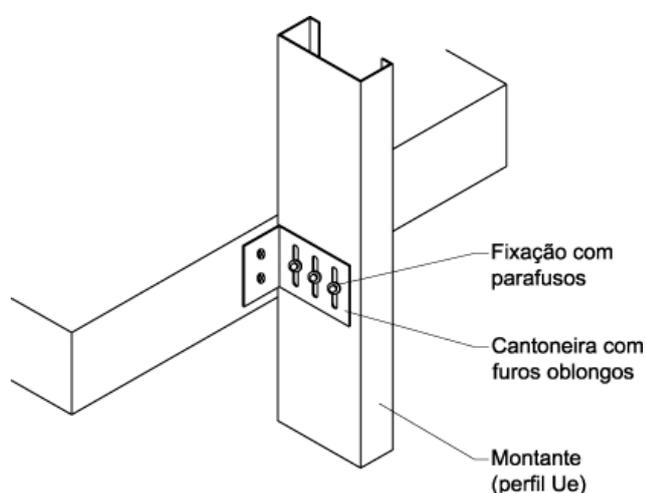


Figura 4.27 - Cantoneira com movimentação vertical

Fonte: Adaptado de LGSEA, 2004, p.5

Na aba em contato com o perfil do painel existem dois ou três furos oblongos verticais, dependendo da largura do montante. Esses furos oblongos têm o papel de permitir a movimentação da estrutura da vedação independente da estrutura principal. Seu

comprimento de 40 mm permite um deslocamento de 20 mm para cima ou para baixo. A fixação do montante à cantoneira é feita com parafusos estruturais autoperfurantes e autotarraxantes.

Diversos modelos de cantoneira com movimentação vertical existem no mercado, mas todos possuem os mesmos princípios básicos de funcionamento apresentados. A sua espessura deve ser confirmada em cálculo estrutural, buscando utilizar aço com até 2,00 mm de espessura, pois acima desta dimensão há pouca disponibilidade de bobinas de aço galvanizado no Brasil, se fazendo necessária a galvanização da peça sob encomenda, o que encarece o processo.

Dentre as variações existentes está o uso de dobras para enrijecimento nas extremidades ou frisos enrijecedores perpendiculares visando aumentar sua resistência, ou ainda o emprego de furos oblongos na aba menor, usados para ajudar no posicionamento e alinhamento das cantoneiras. Há, também, modelos com um furo horizontal na face em contato com o montante, que é utilizado apenas para alinhamento inicial e ajuste do prumo da estrutura, sendo que os parafusos ali usados devem ser removidos após a montagem completa dos painéis (Figura 4.28).

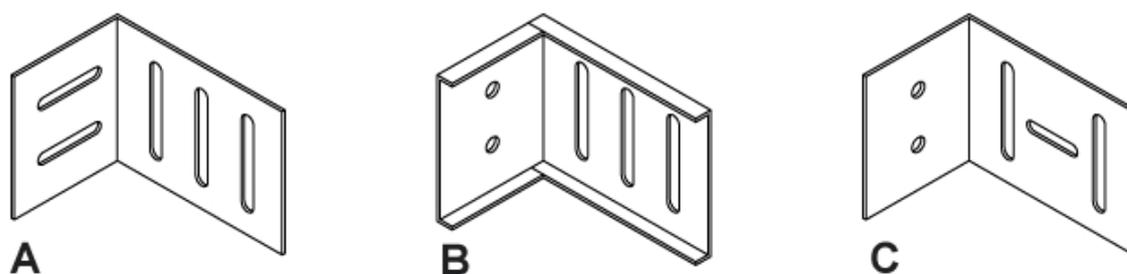


Figura 4.28 - Variações de cantoneira de fixação: A- Furos oblongos na conexão com estrutura principal; B- Dobras para enrijecimento nas bordas; C- Furo horizontal para alinhamento do montante
Fonte: A e B- Adaptado de TSN, 2006, p.23; C- Adaptado de HADLEY GROUP, 2005, p.10

Outra possibilidade de execução de ligações que permitem a movimentação vertical entre montantes de painéis contínuos e a estrutura principal do edifício é o uso de cantoneiras conectadas à face inferior das vigas (Figura 4.29).

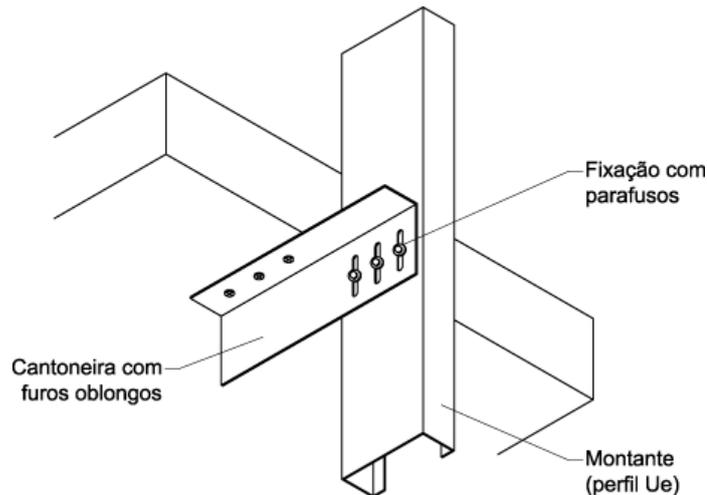


Figura 4.29 - Cantoneira de movimentação fixada à face inferior da estrutura
 Fonte: Adaptado de LGSEA, 2004, p.5

Nesta montagem, a cantoneira, com espessura de chapa usual de 1,75 mm, é fixada à face inferior da viga da estrutura principal por uma de suas abas, que possui largura de 40 mm. A outra aba, com largura de 70 mm, possui em sua extremidade furos oblongos verticais por onde são instalados os parafusos estruturais de ligação com os montantes do painel. Os furos oblongos possuem comprimento de 40 mm, permitindo movimentação vertical de até 20 mm para baixo ou para cima. O comprimento da cantoneira varia com a dimensão da mesa do montante, com a largura da viga da estrutura do edifício e com o eventual afastamento entre o painel de fechamento e a estrutura principal (LGSEA, 2004).

A facilidade de acesso ao local da instalação da cantoneira por parte do profissional de execução constitui uma vantagem do uso da cantoneira fixada na face inferior da viga em relação àquela instalada na sua face externa. Entretanto, o emprego de tal cantoneira torna obrigatória a execução de forro, e este, mesmo que parcial (sanca), deve estar em nível abaixo da estrutura para que seja possível ocultá-la, representando potencial perda de altura útil do pavimento.

4.2.3 - LIGAÇÕES NÃO-RÍGIDAS CONECTADAS ÀS MESAS E ENRIJECEDORES DOS MONTANTES

As ligações que permitem a movimentação vertical dos montantes em relação ao quadro da estrutura principal possuem a função estrutural de resistir apenas às cargas horizontais de vento, mantendo a natureza estrutural secundária do fechamento.

Neste sentido, uma alternativa à ligação com cantoneiras com furos oblongos é a utilização de peças que se apóiam nas mesas e nos enrijecedores dos montantes do painel, de modo a mantê-los alinhados, restringindo seu deslocamento horizontal, mas mantendo a liberdade vertical.

A forma mais simples e barata de ligação com apoio nas mesas e enrijecedores dos montantes é a utilização de uma cantoneira convencional, com abas largas e um rasgo transversal. Esta cantoneira é fixada à estrutura do edifício por uma de suas abas e instalada no interior do perfil vertical do fechamento, de modo que o enrijecedor fique encaixado no rasgo (Figura 4.30).

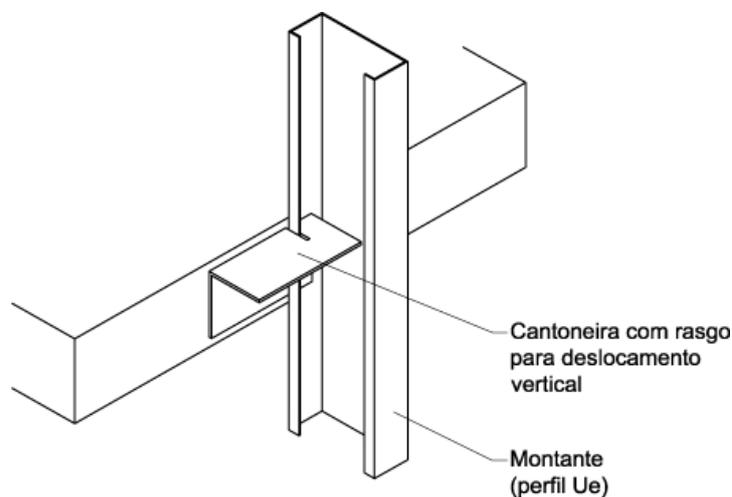


Figura 4.30 - Ligação com cantoneira apoiada na mesa e enrijecedor do montante

Fonte: Adaptado de SCHARFF, 1996, p.48

A conexão da cantoneira com a estrutura principal pode ser feita com pinos acionados à pólvora, parafusos ou solda. Assim como na instalação de cantoneiras rígidas, é importante a instalação de cantoneira metálica na borda das lajes, para garantir sua

integridade. Esta montagem não permite que o fechamento seja instalado afastado da face das vigas.

O dimensionamento da ligação deve levar em conta que o local do rasgo da cantoneira é um ponto frágil, onde a tendência de rasgamento da chapa, em virtude de esforços horizontais perpendiculares ao fechamento, é bastante acentuada. A espessura da chapa adotada e a forma da extremidade do rasgo devem levar em conta este fato.

Um melhoramento da ligação apresentada, mas ainda mantendo seu baixo custo e facilidade de obtenção, é a utilização de um perfil U no lugar da cantoneira. Neste caso, o rasgo transversal é executado ao longo de toda a alma e em uma pequena parte das mesas, de modo a encaixar no montante do fechamento (Figura 4.31). Da mesma forma que na ligação com cantoneiras, na utilização do perfil U o fechamento deve ficar próximo à face das vigas.

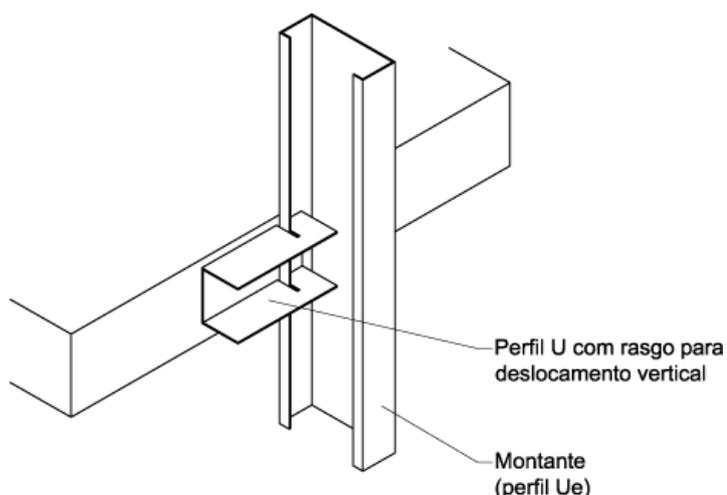


Figura 4.31 - Ligação com perfil U apoiado na mesa e enrijecedor do montante
Fonte: Adaptado de LGSEA, 2004, p.5

O perfil U utilizado tem seção de 60 x 45 mm e comprimento de 125 mm, com o rasgo situado a 45 mm da extremidade para encaixe no montante do fechamento. A espessura da chapa é de pelo menos 1,75 mm, conforme o dimensionamento (DIETRICH, 2007).

A conexão com a estrutura principal pode ser feita com solda, pinos acionados à pólvora ou parafusos. Nos dois últimos casos, deve-se adotar uma distância mínima de 10,0 mm

para a borda do perfil, evitando, assim, o rasgamento da chapa. O uso de cantoneira de borda na laje deve ser considerado no caso da fixação ocorrer neste local.

Assim como na ligação com cantoneira, deve-se dar atenção ao rasgo para encaixe do montante no momento da escolha da espessura do perfil utilizado e também não há possibilidade de afastamento do painel de fechamento em relação à estrutura principal. A ligação com perfil U apresenta a vantagem de dividir a carga horizontal entre suas duas mesas, o que lhe confere maior resistência quando comparado à ligação com cantoneira, ou ainda permite o uso de chapa mais fina para a mesma solicitação.

Uma alternativa desenvolvida e patenteada por fabricantes de LSF para painéis contínuos de fachada é o uso de uma peça especialmente conformada para encaixar internamente ao perfil Ue do montante, travando-o horizontalmente, mas garantindo a liberdade de deslocamento vertical (Figura 4.32).

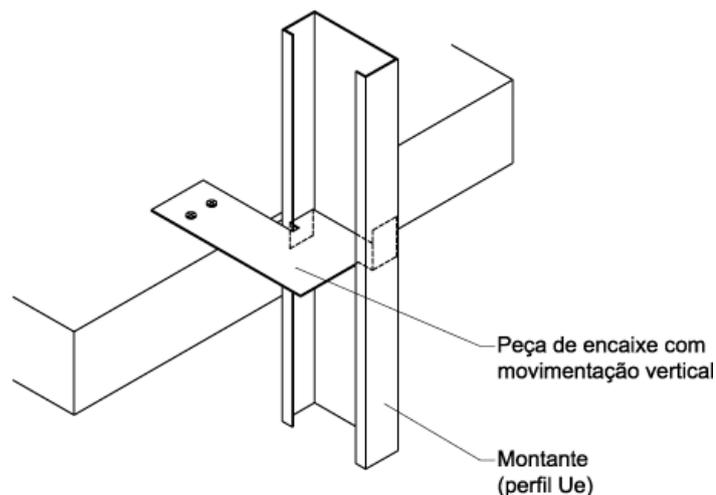


Figura 4.32 - Ligação apoiada na mesa e enrijecedor do montante realizada com peça especial

Fonte: Adaptado de DIETRICH, 2007

Essa peça de encaixe é fabricada a partir de chapa de aço com espessura de 3 mm e suas dimensões variam conforme a seção do montante do painel (Figura 4.33) (DIETRICH, 2007).

Sua conexão com a estrutura principal pode ser feita com pinos acionados à pólvora, parafusos ou solda, podendo ocorrer tanto na face superior quanto na inferior das vigas, ou ainda sobre sua mesa, no caso de perfis metálicos I. Essa variedade de possibilidades

de fixação permite ao instalador escolher a localização que lhe seja mais conveniente, em virtude das particularidades da obra.

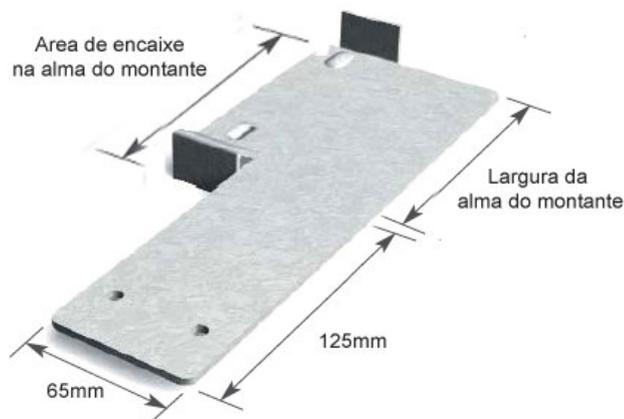


Figura 4.33 - Peça de encaixe para painéis contínuos de fechamento

Fonte: DIETRICH, 2007

A peça de encaixe possui, como vantagem em relação às alternativas anteriores, a possibilidade de afastamento do painel de fechamento da estrutura principal do edifício em até 75 mm (DIETRICH, 2007), o que é especialmente útil em casos onde as vigas possuem larguras diferentes, mas o fechamento precisa ficar alinhado. Além disso, como pode ser fixada nas faces inferior ou superior da viga, não há obrigatoriedade da instalação de cantoneira de borda na laje em concreto, reduzindo os custos da obra.

As desvantagens desta solução estão na fabricação da peça, que deve ser encomendada especialmente para essa situação e utiliza uma espessura de chapa não usual para galvanizados no Brasil. Além disso, como se trata de uma solução patenteada, há a necessidade de autorização de seu desenvolvedor para reprodução ou produção de peça com outro formato mas o mesmo princípio de funcionamento.

4.2.4 - CONEXÃO HORIZONTAL ENTRE PAINÉIS

Em painéis contínuos de fachada executados com LSF, não é recomendado que sejam usados perfis com comprimento maior que 12 m. Assim, quando o edifício possui altura maior que este limite, é necessário o uso de múltiplos painéis, que podem ser “empilhados” e descarregar todo o peso próprio na fundação (Figura 4.21) ou contar com estruturas intermediárias de sustentação (Figura 4.22).

Em ambos os casos, o encontro horizontal entre os painéis deve acontecer entre as lajes dos pavimentos, de forma que não exista interferência na conexão do painel com a estrutura principal. Além disso, o encontro entre painéis logo acima da laje facilita o acesso do instalador a este ponto durante a montagem (LGSEA, 2004).

Nos painéis “empilhados” há a transmissão vertical da carga de um painel para o outro imediatamente abaixo, até que esta seja descarregada na fundação. Nesta situação, os montantes devem ficar rigorosamente alinhados e com as seções coincidentes com as dos painéis acima e abaixo, conforme o conceito de estrutura em linha ou “*in-line framing*”, utilizado nas construções autoportantes de LSF.

A conexão dos painéis “empilhados” com a estrutura principal do edifício é feita somente por ligações não-rígidas, que garantem a resistência a cargas horizontais e não impedem a livre transmissão vertical dos carregamentos.

Já a conexão horizontal entre painéis deve ser rígida, não permitindo deslocamentos horizontais ou verticais entre eles. Essa conexão é feita com a ligação da guia superior de um painel à guia inferior daquele imediatamente acima, com o uso de parafusos estruturais autotarraxantes e autoperfurantes, que devem ser dimensionados para resistir aos esforços solicitantes (Figura 4.34).

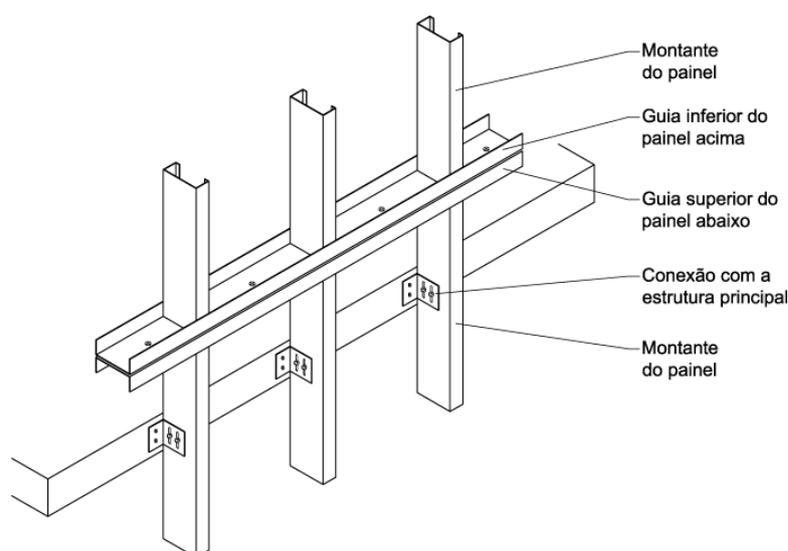


Figura 4.34 - Conexão horizontal rígida entre painéis

Fonte: Adaptado de METSEC, 2007

Já os painéis com pontos intermediários de fixação rígida não descarregam qualquer esforço vertical no painel abaixo. Para garantir este comportamento é preciso isolar os painéis entre si, com conexões que permitam que cada um deles se movimente verticalmente de forma independente, mas não se desloquem entre si quando submetidos a esforços horizontais. Essas conexões horizontais entre painéis devem ocorrer nos pavimentos logo acima das ligações não-rígidas dos montantes com a estrutura principal do edifício.

A sustentação vertical do painel é responsabilidade de uma conexão rígida com o edifício que deve ser alternada ao longo dos painéis com conexões que permitam sua movimentação vertical. Desta forma, cada painel, com comprimento equivalente a dois pavimentos, possui dois pontos de conexão com a estrutura do edifício: o inferior rígido e o superior não-rígido.

Uma das formas de conectar painéis contínuos de LSF sem que ocorra transmissão vertical de carregamento é o uso de guias com furos oblongos nas mesas, semelhantes àquelas utilizadas para permitir a movimentação de montantes em painéis de LSF embutidos na estrutura (LGSEA, 2004).

Nesta montagem, a guia inferior do painel superior é uma guia convencional, parafusada de forma rígida à extremidade dos montantes. A guia superior do painel imediatamente abaixo deve possuir furos oblongos nas suas mesas, de forma que os parafusos que a prendem aos montantes possam se deslocar verticalmente, garantindo o isolamento estrutural entre os painéis. As guias são conectadas entre si por parafusos estruturais autoperfurantes e autotarraxantes, dimensionados para o esforço cortante e arrancamento a que estarão sujeitos nesta interface (Figura 4.35).

O espaço de movimentação que deve ser deixado entre a extremidade superior do montante e a alma da guia é determinado no cálculo estrutural, em função dos deslocamentos previstos para a estrutura principal do edifício. O conhecimento da grandeza desses deslocamentos é importante também para dimensionar a guia e determinar a altura dos seus furos oblongos.

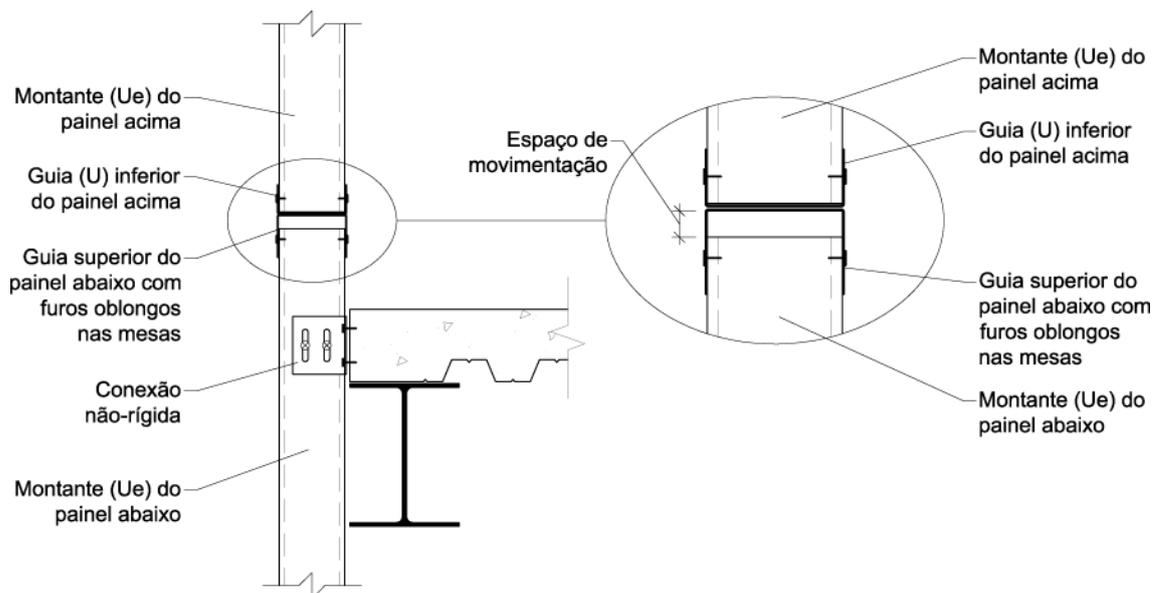


Figura 4.35 - Conexão não-rígida entre painéis contínuos com guia com furos oblongos

Fonte: Adaptado de LGSEA, 2004, p.7

As guias com furos oblongos são peças especiais de execução simples, e seu emprego na execução de ligações entre painéis é bastante vantajosa já que a montagem desses pode ser feita fora do canteiro de obras (desde que se tenha o cuidado de contraventar provisoriamente o painel com fitas metálicas). Além disso, a conexão com a guia superior é feita com parafusos comuns, que são espaçados de forma a distribuir os esforços horizontais.

Outra possibilidade de montagem com isolamento vertical entre painéis contínuos é o uso de pinos e placas de aço entre suas guias. Nessa montagem as guias do encontro entre painéis devem ser primeiramente perfuradas, ambas na mesma posição. Um pino de aço é então soldado a uma chapa e o conjunto é soldado em obra à guia de um dos painéis, de modo que o pino atravessasse sua alma no furo pré-executado e fique posicionado na vertical. Na guia do outro painel, é soldada em obra uma placa de aço com furo em seu centro, com diâmetro um pouco maior que o pino (Figura 4.36).

Os painéis de LSF usados no fechamento devem ser montados com conexões rígidas entre seus montantes e guias. Eles são fixados à estrutura principal do edifício com conexões rígidas e não-rígidas alternadamente, de modo a deixar um espaçamento entre a guia superior de um e a inferior do próximo. Este espaço é responsável por garantir a descontinuidade estrutural entre os painéis, impedindo a transmissão de cargas verticais.

Os pinos e placas são responsáveis pela transmissão dos esforços horizontais entre os painéis, garantindo seu alinhamento.

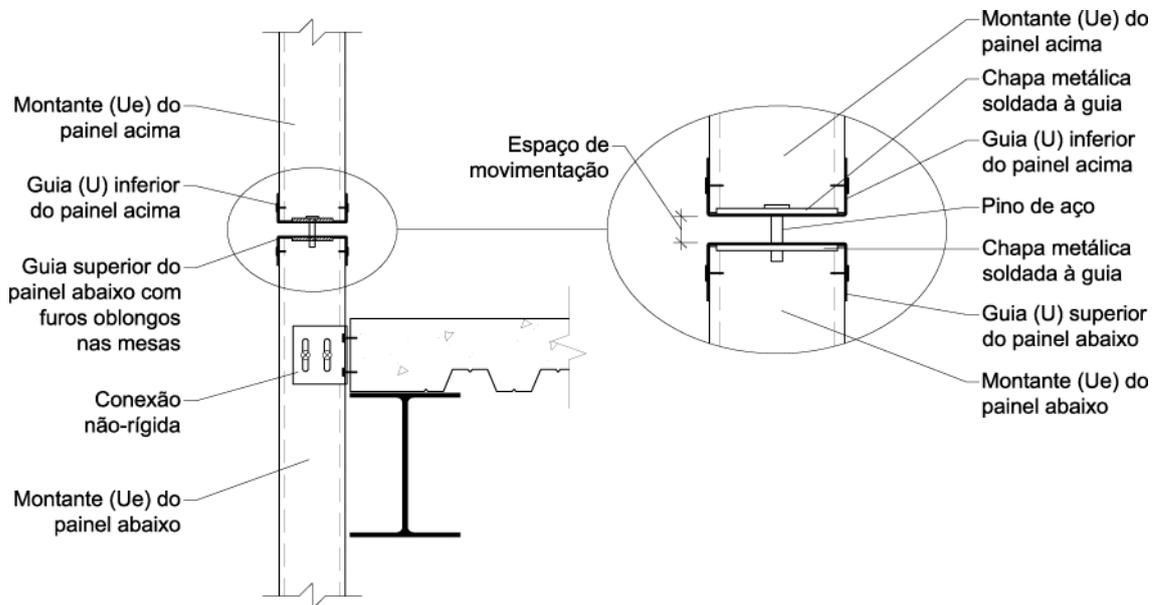


Figura 4.36 - Conexão não-rígida entre painéis contínuos executada com pinos e placas
Fonte: Adaptado de LGSEA, 2004, p.3

As placas utilizadas são em aço galvanizado, com dimensões de 140,0 x 90,0 mm e espessura de 6,35 mm. O pino, também em aço galvanizado, possui diâmetro de 20 mm e comprimento de 80 mm. O furo na placa soldada à guia superior deve ter diâmetro de 22 mm para facilitar o encaixe do pino. A quantidade de pinos utilizada deve ser determinada pelo cálculo estrutural, sendo de, no mínimo, 2 pinos por painel, locados em extremidades opostas da guia (LGSEA, 2004).

A placa com pino de encaixe pode ser instalada tanto na guia do painel superior quanto na do inferior, sendo esta definição função da ordem de montagem dos painéis, de modo a facilitar seu encaixe.

Este modo de montagem garante a total independência para movimentação vertical dos painéis, e o pino vertical possui elevada resistência aos esforços cortantes a que o fechamento deve estar submetido. Também apresenta a vantagem de permitir a execução prévia dos painéis fora do canteiro de obras, sem necessidade de contraventamentos provisórios. Dentre suas desvantagens está a necessidade de fabricação de peças especiais, a partir de chapas que devem ser galvanizadas sob

encomenda, além de demandar execução de soldas em obra, que são complicadas e necessitam de máquinas específicas e profissionais muito especializados.

4.2.5 - AVALIAÇÃO CRÍTICA DAS MONTAGENS CONTÍNUAS

Os painéis de LSF contínuos para fechamento externo de fachadas se apresentam como uma alternativa mais interessante que os painéis embutidos, para a maioria dos casos. Isto é função da clara separação entre o fechamento e a estrutura principal, no que se refere ao desempenho estrutural, exigindo recursos mais simples para absorção e isolamento dos deslocamentos. O fechamento contínuo permite ajustes de prumo da estrutura que são impossíveis no fechamento embutido e, além disso, possui pontos de interface entre fechamento e estrutura, que são os pontos vulneráveis a intempéries, mais fáceis de serem tratados com desempenho construtivo satisfatório.

Dentre as opções de montagem contínua, aquela em que os painéis são divididos verticalmente e possuem apoios rígidos e não-rígidos alternadamente (Figura 4.22) é a mais vantajosa, por não possuir limitação na altura do edifício e não demandar variação na espessura de chapa dos montantes em função do acúmulo de cargas verticais ao longo do edifício.

Para conexão do painel com a estrutura, a forma mais interessante é por meio de cantoneiras com abas desiguais, que podem possuir furos oblongos para conexões não-rígidas (Figura 4.27) ou furos comuns para conexões rígidas (Figura 4.26). Esta alternativa se mostra interessante pela facilidade de produção das cantoneiras, contando ainda com diversas variações, como nas posições e quantidade de furos, dimensões das abas e espessuras de chapa, adequando-se a situações específicas de projeto.

4.2.6 - PAINÉIS JANELA A JANELA

Em edificações com fechamento externo em painéis contínuos de LSF onde existem janelas com grandes dimensões horizontais ou contínuas, o emprego de vergas sobre as aberturas se torna inviável devido à falta de apoios verticais e à dimensão requerida para

as vergas. Para situações como esta, se aplicam os painéis janela a janela, que são um caso particular dos painéis contínuos externos.

Os painéis janela a janela (conhecidos também como *Spandrel*) são aqueles contínuos com altura igual à distância entre a extremidade superior da janela de um pavimento e o peitoril da abertura no andar imediatamente acima (Figura 4.37 e Figura 4.38). A conexão com a estrutura principal deve ser feita de forma rígida, sendo a peça de conexão responsável por resistir às cargas verticais e horizontais incidentes no painel (LGSEA, 2004).

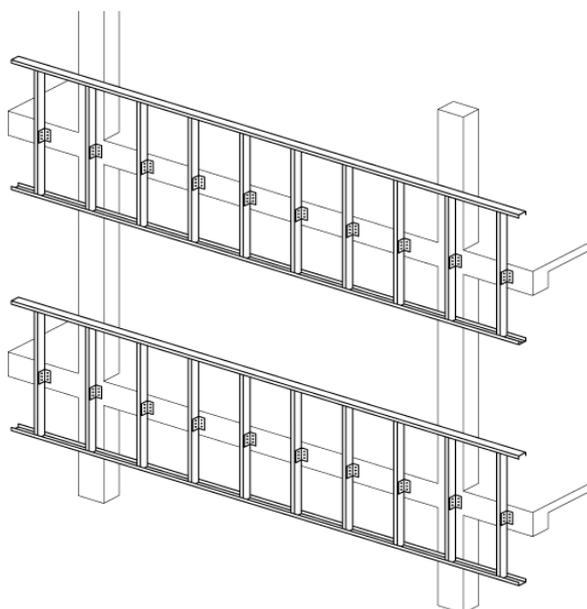


Figura 4.37 - Painéis janela a janela



Figura 4.38 - Montagem de painéis janela a janela em fachada de edifício em concreto armado. John Radcliffe Hospital, Inglaterra

Fonte: KINGSPAN, 2008

Para permitir a absorção dos deslocamentos verticais da estrutura, devem ser previstos detalhes de movimentação no topo da abertura. Estes podem ser feitos com uma cantoneira com furos oblongos nas mesas, fixada rigidamente à esquadria. Também pode haver detalhes na execução da esquadria, como peças independentes, que permitam absorver a movimentação vertical (SCHARFF, 1996).

Em painéis janela a janela com maior comprimento horizontal destravado entre pilares, pode-se optar pelo seu enrijecimento com o emprego de vigota composta na montagem do peitoril e da verga das aberturas, além de contraventamento com fitas metálicas. Seu uso deve ser definido no cálculo estrutural em função dos deslocamentos admitidos.

Nas fachadas com painéis janela a janela, o peitoril da janela do pavimento térreo deve ser executado com painel fixado à fundação, com ancoragem de resistência e rigidez suficientes para suportar os esforços horizontais, principalmente decorrentes do contato dos ocupantes do edifício.

Nos casos onde as janelas não são contínuas, o espaço equivalente aos vãos das janelas devem ser fechado com painéis fixados rigidamente na parte inferior, utilizando parafusos estruturais, e permitindo movimentação vertical na face superior. Caso esse fechamento ocorra próximo a pilares, onde os deslocamentos verticais são pouco significativos, pode-se optar por conexões rígidas no topo e na base do painel intermediário (LGSEA, 2004).

O painel janela a janela é ligado à estrutura do edifício de forma rígida, por meio de cantoneiras fixadas à borda da laje de concreto, combinadas com outro ponto de apoio secundário para estabilização da extremidade inferior do painel. Este segundo ponto de apoio é responsável por diminuir o comprimento do braço de alavanca do painel, permitindo o uso de montantes menos robustos. Esta estabilização é tão mais eficiente quanto mais próxima da extremidade inferior do painel estiver o travamento. Este apoio secundário de travamento deve ocorrer a cada dois montantes e todas as conexões entre peças devem ser rígidas e executadas com parafusos estruturais (SCHARFF, 1996).

Uma das opções para estabilização do painel é a execução de um braço diagonal de travamento composto por perfil Ue ou cantoneira, instalado a 45° e conectado à face

inferior da laje por outra cantoneira, resistindo tanto a esforços verticais quanto horizontais (Figura 4.39). Este sistema possui grande eficiência no travamento do painel devido a sua proximidade da extremidade inferior. Além disso, sua execução é simples e pode ser feita com elementos comuns do sistema LSF (SSMA, 2007).

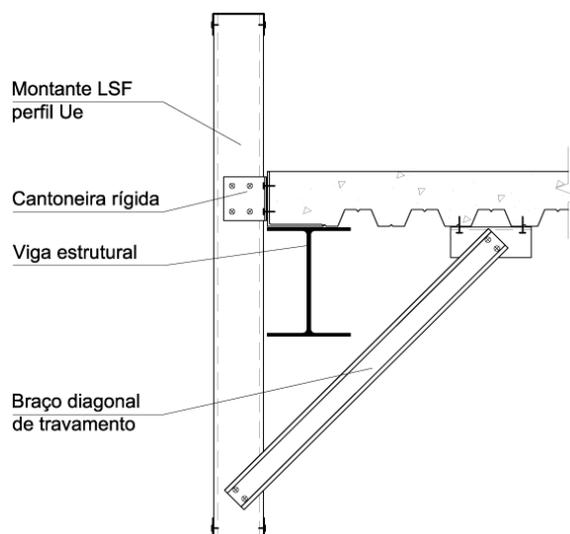


Figura 4.39 - Painel janela a janela com apoio secundário com braço diagonal
Fonte: Adaptado de SSMA, 2007

A proximidade da extremidade inferior do painel, que constitui a principal vantagem do sistema de apoio secundário descrito, gera sua principal desvantagem. Há, nessa montagem, a necessidade de se executar um forro muito baixo para ocultá-la, criando um pleno muito alto e conseqüentemente diminuindo a altura útil do pavimento. Essa altura pode ser aumentada caso opte-se por executar o forro inclinado próximo ao braço de travamento, porém esta solução depende de opção arquitetônica.

Visando diminuir o impacto interno do apoio secundário de travamento, pode-se substituir o braço diagonal por uma cantoneira ou por perfil Ue ligado à face inferior da viga do edifício e à alma dos montantes do painel de fechamento externo (Figura 4.40). A conexão desse perfil ao montante é feita com parafusos estruturais e à viga com parafusos, pinos acionados à pólvora ou solda.

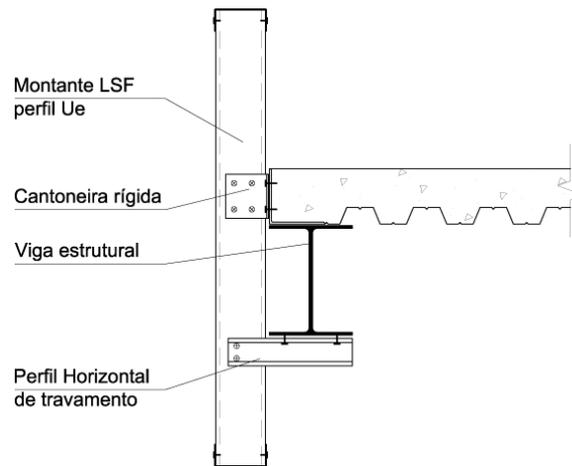


Figura 4.40 - Painel janela a janela com apoio secundário com perfil horizontal
 Fonte: Adaptado de SSMA, 2007

As vantagens deste sistema estão no menor impacto gerado na altura do forro do pavimento abaixo, além da facilidade de execução e menor consumo de material. Porém, nesta montagem, a estabilização horizontal do painel janela a janela é menos eficiente que no uso de peça diagonal, devido à distância entre o ponto de fixação e a extremidade inferior do painel, criando um braço de alavanca que maximiza esforços horizontais. Além disso, há a transmissão desses esforços horizontais para a face inferior da viga do edifício, podendo ter implicações em seu dimensionamento (SSMA, 2007).

Outra possibilidade de instalação dos painéis entre janelas é sua fixação com a cantoneira rígida, responsável por resistir aos esforços horizontais e verticais, conectada à face externa da viga da estrutura principal do edifício, no ponto mais inferior possível. Para estabilização do painel, minimizando o comprimento de alavanca que o solicita, pode-se utilizar uma cantoneira de abas iguais com largura de 100 mm, instalada ao longo de toda a borda superior da laje e conectada aos montantes do LSF com parafusos (Figura 4.41 e 4.42).

Uma das vantagens desta montagem é a não necessidade de peças abaixo da viga, que diminuem o pé-direito do pavimento. Além disso, a cantoneira pode servir de apoio para a execução do contra-piso, garantindo que o mesmo exista até o encontro com o painel, o que é importante para a eficiência do isolamento acústico entre os pavimentos. Sua

desvantagem está na existência de uma alavanca livre mais longa na extremidade inferior, o que pode requerer maior espessura de chapa nos montantes.

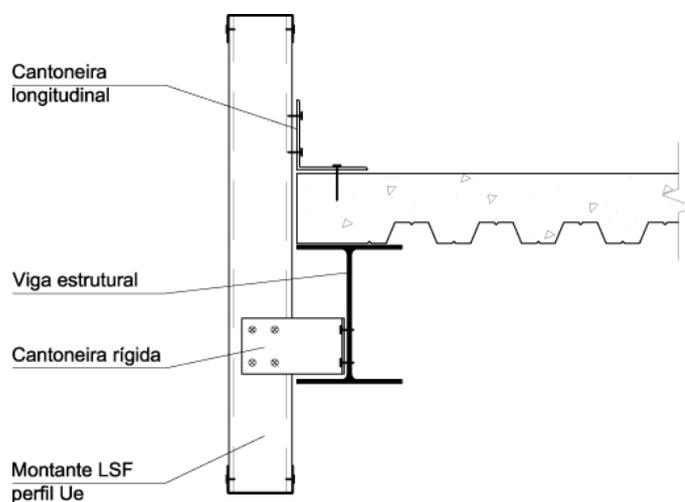


Figura 4.41 - Painel janela a janela estabilizado com cantoneira superior
Fonte: Adaptado de FLASAN, 2008



Figura 4.42 - Painel janela a janela em fachada de edifício com estrutura metálica. Edifício comercial, Belo Horizonte, MG

Esta última alternativa, desenvolvida por uma empresa brasileira, se mostra uma solução construtiva mais viável para a instalação de painéis janela a janela. Isso ocorre principalmente pela não existência de elementos de fixação do painel abaixo da viga estrutural, o que não condiciona a execução de forro ou sanca mais baixos ao longo do pavimento, além da cantoneira superior ser utilizada para ajustes no prumo de cada parte do painel.

5

ACABAMENTOS E INTERFACES

A garantia de integridade dos fechamentos verticais propostos neste trabalho é função do seu desempenho estrutural independente da estrutura principal e também do planejamento dos acabamentos em suas faces e das interfaces com os demais componentes da edificação.

O planejamento dos acabamentos do sistema de fechamento em *Light Steel Framing* (LSF) e de suas interfaces visa garantir a estanqueidade à água e ao ar da edificação, responsável pela salubridade do ambiente e também influencia diretamente na durabilidade e desempenho térmico da construção.

Além disso, as interfaces do acabamento com a estrutura principal e com os demais componentes construtivos são importantes na manutenção da sua integridade frente às

constantes variações higrotérmicas a que esses acabamentos estão sujeitos. A independência estrutural entre fechamento e estrutura do edifício e suas liberdades de deslocamento também são afetadas pela forma de execução do acabamento dos painéis verticais de LSF empregados no fechamento de fachadas.

5.1 - INTERFACE DAS PEÇAS DE LSF COM A ESTRUTURA PRINCIPAL

As peças de aço galvanizado da estrutura do painel de fechamento em LSF são conectadas à estrutura principal do edifício por meio de parafusos, pinos acionados à pólvora ou solda. O meio de conexão utilizado deve ser definido no projeto em função das características de cada obra.

Na interface entre as peças metálicas do painel e a estrutura principal recomenda-se que seja instalada uma fita de isolamento de polietileno. Essa fita possui espessura de 3 mm e pelo menos uma das faces adesiva, e deve ser fixada nos locais de interface antes da instalação do painel de fechamento.

Nas construções com estrutura principal metálica, a fita de isolamento é importante para que não ocorra contato direto entre o aço galvanizado do LSF e o aço da estrutura principal, evitando, assim, a ocorrência da corrosão galvânica (resultado da diferença de potencial existente entre diferentes ligas metálicas). Já nas construções em concreto, a fita de isolamento ajuda no nivelamento da superfície para receber a peça metálica do painel de fechamento, evitando que esta se amasse em função de pequenas imperfeições, comuns na face do concreto.

5.2 - PAINÉIS COM ACABAMENTO PRÉ-EXECUTADO

Os painéis de LSF utilizados no fechamento vertical de fachadas podem ser executados em obra ou pré-montados em uma fábrica. No caso da execução prévia, pode-se incorporar a instalação dos acabamentos no processo de produção, o que implica em grande ganho na velocidade de instalação dos painéis, maior controle de qualidade e de custos de produção e maior segurança para o trabalho dos montadores, que não precisam ficar expostos a trabalho em altura por tanto tempo (Figura 5.1).



Figura 5.1 - Instalação de painel de LSF com acabamento cerâmico pré-executado. Centro Comercial, Carlow, Irlanda

Fonte: KINGSPAN, 2008

Nos painéis com acabamento executado em fábrica, os materiais de fechamento estarão sujeitos a maiores esforços de deformação em função do transporte para o canteiro de obras e também dentro dele. A estrutura metálica galvanizada dos painéis com acabamento pré-executado deve ser rígida o suficiente para garantir que as deformações que ocorrem no transporte não tenham impactos negativos na integridade e no desempenho dos materiais de acabamento. Tal característica pode ser obtida com a instalação de contraventamentos em fitas metálicas, que podem ser mantidos ou retirados após a locação definitiva do painel. A grandeza das deformações admitidas em cada painel é determinada pelo material de acabamento escolhido.

Além disso, a forma de instalação e os materiais dos acabamentos no painel podem favorecer mais ou menos a manutenção de sua integridade durante o transporte. O uso de juntas não-rígidas entre placas de acabamento ou o emprego de argamassas flexíveis para assentamento de peças contribuem para que o acabamento possa absorver, sem comprometimento, algumas deformações do painel nestas condições.

5.3 - JUNTAS E ENCONTROS DE PLACAS DE ACABAMENTO

Os acabamentos para fechamentos verticais em LSF usuais no Brasil são montados preferencialmente a partir de placas moduladas e industrializadas e estão sujeitos a variações dimensionais, cuja grandeza é determinada pelo seu material e processo de

fabricação. A previsão de detalhes de execução, com espaços que permitam a dilatação ou encurtamento das placas, sem que ocorra deformação ou transmissão de esforço para as outras placas, é fundamental para o funcionamento correto do fechamento.

As juntas de dessolidarização são responsáveis pela movimentação dos acabamentos de fechamento. As juntas constituem a linha de separação entre dois elementos pré-fabricados montados justapostos ou superpostos, podendo ser horizontais ou verticais (KRÜGER, 2000). Sua forma de execução e grandeza dimensional varia em função do material empregado, podendo ser aparente ou invisível.

A execução da estrutura do sistema de fechamentos em LSF apresentado neste trabalho busca garantir sua independência de deslocamento em relação à estrutura principal do edifício. A existência de detalhes construtivos nas placas de acabamento, tanto externo quanto interno, que garantam a continuidade da independência estrutural é fundamental para a manutenção do isolamento estrutural e da integridade física do sistema de fechamento.

5.4 - MATERIAIS DE ACABAMENTO E FORMAS DE APLICAÇÃO

Os materiais usuais de acabamento para fechamentos verticais em LSF são os painéis de OSB (acabados com *siding*, argamassa ou EIFS) e as placas cimentícias para a face externa e gesso cartonado e placas cimentícias para a face interna, podendo também receber painéis pré-fabricados leves, como os metálicos. Suas propriedades físicas e características básicas de montagem são mostradas a seguir. São apresentadas, também, informações relativas à aplicação destes acabamentos no fechamento vertical não-estrutura em LSF de edifícios, além de detalhes construtivos sugeridos para algumas situações usuais neste tipo de aplicação.

Os detalhes de acabamento apresentados são ilustrativos das possibilidades de execução existentes, e devem ser avaliados pela equipe de projeto e execução em função das particularidades da obra e da grandeza dos deslocamentos previstos. Outras montagens são possíveis e devem ser propostas tendo como premissas a manutenção da

estanqueidade do fechamento, a absorção dos deslocamentos previstos para a estrutura do edifício e a garantia de durabilidade e manutenção da fachada.

5.4.1 - PAINÉIS OSB

As placas de OSB (*Oriented Strand Board*) são constituídas por tiras de madeira de reflorestamento orientadas em quatro camadas perpendiculares, unidas com resinas e prensadas sob alta temperatura (MASISA, 2007). Os painéis OSB podem ser usados no fechamento vertical externo como substrato para a instalação de *siding*, acabamento em argamassa ou EIFS (Figura 5.2).



Figura 5.2 - Instalação de placas de OSB na fachada
Fonte: CRASTO, 2005. p.127

As chapas de OSB são comercializadas nas dimensões de 1220x2440 mm, com espessuras que variam entre 9, 12, 15 e 18 mm. A espessura a ser utilizada é determinada pelo tipo de acabamento, espaçamento entre montantes (determinado pelo cálculo estrutural) e função estrutural (se trabalha ou não como diafragma rígido).

Para a proteção das placas contra umidade externa, independente do acabamento final, elas devem ser revestidas com uma manta de polietileno de alta densidade⁴, que garante

⁴ As mantas ou membranas de polietileno de alta densidade com as propriedades descritas são comercializadas no Brasil sob as marcas *Tyvek* (fabricante DuPont) e *Vario* (fabricante Saint-Gobain).

sua estanqueidade e evita a condensação de vapor no interior dos painéis, permitindo a passagem da umidade do interior para o exterior do fechamento e evitando a entrada de água de fora para dentro. Para sua eficácia, deve haver sobreposição horizontal (15 a 30 cm) das bordas da manta, criando uma superfície contínua e efetiva, conforme indicado pelo fabricante.

Para permitir as variações dimensionais ocasionadas pela temperatura e pela umidade do ar, devem ser previstas juntas com largura de 3 mm entre as placas de OSB, incluindo todo o seu perímetro e também entre estas e esquadrias e estrutura principal do edifício. As juntas verticais devem estar sempre sobre montantes e adequadamente parafusadas. No projeto de paginação das placas, as juntas verticais devem estar defasadas entre si e não alinhadas com bordas de esquadrias ou portas (Figura 5.3) (CRASTO, 2005).

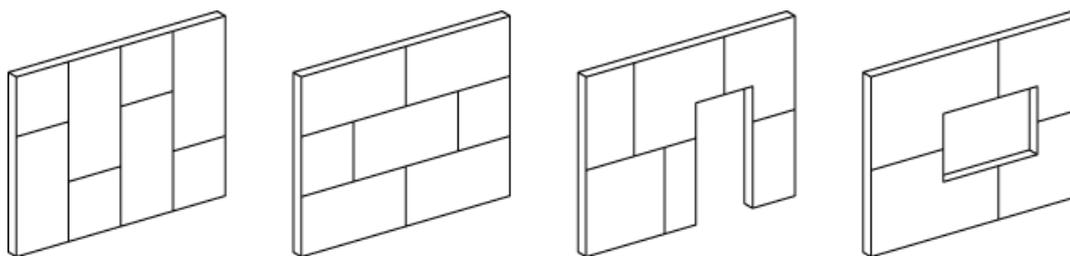


Figura 5.3 - Placas de acabamento instaladas de forma defasada na horizontal e na vertical e com juntas não alinhadas com portas ou janelas

As juntas de dilatação entre as placas de OSB não precisam ser preenchidas com material vedante, uma vez que a estanqueidade do painel de fachada é garantida pela manta de polietileno de alta densidade.

5.4.1.1 - *SIDING*

O *siding* é um revestimento de fachada composto de placas paralelas instalado sobre substrato de OSB (com espessura de 12 mm), sendo o vinílico (fabricado em PVC) aquele mais utilizado com LSF, devido à sua boa trabalhabilidade e concepção mais industrializada. É um material de execução rápida e limpa e depois de instalado são possíveis a remoção e a recolocação dos painéis, quando há necessidade de manutenção elétrica ou hidráulica, ou mesmo a substituição de peças danificadas (Figura 5.4).



Figura 5.4 - Execução de *siding* vinílico sobre membrana de polietileno e OSB
Fonte: MADEX, 2007

O *siding* vinílico é encontrado no mercado em painéis compostos por régua dupla com 25 cm de largura, podendo ser fabricadas em qualquer comprimento, limitado apenas por questões de logística e instalação, que recomendam dimensão de 6 m (Figura 5.5). Para sua instalação, o fabricante disponibiliza vários acessórios: perfis de fixação, acabamentos de quinas externas e internas, arremates superiores e verticais para encontros com esquadrias ou estrutura, rufos e peças decorativas. O *siding* possui significativa variação dimensional quando submetido a diferenças de temperatura, devendo haver cuidado na execução de grandes panos cegos, onde há emendas horizontais.

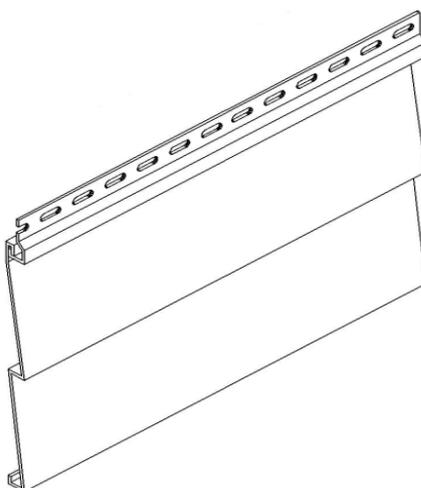


Figura 5.5 - Perfil de *siding* vinílico

Um dos pontos interessantes da utilização do acabamento em *siding* sobre substrato de OSB é a independência entre os elementos do sistema, que contribui para evitar algumas patologias construtivas. Nesse acabamento, os elementos formam camadas com responsabilidades diferentes e desempenho independente: o OSB é o substrato de sustentação do acabamento, a membrana de polietileno é responsável pelo isolamento à água e o *siding* é a proteção mecânica e o acabamento do sistema.

Para execução de painéis de fachadas embutidos, pode-se optar pela instalação do *siding* contínuo sobre a estrutura principal ou pode-se deixá-la aparente. Em ambos os casos é preciso atenção na instalação do OSB em painéis de LSF com conexões superiores não-rígidas, pois sua fixação deve ocorrer apenas nos montantes, sem qualquer fixação à guia superior do painel ou à estrutura principal, de modo a não impedir que ocorram os deslocamentos planejados para a conexão.

No caso da estrutura oculta, as placas OSB devem ser instaladas sobre os montantes do painel com as réguas de *siding* se sobrepondo à estrutura, fixadas a ela com parafusos. Como o *siding* possui desempenho independente do substrato, esta montagem pode ser utilizada tanto em painéis com conexão superior rígida quanto não-rígida (Figura 5.6). O sistema de instalação do *siding* o deixa capaz de absorver eventuais deslocamentos de conexões não-rígidas, evitando a interrupção no ponto de movimentação, desde que estes deslocamentos previstos sejam pequenos. A instalação da manta de polietileno (responsável pela impermeabilização do sistema) deve ser feita de forma contínua sobre a estrutura, para garantir seu desempenho.

Quando no uso da estrutura aparente, o *siding* é interrompido utilizando os perfis de arremate adequados fornecidos pelo seu fabricante. Pode-se também optar pelo emprego de perfil Z formando pingadeira no arremate inferior, onde há sempre uma conexão rígida do painel com a estrutura do edifício. Já no arremate superior, onde pode haver tanto conexão rígida quanto não-rígida, uma opção é o uso de cantoneira fixada à face inferior da estrutura imediatamente acima (Figura 5.7).

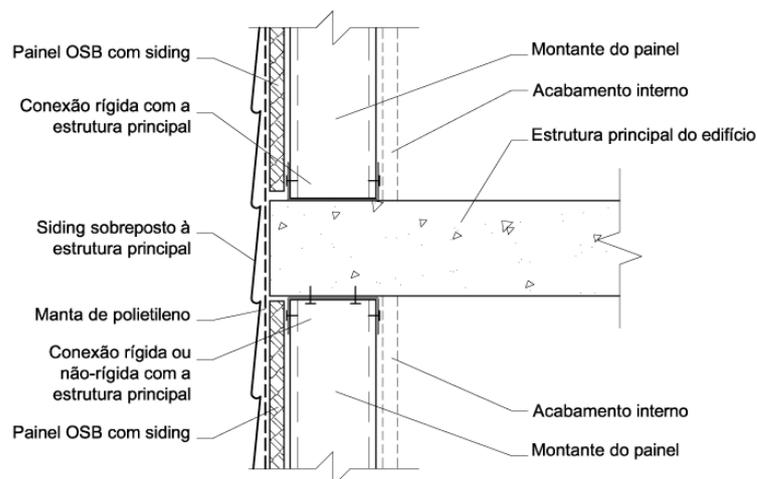


Figura 5.6 - Painel embutido com acabamento em *siding* sobreposto a estrutura principal

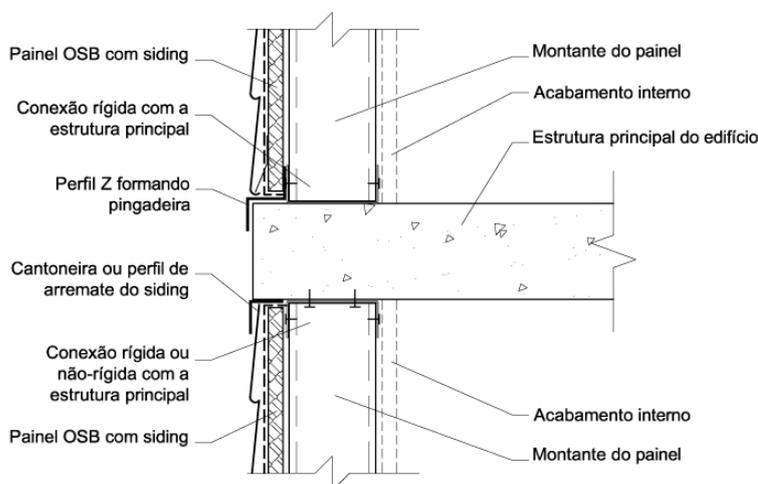


Figura 5.7 - Painel embutido com acabamento em *siding* com estrutura principal aparente

Em construções com painéis montados pelo método contínuo, o acabamento em placas OSB com *siding* deve ser instalado de forma contínua sobre os pontos de conexão rígida dos montantes com a estrutura principal do edifício ou nos encontros horizontais rígidos entre painéis de fechamento empilhados (Figura 5.8).

Já nos encontros não-rígidos, deve-se interromper as placas OSB sobre o ponto de movimentação, para que estas não prejudiquem os deslocamentos do painel de fachada. A manta de polietileno deve ser instalada contínua sobre este ponto de interrupção dos painéis, para que seja garantida a correta impermeabilização da montagem. O *siding* pode ser instalado contínuo sobre o encontro horizontal não-rígido, desde que a amplitude da movimentação prevista seja pequena (Figura 5.9).

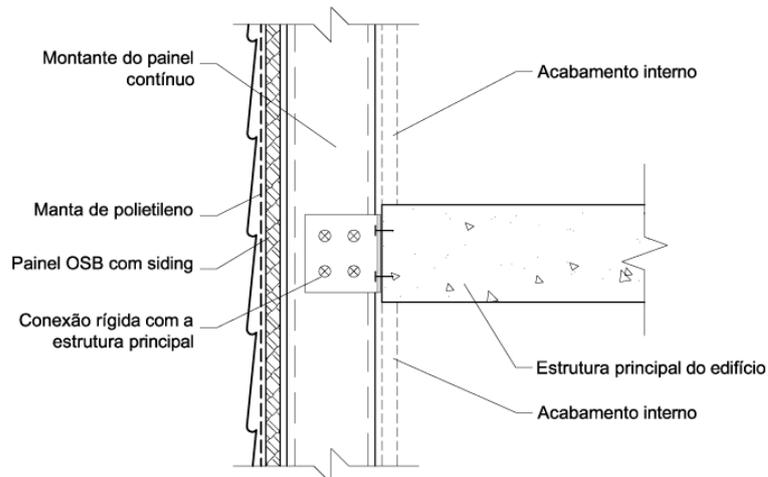


Figura 5.8 - Painel contínuo com acabamento em *siding* sobre conexão rígida

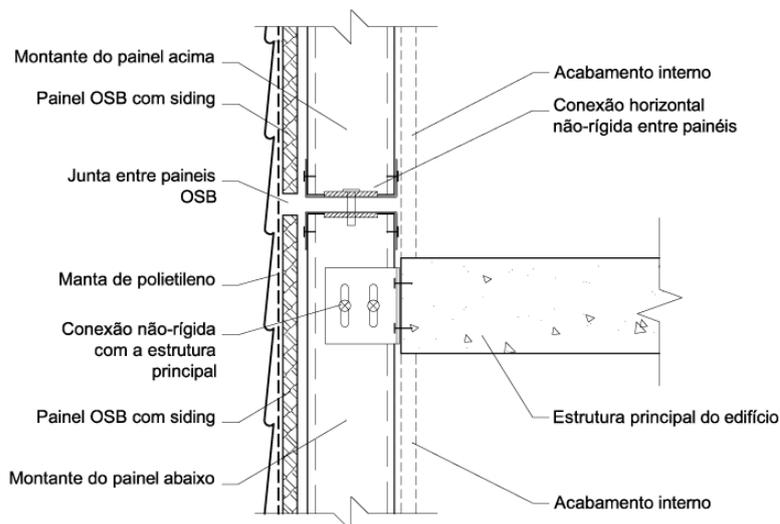


Figura 5.9 - Painel contínuo com acabamento em *siding* não interrompido sobre conexão não-rígida

No caso de se optar pela interrupção do *siding*, pode-se utilizar um perfil Z, fixado à placa OSB do painel superior e com a extremidade inferior livre, funcionando como uma espécie de pingadeira. A dimensão do perfil Z deve ser determinada em função do deslocamento previsto (Figura 5.10). Em montagens com previsão de deslocamentos pequenos, pode-se empregar um perfil tipo cartola, com as abas instaladas sob o *siding* e fixadas ao OSB, com atenção para que o perfil escolhido possua dimensão e capacidade de se deformar adequados para os deslocamentos previstos para este ponto, já que, neste detalhe, o perfil cartola funciona como uma espécie de mola, abrindo-se ou fechando-se conforme o deslocamento vertical do painel de fechamento (Figura 5.11). Em ambos os casos, a manta de polietileno deve ser sempre instalada entre os perfis de acabamento e a estrutura do painel, garantindo a não penetração de água.

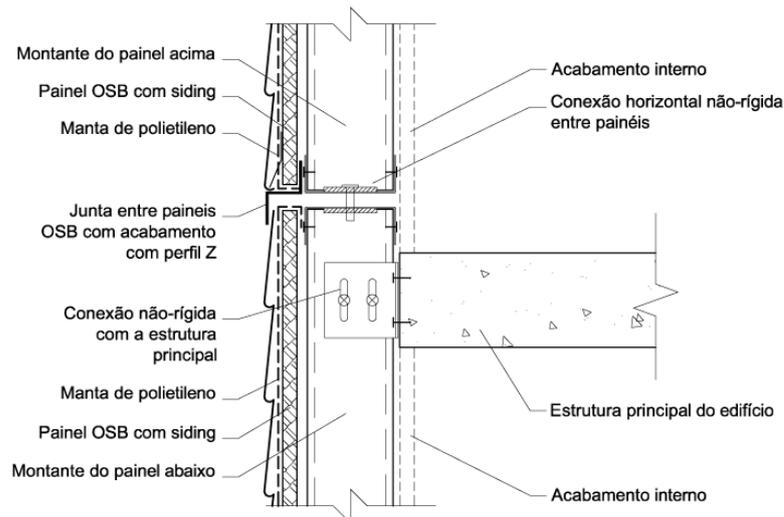


Figura 5.10 - Painel contínuo com junta em perfil Z e acabamento em *siding* sobre conexão não-rígida

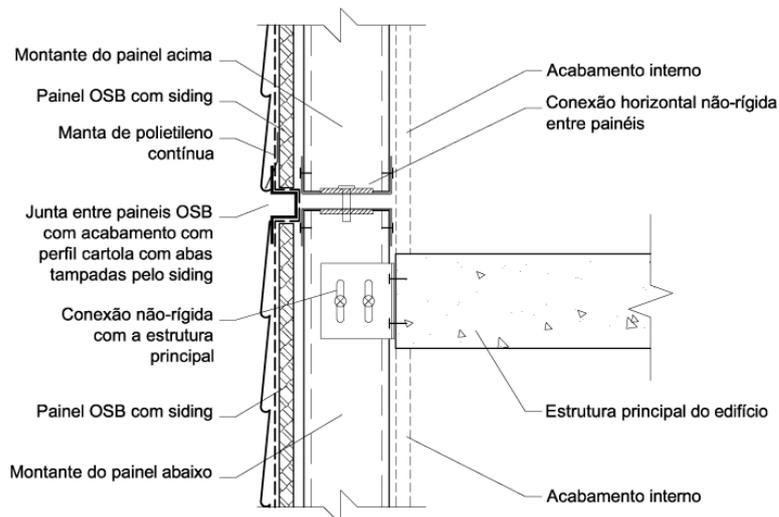


Figura 5.11 - Painel contínuo com junta em perfil cartola e acabamento *siding* sobre conexão não-rígida

5.4.1.2 - ARGAMASSA

Outro acabamento possível para painéis em LSF é o revestimento em argamassa. Esse revestimento dá aspecto final semelhante a uma construção convencional de alvenaria, por isso tem grande aceitação no mercado. O revestimento em argamassa tem evoluído no sentido de evitar problemas de trincas e fissuras decorrentes da movimentação e variação dimensional dos elementos dos painéis, com o desenvolvimento de técnicas construtivas e argamassas mais flexíveis. Porém, é um processo artesanal, que pode comprometer a velocidade da construção industrializada e apresenta grande ocorrência de patologias..

O revestimento consiste em argamassa aplicada sobre tela de fios de aço zincado expandida ou tela plástica resistente à alcalinidade, fixada ao OSB. Para garantir a aderência da argamassa, a tela deve estar disposta em duas camadas e fixada com grampos sobre a superfície do OSB (espessura 15 mm) impermeabilizada com a membrana de polietileno. A argamassa deve ser de traço forte e aplicada uniformemente não deixando a tela exposta (Figura 5.12).



Figura 5.12 - Revestimento de argamassa aplicado sobre placas de OSB com manta de polietileno e tela de aço expandida

Fonte: CRASTO, 2005, p.135

No acabamento de OSB com argamassa é necessária a presença de juntas feitas na superfície da argamassa para orientação das trincas que podem ocorrer em função da movimentação e variação dimensional do conjunto. Essas juntas não devem ser coincidentes com aquelas entre os painéis de OSB. Podem-se aplicar acabamentos diversos, como cerâmicas ou textura acrílica, mantendo-se a necessidade da execução de juntas e o uso de argamassa flexível (CRASTO, 2005).

A utilização de argamassa no acabamento de painéis de LSF é um processo artesanal, que contraria a filosofia de industrialização do sistema, levando a uma execução mais lenta do fechamento. Além disso, a movimentação inerente ao sistema LSF, não é bem absorvida pela argamassa, favorecendo o aparecimento de diversas patologias que comprometem freqüentemente a integridade da construção. Por esses motivos, o acabamento em argamassa é pouco utilizado e bastante não recomendado pelos construtores da área.

5.4.1.3 - EIFS (*EXTERIOR INSULATION AND FINISHING SYSTEM*)

Uma alternativa de acabamento para LSF que possui aparência final semelhante aos sistemas construtivos tradicionais e com baixa ocorrência de patologias é o EIFS, sigla em inglês para *Sistema de Isolamento e Acabamento Externo*, um acabamento bastante utilizado em construções em LSF fora do Brasil e que vem ganhando espaço no país em substituição ao uso de argamassa sobre OSB. O EIFS consiste em um sistema multicamada composto por um substrato de sustentação, isolamento térmico e revestimento especial (argamassa polimérica), podendo conter ainda tela de fibra de vidro para melhorar a resistência e durabilidade do material (Figura 5.13).

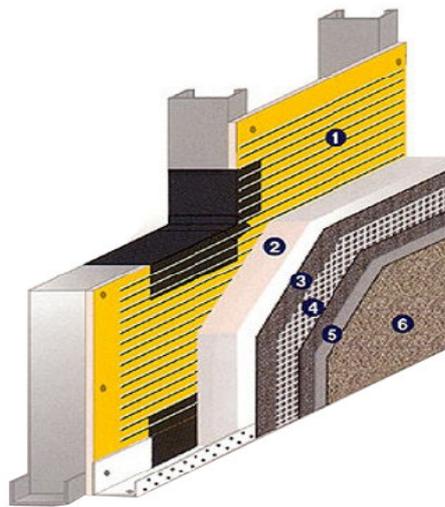


Figura 5.13 - Desenho esquemático de fechamento com EIFS

1- substrato; 2- placa de isolamento; 3- revestimento de base;
4- malha de reforço; 5- regulador de fundo; 6- revestimento final.

Fonte: FUTURENG, 2007

A solução usual no Brasil é composta por substrato de OSB (espessura 15 mm), membrana de polietileno, EPS (poliestireno expandido) e argamassa elastomérica, formando um conjunto resistente a impactos e capaz de absorver bem as movimentações inerentes ao sistema LSF (BONITESE, 2006).

A capacidade de absorver a movimentação da estrutura é uma característica importante para fechamentos associados ao LSF. O EIFS é um sistema que possui comportamento dúctil, ou seja, quando submetido a esforços é capaz de se deformar bastante antes de se romper, diferente do que ocorre com o reboco tradicional, que se quebra facilmente

devido a sua matriz cimentícia. Tal propriedade garante a menor ocorrência de patologias construtivas e comprometimento da integridade do sistema comparado à argamassa. Além disso, sua maior estabilidade dimensional permite que acabamentos utilizando o sistema EIFS possam ser executados com uma quantidade de juntas de dilatação bem menor que as que seriam necessárias em acabamento com argamassa (THOMAS, 2001).

Para execução de painéis de fachadas embutidos, assim como no acabamento em *siding*, é preciso atenção na instalação do OSB para que, no caso de conexões superiores não-rígidas, a fixação do acabamento não prejudique os deslocamentos previstos. Para tal, não deve haver parafusos fixando extremidade superior da placa de OSB à guia superior do painel ou à estrutura principal do edifício.

Nos revestimentos em EIFS para painéis embutidos, tanto rígidos quanto não-rígidos, as placas de OSB devem ser contínuas sobre a estrutura principal, para garantir a existência de substrato constante sob o acabamento e evitar a ocorrência de fissuras. Além disso, as placas contínuas garantem um menor desperdício desse material, uma vez que seus recortes serão minimizados.

Em montagens embutidas com ligações rígidas, a instalação das placas OSB com EIFS não demanda a execução de juntas ou interrupções no acabamento no ponto de encontro do painel com a estrutura do edifício, devendo se sobrepor à esta para garantir o substrato do sistema (Figura 5.14). As juntas de orientação de trincas ou de dilatação devem ser previstas de acordo com as demandas do acabamento, podendo ser locadas em qualquer ponto da fachada, de acordo com a opção arquitetônica do projeto.

Já em painéis de LSF embutidos que possuem conexões não-rígidas na extremidade superior é preciso usar juntas capazes de absorver os deslocamentos previstos. Como o OSB deve recobrir a estrutura do edifício, a junta pode ser fechada com perfis Z ou cartola fixados à estrutura principal (Figura 5.15). É importante que a placa OSB do painel abaixo da estrutura não esteja fixada à guia superior ou à estrutura, para não impedir o deslocamento proposto. É importante, também, que a manta de polietileno seja instalada de forma contínua, garantindo a impermeabilização do painel.

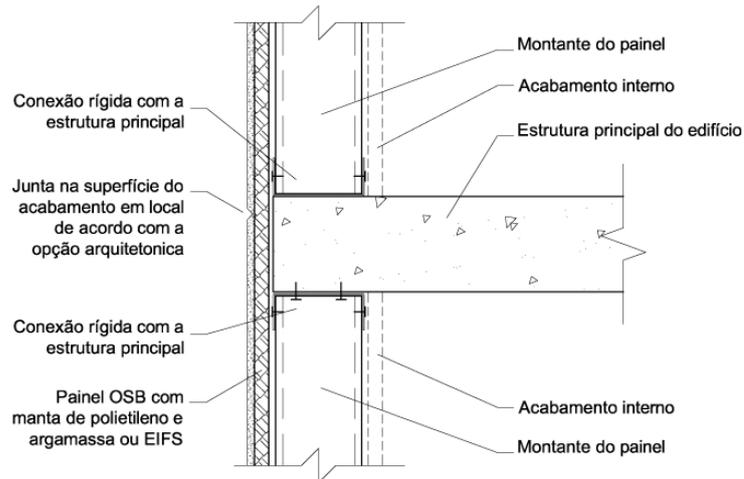


Figura 5.14 - Pannel embutido rígido com acabamento em EIFS

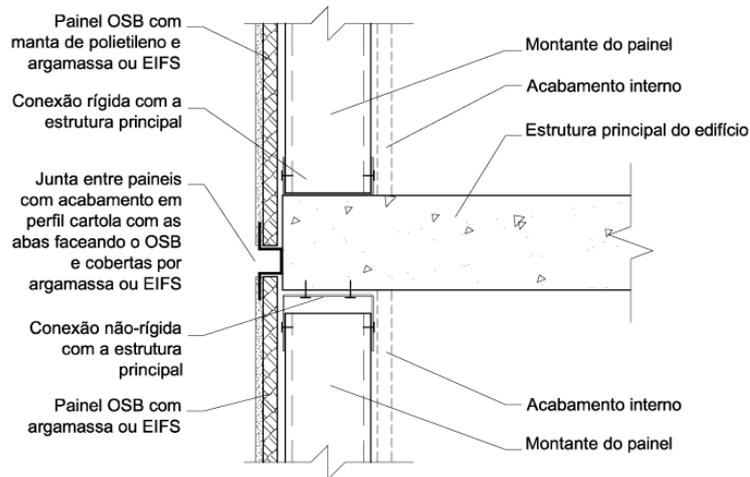


Figura 5.15 - Pannel embutido não-rígido com acabamento em EIFS

Para acabamento de painéis contínuos de LSF com EIFS não é preciso prever juntas ou interrupções nos pontos de conexão rígida dos montantes com a estrutura principal ou nos encontros horizontais rígidos entre painéis (Figura 5.16). Nesse caso, as juntas de orientação de trincas ou dilatação devem atender às demandas do acabamento e ser locadas de acordo com a opção arquitetônica. Essa situação também favorece a paginação das placas de OSB, uma vez que elas podem ser instaladas independente da divisão de pavimentos do edifício, minimizando as perdas de material com recortes.

Já nos encontros não-rígidos, deve-se interromper as placas OSB sobre o ponto de movimentação, para que estas não prejudiquem os deslocamentos do painel de fachada. No ponto de deslocamento, o acabamento em EIFS também deve ser interrompido e fechado de modo a não permitir a entrada de água. Para isso, a manta de polietileno

deve ser instalada sem interrupção, com a sobreposição prevista entre faixas horizontais ocorrendo no ponto de deslocamento, para que este não a rasgue. Além disso, deve-se utilizar um perfil metálico, que pode ser do tipo Z, formando pingadeira (Figura 5.17), ou cartola, com capacidade de absorver as deformações previstas (Figura 5.18). É importante recobrir a aba superior do perfil cartola com o EIFS, para evitar a existência de um ponto vulnerável à penetração da água.

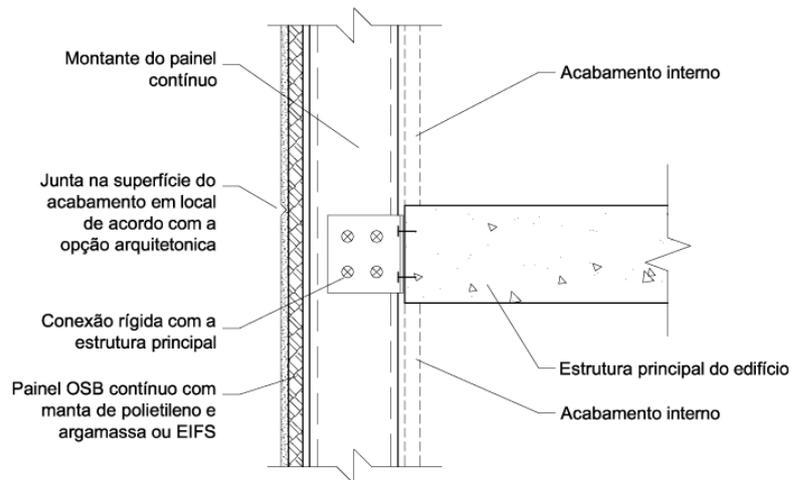


Figura 5.16 - Painel contínuo com acabamento em EIFS sobre conexão rígida

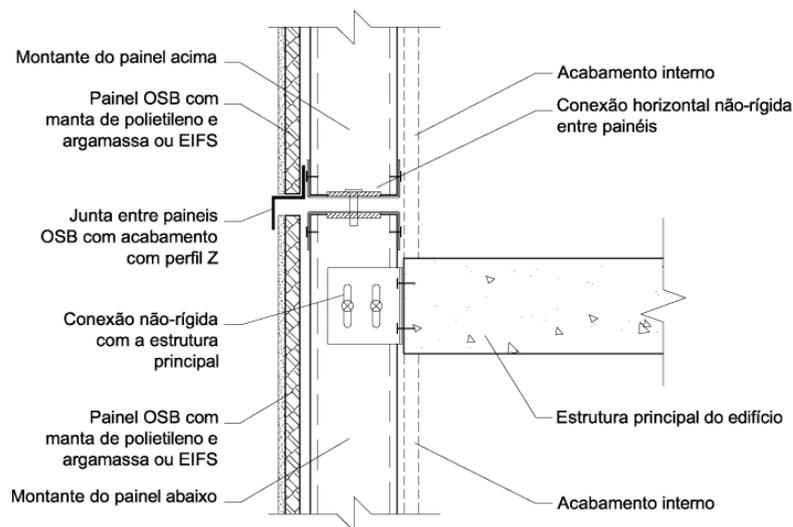


Figura 5.17 - Painel contínuo com acabamento em EIFS sobre conexão não-rígida

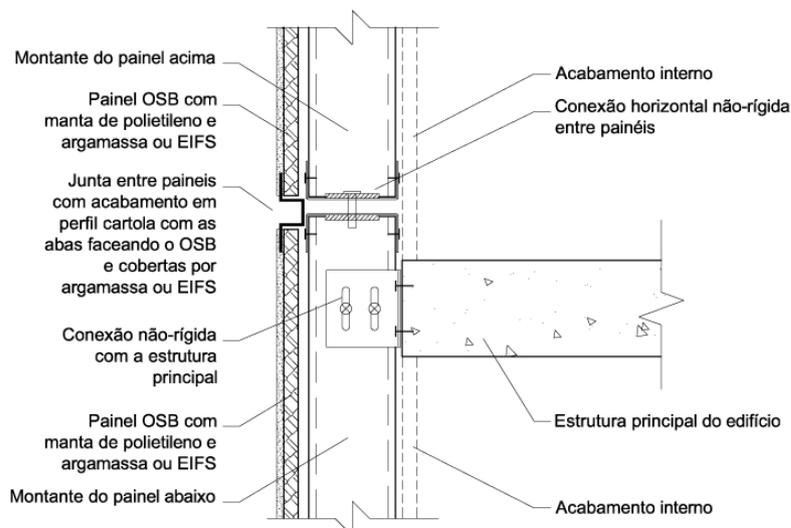


Figura 5.18 - Painel contínuo com acabamento em EIFS sobre conexão não-rígida

5.4.2 - PLACAS CIMENTÍCIAS

As placas cimentícias são uma das opções de acabamento externo e interno para fechamentos verticais em LSF. Elas utilizam, na fabricação, a tecnologia CRFS (Cimento Reforçado com Fios Sintéticos), sem amianto, e são produzidas a partir de uma mistura homogênea de cimento *Portland*, agregados naturais de celulose e reforço com fios sintéticos de polipropileno. São comercializadas no Brasil com bordas retas ou rebaixadas e em espessuras de 6, 8, 10 e 12 mm, sendo as duas últimas recomendadas para fechamentos externos. As placas possuem largura de 1200 mm e comprimento de 2000, 2400 ou 3000 mm (BRASILIT, 2007).

As placas cimentícias possuem constituição permeável ao vapor e impermeável à água, dispensando, a priori, a instalação de manta de polietileno. Porém, na sua instalação pode-se utilizar a manta de polietileno, entre os montantes de LSF e a placa, para garantir a estanqueidade da parede, o que é recomendado principalmente em juntas aparentes acabadas com perfis. O acabamento com placas cimentícias dispensa a execução de chapisco, emboço e reboco, e possui uma superfície que aceita diversos tipos de revestimento, tais como: laminado melamínico, cerâmica, verniz acrílico, pintura, massa texturizada com base acrílica e pastilhas (Figura 5.19).



Figura 5.19 - Execução de fechamento externo em placa cimentícia
Fonte: BRASILIT, 2007

As patologias mais comuns nos fechamentos com placas cimentícias são as trincas no corpo da chapa e em juntas e revestimentos. Assim, deve-se levar em consideração a variação dimensional das placas devido à temperatura e à umidade do ambiente, além da natureza dos acabamentos, na especificação do tipo de junta, que pode ser aparente ou invisível. Além disso, deve-se utilizar argamassa colante e flexível AC-II ou AC-III⁵ no assentamento de peças cerâmicas ou similares.

As placas cimentícias devem ser parafusadas nos montantes e nas guias com espaçamento máximo entre parafusos de 30 cm e dispostos a 12 mm das bordas das placas. Nos cantos das placas cimentícias, recomenda-se parafusar no sentido horizontal a 5 cm da borda e no sentido vertical a 10 cm da borda. As cabeças dos parafusos devem ser tratadas com massa cimentícia.

As juntas entre placas, que podem ser aparentes abertas, aparentes com matajunta ou invisíveis, devem ocorrer alinhadas com os perfis metálicos. No caso da utilização de

⁵ A argamassa colante industrializada AC-II é definida pela NBR 14081:1998 como sendo a que apresenta resistência a tensões de tração igual ou maior que 0,5 MPa nas interfaces substrato/adesivo e placa cerâmica/adesivo, com tempo em aberto de pelo menos 20 minutos. Já a argamassa AC-III é aquela com resistência à tração igual ou maior que 1,0 MPa e tempo em aberto de pelo menos 20 minutos.

juntas invisíveis, recomenda-se a defasagem nas juntas horizontais e verticais, o que resulta em uma melhor amarração. Nos vãos de portas ou janelas, as juntas das placas não devem coincidir com os alinhamentos dos batentes ou vergas, evitando possíveis fissuras. (BRASILIT, 2007).

As juntas precisam ser dimensionadas corretamente e seladas para que o sistema de fechamento seja perfeitamente estanque. As juntas de dessolidarização devem existir entre os painéis e os pilares e entre os painéis e as vigas e lajes, com no mínimo 6 mm de largura. Entre as placas devem existir juntas com largura de 3 a 6 mm, variando conforme a espessura e recomendação do fabricante (COSTA, 2004).

Para execução de juntas invisíveis, deve-se utilizar placas cimentícias com bordas rebaixadas. Seu acabamento é feito com emprego de massa cimentícia ou argamassa flexível AC-III-E⁶ combinadas com tela de fibra de vidro resistente a álcalis ou ainda resina poliéster associada a manta de fibra de vidro, ambas instaladas em camadas sucessivas, conforme as orientações e recomendações específicas dos fabricantes (Figura 5.20).



Figura 5.20 - Junta oculta entre placas cimentícias

Fonte: CRASTO, 2005, p.143

⁶ A argamassa colante industrializada AC-III-E é definida pela NBR14081:1998 como sendo a que apresenta resistência a altas tensões de tração ($\geq 1,0$ MPa) nas interfaces substrato/adetivo e placa cerâmica/adetivo, com tempo em aberto estendido (≥ 30 minutos) (adaptado de COSTA, 2004, p.96).

As juntas aparentes, que podem ser abertas ou fechadas com matajunta, são uma boa alternativa no caso de placas que possuem o coeficiente de variação dimensional muito alto (CRASTO, 2005). Para esse tipo de junta, as bordas das placas devem ser planas.

As juntas aparentes rebaixadas devem ser feitas com a deposição direta de uma fina camada de selante flexível (silicone, elastômeros ou polissulfeto bi-componente) sobre o perfil (Figura 5.21 A). Já para juntas niveladas, há necessidade da inserção de um fundo de junta, tipo cordão de polietileno expandido ou similar, e posterior deposição do selante flexível (Figura 5.21 B).

Para execução de juntas aparentes com matajuntas, deve-se utilizar placas de bordas quadradas. É recomendado o uso de manta de polietileno entre as placas cimentícias e os montantes para garantir estanqueidade à água do sistema. O perfil matajunta (em PVC, aço ou alumínio) pode ser do tipo cartola (Figura 5.21 C), ou de sobrepor (Figura 5.21 D) (BRASILIT, 2007).

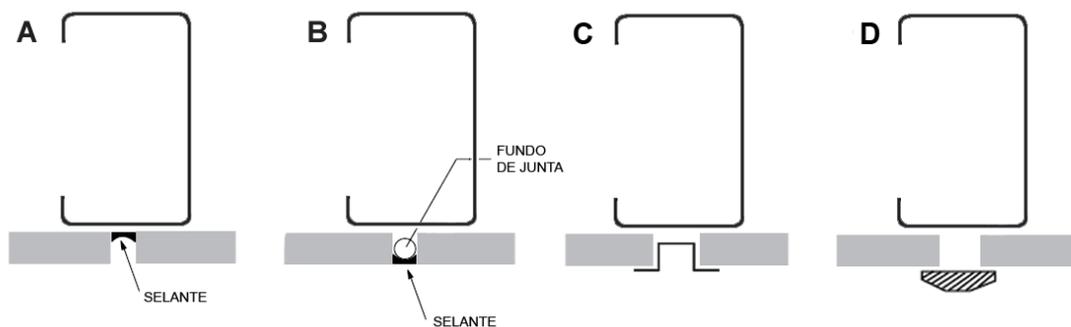


Figura 5.21 - Juntas aparentes entre placas cimentícias
Fonte: BRASILIT, 2007

Para acabamento de painéis de fechamento vertical em LSF para edifícios, as placas cimentícias são uma opção interessante pelo resultado final do acabamento ser semelhante ao de fechamentos convencionais em tijolos com argamassa. Sobre o EIFS, que também permite esse resultado estético, a placa cimentícia possui a vantagem de ter execução mais rápida, que, em edifícios de múltiplos andares, implica em grande economia na montagem de andaimes.

As placas cimentícias podem ser instaladas nos fechamentos externos de forma a deixar a estrutura do edifício aparente ou podem envolvê-la. Em montagens embutidas onde as conexões do painel com a estrutura principal são rígidas, a opção por envolver a estrutura com as placas cimentícias implica na não necessidade de alinhamento das juntas entre placas (que são executadas como juntas comuns) com as extremidades dos painéis de LSF (Figura 5.22). Nesta situação, há melhor aproveitamento das placas, menor quantidade de juntas e arremates, maior facilidade e menos interrupções na instalação da manta de polietileno, além da paginação de eventuais juntas no acabamento (pastilhas cerâmicas ou similares) poder ser feita livremente de acordo com a opção arquitetônica adotada.

Já nas situações onde há conexões não-rígidas entre painéis de LSF e a estrutura do edifício, e esta é envolvida pelas placas cimentícias, é preciso prever juntas de dilatação entre as placas, próximas aos pontos de deslocamento previstos. Para arremate, podem-se utilizar perfis metálicos Z, que funcionam como pingadeiras (Figura 5.23), ou ainda, preencher as juntas com selante flexível adequado, quando os deslocamentos previstos forem pequenos. É preciso cuidado na instalação das placas cimentícias em painéis de LSF com conexões superiores não-rígidas, já que não deve haver fixação da extremidade superior da placa na guia superior do painel ou na estrutura principal, pois, caso contrário, os deslocamentos planejados para a conexão podem ser impedidos.

Para casos onde se opte por manter a estrutura do edifício aparente, as juntas entre as placas cimentícias e a estrutura principal podem ser preenchidas com selante flexível ou com perfis metálicos Z ou cantoneira (formando pingadeira). Nos casos de estruturas em concreto, pode-se utilizar a técnica de execução de juntas ocultas entre placas cimentícias para o ponto de encontro dessas com a estrutura, criando uma junta rígida invisível (Figura 5.24).

Já nos encontros onde há conexões não-rígidas, uma opção interessante é o uso de cantoneira metálica fixada apenas à face inferior da estrutura do edifício, formando uma pingadeira sobre a placa cimentícia do painel (Figura 5.25). O emprego de perfil metálico cartola pode ser feito neste ponto, nos casos em que os deslocamentos previstos são pequenos, devendo ser prevista a execução de revestimento sobre a placa

cimentícia (em pastilhas ou similar), de modo a recobrir a aba superior, impedindo, assim, a entrada de água por este ponto.

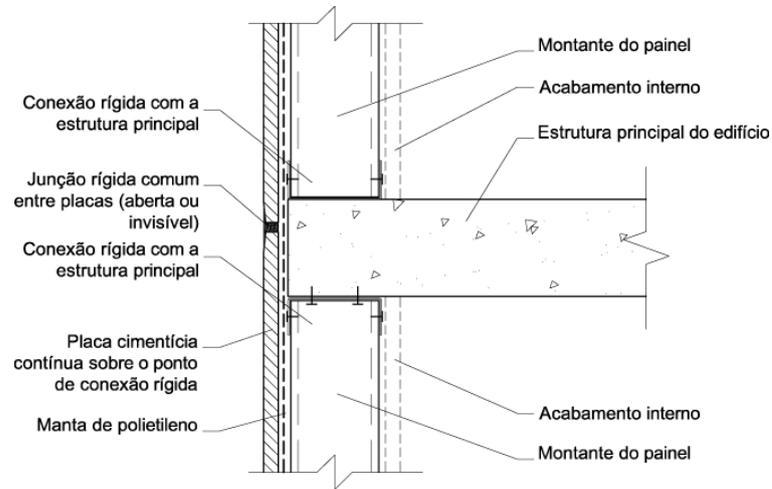


Figura 5.22 - Painel embutido rígido com acabamento em placa cimentícia e estrutura principal envolvida

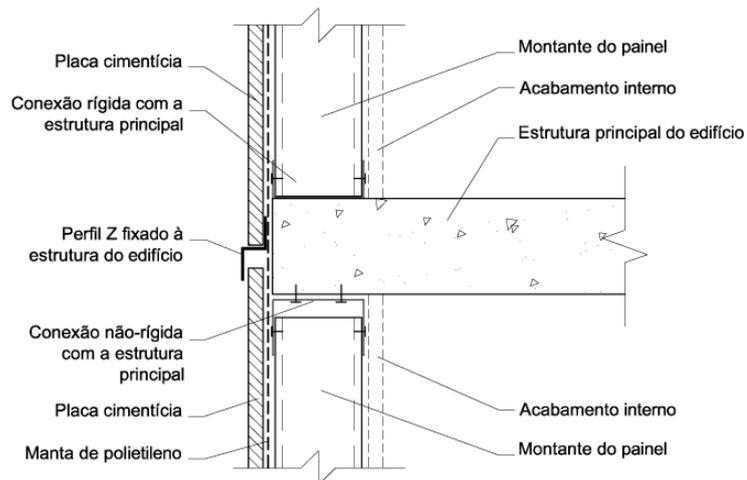


Figura 5.23 - Painel embutido não-rígido, com placa cimentícia envolvendo a estrutura principal

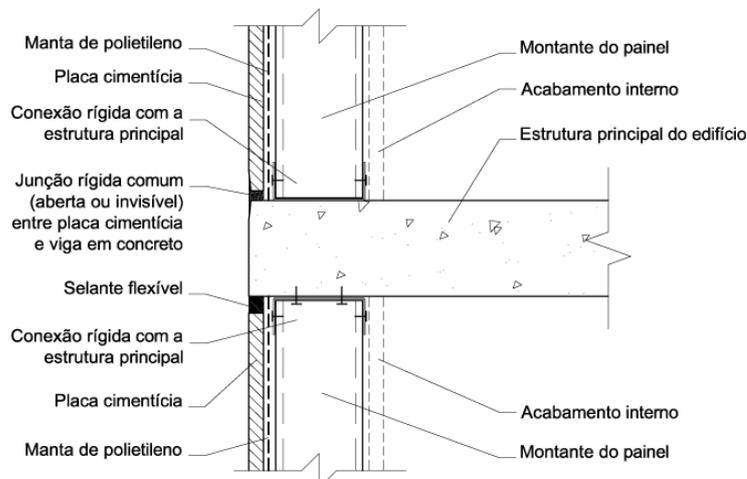


Figura 5.24 - Painel embutido rígido com acabamento em placa cimentícia e estrutura principal aparente

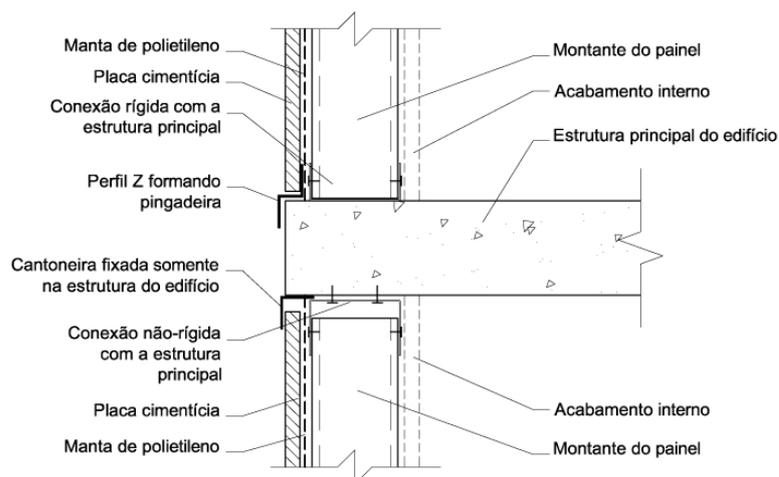


Figura 5.25 - Painel embutido não-rígido com placa cimentícia e estrutura principal aparente

Para painéis de LSF contínuos sobre a fachada do edifício, as placas cimentícias devem ser instaladas contínuas ou com juntas comuns (abertas ou invisíveis), sobre os pontos de conexão rígida dos montantes do fechamento com a estrutura do edifício ou nos encontros horizontais rígidos entre painéis, onde não há deslocamentos previstos para serem absorvidos pelo acabamento do painel (Figura 5.26 e Figura 5.27).

Já nos encontros não-rígidos entre painéis, assim como ocorre nos acabamentos com substrato de OSB, devem-se interromper as placas sobre o ponto de movimentação, para que estas não prejudiquem os deslocamentos previstos para o painel de fachada (Figura 5.28). Os arremates podem ser feitos com perfis metálicos tipo Z (formando pingadeira) ou cartola (este com os mesmos cuidados que devem ser dispensados no arremate de conexões não-rígidas de painéis embutidos).

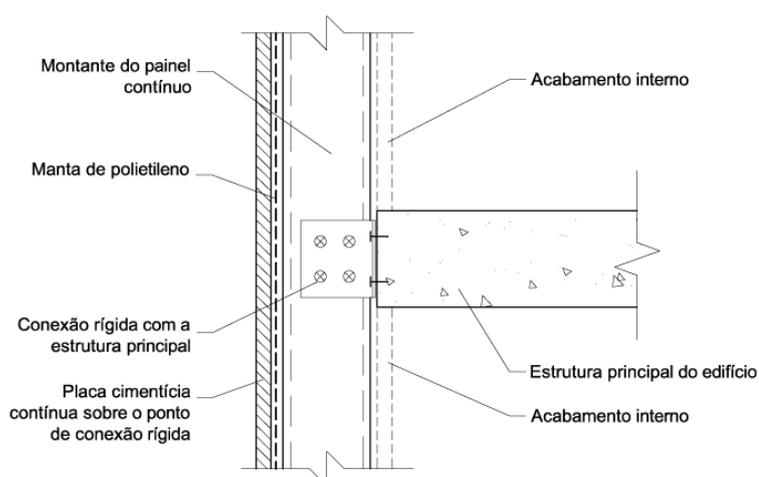


Figura 5.26 - Painel contínuo com acabamento em placa cimentícia sobre conexão rígida

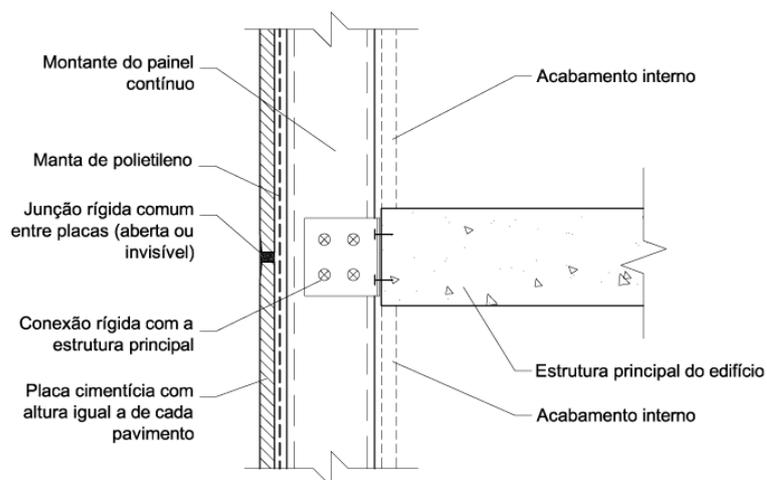


Figura 5.27 - Painel contínuo com junta oculta em placa cimentícia sobre conexão rígida

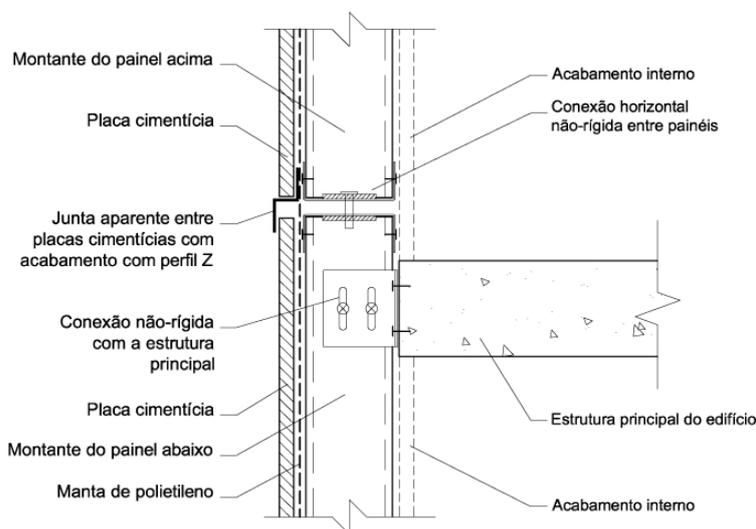


Figura 5.28 - Painel contínuo com junta em perfil Z em placa cimentícia sobre conexão não-rígida

5.4.3 - ALVENARIA

A alvenaria é um sistema construtivo artesanal, com conceito e velocidade de execução diferentes do LSF. Sua utilização baseia-se em demandas estéticas dos clientes ou em códigos de obras, como, por exemplo, em regiões de ocorrência de furacões, onde a barreira de alvenaria de blocos maciços à frente do painel em LSF é requerida com o objetivo de proteger a edificação e seus ocupantes de objetos carregados pelo vento.

O acabamento em alvenaria no sistema LSF é feito com a construção de uma parede paralela aos montantes, que funciona como um invólucro vinculado a eles por meio de

conectores metálicos com o papel de evitar o tombamento da alvenaria; porém esses conectores não resistem a qualquer carga vertical da parede em tijolos (Figura 5.29).



Figura 5.29 - Fechamento de alvenaria sobre painel OSB com manta de polietileno

Quando utilizada nas construções em LSF, a alvenaria é um fechamento independente da estrutura, sendo as cargas verticais da parede de alvenaria transferidas diretamente para as fundações, não havendo qualquer transferência para os montantes metálicos.

É necessária a utilização do OSB no assentamento dos tijolos, para propiciar uma base para a impermeabilização (feita com manta de polietileno, que funciona como uma barreira extra, visto que a alvenaria também faz este papel), para servir de ponto para fixação dos conectores metálicos e para funcionar como diafragma rígido, quando for o caso.

5.4.4 - GESSO CARTONADO

As placas de gesso cartonado devem ser utilizadas apenas em áreas internas, protegidas das intempéries. Além do acabamento da face interna do fechamento vertical externo em LSF, também são empregadas nas divisórias internas entre cômodos e nos forros.

As chapas de gesso cartonado são fabricadas industrialmente por meio de um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão, conferindo ao gesso resistência à tração e flexão. As placas de gesso cartonado utilizadas no LSF são as mesmas utilizadas no sistema *Drywall* e não desempenham

função estrutural. Essas chapas de gesso são comercializadas com espessuras de 9,5, 12,5 e 15 mm, largura de 1200 mm e comprimentos que variam de 1800 a 3600 mm.

O sistema de produção das placas de gesso cartonado permite derivações e composições de acordo com as necessidades de resistência à umidade e ao fogo, isolamento acústico ou fixação em grandes vão. (TANIGUTI, 1999).

No mercado brasileiro, são disponibilizados três tipos de chapas:

- Placa Standard (ST), para aplicação em áreas secas;
- Placa Resistente à Umidade (RU), conhecida como placa verde, para paredes destinadas a ambientes sujeitos à ação da umidade;
- Placa Resistente ao Fogo (RF), conhecida como placa rosa, para aplicação em áreas secas que necessitem de um maior desempenho em relação ao fogo (ex.: saídas de emergência, escadas enclausuradas, *shafts*).

A instalação das chapas pode ser feita na vertical ou na horizontal, porém, para melhor aproveitamento da chapa, recomenda-se sua fixação com o comprimento na posição vertical (Figura 5.30). Deve-se sempre deixar uma folga de pelo menos 10 mm entre a base da chapa de gesso e o piso, para evitar absorção de umidade. As juntas verticais entre chapas devem sempre ocorrer sobre os montantes e quando o pé-direito for maior que o comprimento das chapas, suas juntas horizontais devem ser desencontradas.

As chapas de gesso são parafusadas aos montantes com espaçamento de 25 cm entre os parafusos e, no mínimo, a 1 cm da borda da chapa. Caso haja duas camadas de placas de gesso, a primeira deve ser fixada a cada 50 cm e a segunda a cada 25 cm. Deve-se ter atenção para que a cabeça do parafuso fique alinhada à face do cartão, sem perfurá-lo totalmente ou ficar saliente. As cabeças dos parafusos devem ser tratadas com massa para rejuntamento e lixadas para acabamento (ABRAGESSO, 2004).



Figura 5.30 - Instalação de placa de gesso cartonado

Após a fixação das placas de gesso, é executado o tratamento das juntas entre as placas. As juntas devem ser niveladas às chapas de gesso e não devem conter imperfeições, para que os painéis apresentem aspecto monolítico. Para o nivelamento correto das juntas, as placas são fornecidas com bordas rebaixadas. O tratamento das juntas deve ser feito com massa para rejuntamento específica associada a fitas de papel microperfurado especial, não devendo ser utilizado gesso em pó comum com água, massa corrida (PVA) ou massa acrílica (Figura 5.31) (TANIGUTI, 1999).

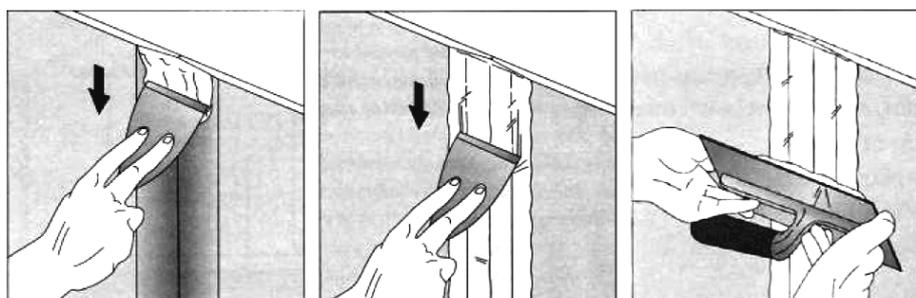


Figura 5.31 – Etapas de execução de junta em placas de gesso cartonado
Fonte: ABRAGESSO, 2004

As placas de gesso podem receber acabamentos variados como pinturas, revestimentos cerâmicos, laminados plásticos ou melamínicos, entre outros. Para pintura, recomenda-se a aplicação de selador em toda a superfície da parede antes da execução. Para peças cerâmicas e similares, deve-se utilizar argamassa colante do tipo AC-II ou AC-III.

Na execução dos fechamentos internos, em painéis de fachada embutidos em LSF com conexão superior rígida, a placa de gesso cartonado pode ser instalada com a extremidade superior rente à laje ou à estrutura principal do edifício (Figura 5.32) ou com espaçamento (10 mm) preenchido com selante flexível. Já na extremidade inferior, onde há sempre uma conexão rígida do painel com o a estrutura do edifício, a placa de gesso deve ficar distanciada 10 mm da laje de piso, para evitar a absorção de umidade, conforme recomendado pelos fabricantes (Figura 5.33).

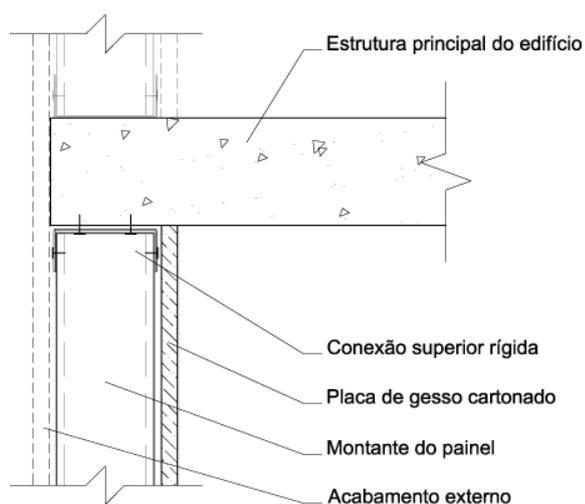


Figura 5.32 - Junção superior do acabamento em gesso de painel embutido rígido

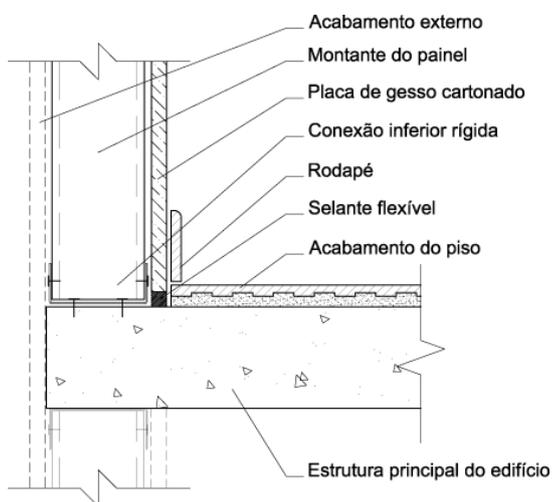


Figura 5.33 - Arremate inferior típico no acabamento em gesso de painel embutido

Nos painéis de LSF montados pelo método contínuo, as recomendações anteriores são válidas para os pontos onde esses painéis possuem conexões rígidas com a estrutura principal do edifício (Figura 5.34).

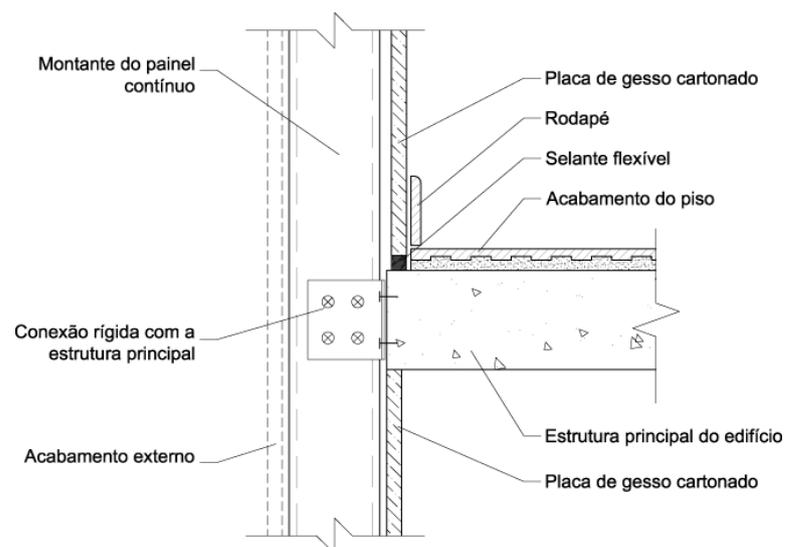


Figura 5.34 - Arremates de acabamento em gesso, para painel contínuo com conexão rígida

Na execução da extremidade superior do fechamento interno em gesso cartonado para painéis embutidos ou contínuos com conexão não-rígida, deve-se permitir que o deslocamento previsto ocorra sem danificar a placa de acabamento. Para isso, a extremidade superior da placa de gesso não deve ser parafusada à guia superior do painel e deve ficar espaçada da face inferior da estrutura do edifício, com distância definida em função dos deslocamentos previstos. O acabamento deste espaço pode ser executado com selante flexível (Figura 5.35) ou com rodapê (Figura 5.36) fixado apenas à estrutura acima, ou ainda este espaço entre laje e placa de gesso pode ficar oculto sobre o forro em gesso, se este existir.

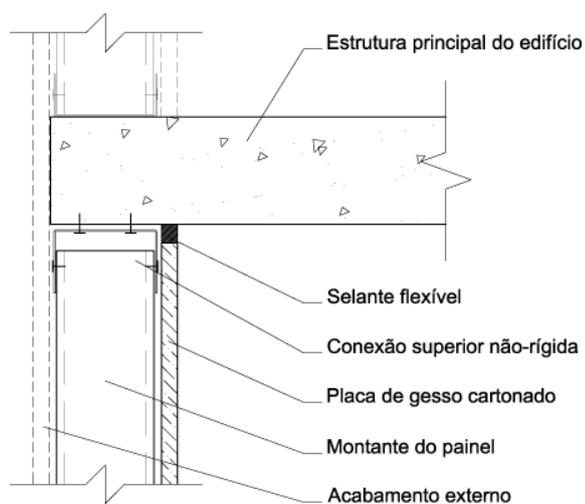


Figura 5.35 - Arremate superior com selante no acabamento em gesso de painel embutido não-rígido

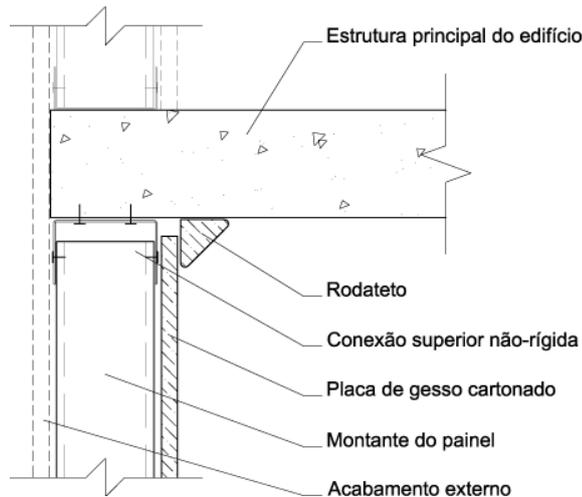


Figura 5.36 - Arremate superior com rodapê no acabamento em gesso de painel embutido não-rígido

Já os encontros horizontais não-rígidos entre painéis contínuos necessitam de atenção especial, que deve começar no planejamento da estrutura dos painéis. É preciso que esses encontros ocorram próximo à face superior da laje de piso e deve existir uma cantoneira metálica de arremate do piso conectada ao painel acima, ao longo de toda a extremidade da laje. A placa de gesso deve ser fixada apenas no painel acima da conexão e na cantoneira de arremate do piso, que são os elementos que não se deslocam verticalmente neste ponto. O espaço entre a extremidade inferior da placa e a laje de piso deve ser preenchido com selante flexível e posteriormente oculto pelo rodapé de acabamento do espaço. (Figura 5.37).

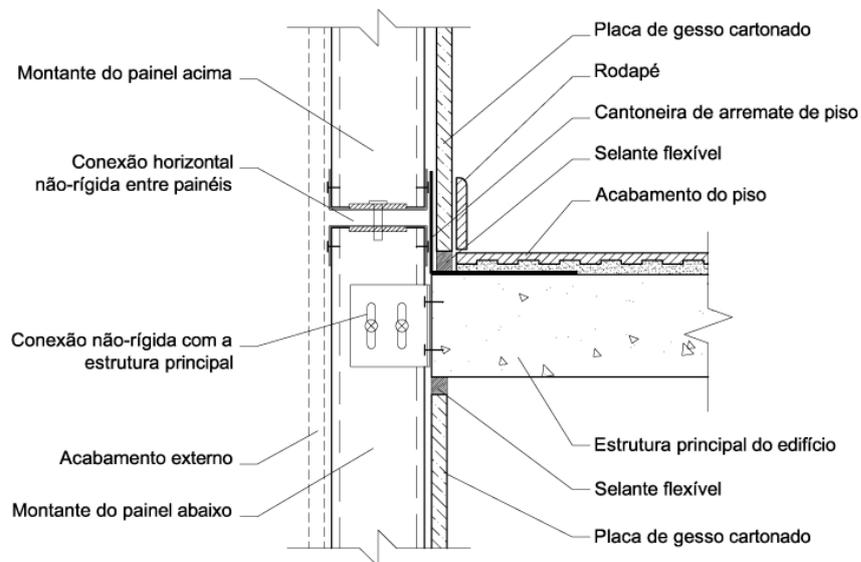


Figura 5.37 - Arremate de acabamento em gesso, para painel contínuo com conexão não-rígida

5.4.5 - PAINÉIS METÁLICOS

Os fechamentos verticais em LSF podem ser acabados externamente com painéis pré-fabricados, porém estes devem ser painéis leve (até 100 kg/m^3), para que os perfis com pequena espessura, comuns do sistema, possam ser capazes de suportar as cargas. Nestes requisitos se encaixam bem os painéis metálicos, de aço ou alumínio (Figura 5.38), que podem ser perfilados a partir de chapas simples ou do tipo sanduíche (compósito).



Figura 5.38 - Painéis metálicos de acabamento externo. Obra: Instituto Tomie Ohtake, São Paulo

Os painéis metálicos perfilados são lâminas metálicas simples, onde a espessura da chapa e a presença de enrijecedores do lado interno do painel são determinantes para evitar ondulações na sua superfície. A espessura da lâmina metálica varia de 3 a 6 mm. Sua resistência a impactos é baixa, por isso tais painéis devem ser usados em fachadas nas partes pelo menos 1,5 m acima do nível da rua (SILVA e SILVA, 2004).

Já os painéis compósitos são formados por duas chapas metálicas vinculadas entre si através de um material leve. O espaçamento entre as lâminas determina o nível de isolamento termo-acústico e a rigidez do conjunto final. Os materiais de isolamento mais usuais são a lã mineral (lã de vidro, rocha, carbono ou cerâmica), a colméia de papel, as lâminas de poliestireno e as espumas de poliuretano. A resistência resultante da combinação do metal com o material de isolamento permite o emprego de lâminas metálicas finas, com espessura entre 1,2 e 2,0 mm (SILVA e SILVA, 2004).

Os painéis podem ser fixados ao fechamento por meio de uma estrutura secundária combinada a pinos ocultos (Figura 5.39), que permitem a fácil remoção depois de instalado, devendo ser essa fixação suplementada com pelo menos uma fixação parafusada por painel. Há também a possibilidade de fixação dos painéis com parafusos conectados diretamente à estrutura de LSF (Figura 5.40), encaixe tipo macho-fêmea ou utilização de *inserts* de fixação (Figura 5.41). Em todos os casos é importante ter atenção no isolamento entre as superfícies de metais de natureza diferente, para evitar a ocorrência de corrosão galvânica⁷.

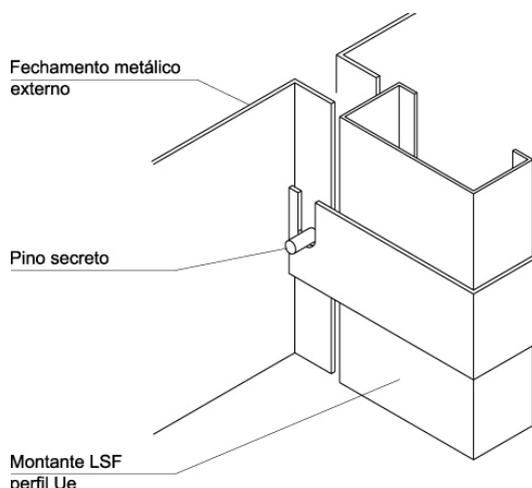


Figura 5.39 - Detalhe esquemático de fixação com pinos ocultos

Fonte: Adaptado de SILVA e SILVA, 2004, p.48

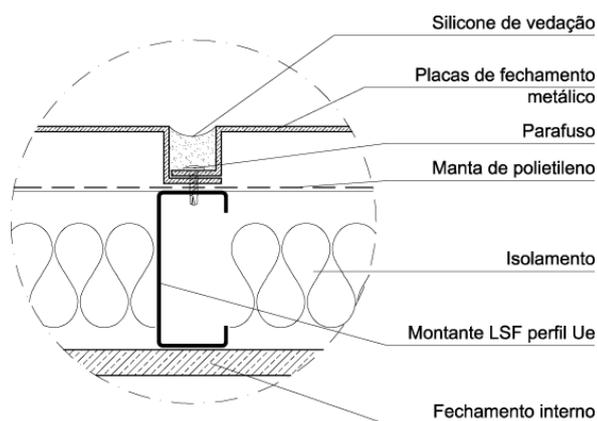


Figura 5.40 - Seção horizontal de esquema de fixação de painel metálico com parafuso

⁷ Corrosão galvânica é aquela que ocorre entre dois metais diferentes, quando imersos num meio condutor. (PEREIRA JUNIOR, 2004, p.31)

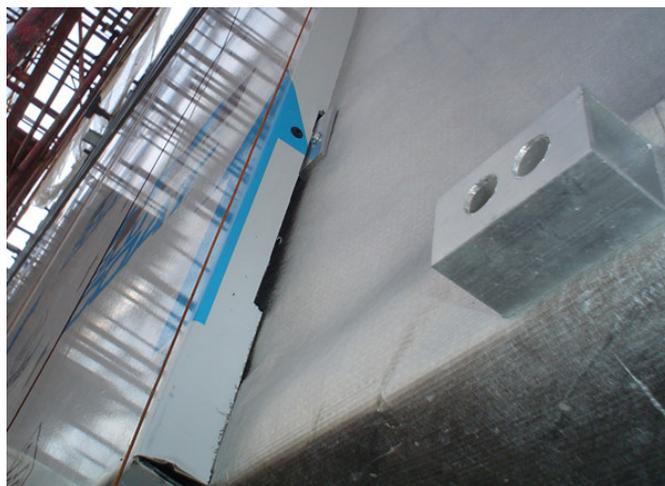


Figura 5.41 - Inserts para fixação de painel metálico sobre fechamento em LSF

As juntas entre painéis devem ser tratadas de forma adequada para evitar a penetração de água e garantir a estanqueidade do sistema. Um material recomendado para o preenchimento das juntas é o silicone, pela sua capacidade de deformação e resistência às intempéries. Pode-se também optar pela instalação de manta de polietileno de alta densidade entre os painéis metálicos e os montantes de LSF para contribuir para a estanqueidade do sistema. Há também formas de execução das juntas onde a geometria da borda do painel metálico e sua sobreposição colabora para a estanqueidade do sistema.

As fixações e juntas devem ser pensadas de forma a acomodar as deformações e deslocamentos aos quais a estrutura está sujeita. Para tal, pode-se optar pelo uso de furos oblongos nas fixações dos painéis com parafusos ou pinos aos montantes. É recomendado que os painéis metálicos sigam a modulação estrutural dos perfis de LSF para facilitar sua instalação e minimizar o desperdício de material.

6

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Esta etapa do trabalho tem como objetivo principal quebrar paradigmas e “pré-conceitos” em relação ao sistema construtivo proposto, com apresentação de algumas de suas características técnicas, vantagens e desvantagens em relação aos seus concorrentes convencionais no mercado.

São apresentados a seguir características levantadas junto a fabricantes e em bibliografia disponível, com avaliação e proposição de diretrizes para sua otimização, com o intuito de situar o sistema LSF e embasar tomada de decisão a seu respeito. A avaliação global da edificação é a forma mais adequada de se avaliar seu desempenho, porém cada um dos sistemas que a compõem possuem seus requisitos específicos e as características do sistema de fechamento são importantes para a performance da edificação.

6.1 - RESISTÊNCIA AO VENTO

Os fechamentos executados em LSF, em edificações com estrutura principal em aço ou em concreto, não possuem função estrutural na sustentação da construção. Sua função estrutural se restringe à resistência às cargas decorrentes do vento. Sendo assim, o conhecimento da capacidade resistiva dos quadros de LSF é de fundamental importância para garantir o atendimento a critérios mínimos de desempenho.

A resistência desses fechamentos ao vento pode ser determinada de duas formas. A primeira é por um estudo analítico, considerando as condições de contorno e propriedades geométricas da montagem para cálculo da resistência horizontal, a partir de uma flecha admissível máxima. Pode-se também optar pela realização de ensaios das montagens propostas em túneis de ventos, seguindo a bibliografia pertinente.

Nas tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 são apresentados dados de resistência ao vento (pressão máxima admissível) em diversas montagens de painéis de fechamento em LSF. As mesmas foram elaboradas com base em informações fornecidas por fabricantes estrangeiros destes sistemas em seus catálogos técnicos. As seções apresentadas são aquelas utilizadas por empresas no Reino Unido e baseadas nas normas locais.

As flechas admissíveis para os perfis do fechamento variam conforme o material de acabamento empregado. A Tabela 3.1 apresenta estes dados para alguns materiais comuns do sistema.

As tabelas consideram a pressão máxima admissível de vento para painéis de fachadas, para os montantes listados, em três hipóteses de flecha admissível, com resultados apresentados em kN/m^2 . Os montantes considerados são espaçados em 600 mm e travados lateralmente na metade de sua altura. A carga dos elementos de fechamento e isolamento é considerada menor que $1,0 \text{ kN/m}^2$. O valor máximo considerado para as cargas suportadas é de $5,0 \text{ kN/m}^2$.

Tabela 6.1 - Pressão máxima admissível de vento (kN/m^2) em painéis de LSF, com flecha máxima de L/240

FLECHA MÁXIMA L/240					
Seção Montante	Altura do vão (L) vencido pelo fechamento (mm)				
	2400	2700	3000	3600	4200
Ue 100x50x12x1,2	3,183	2,235	1,629	0,943	0,594
Ue 100x50x12x1,5	3,950	2,777	2,022	1,170	0,737
Ue 100x50x12x2,0	5,000	3,636	2,651	1,534	0,966
Ue 150x50x12x1,2	5,000	5,000	4,171	2,414	1,520
Ue 150x50x12x1,5	5,000	5,000	5,000	3,004	1,890
Ue 150x50x12x2,0	5,000	5,000	5,000	3,955	2,491
Ue 200x63x14x1,2	5,000	5,000	5,000	5,000	3,550
Ue 200x63x14x1,5	5,000	5,000	5,000	5,000	4,415
Ue 200x63x14x2,0	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000

Fonte: HADLEY GROUP, 2005, p.17

Tabela 6.2 - Pressão máxima admissível de vento (kN/m^2) em painéis de LSF, com flecha máxima de L/360

FLECHA MÁXIMA L/360					
Seção utilizada	Altura do vão (L) vencido pelo fechamento (mm)				
	2400	2700	3000	3600	4200
Ue 100x50x12x1,2	2,122	1,490	1,086	0,629	0,396
Ue 100x50x12x1,5	2,633	1,849	1,348	0,780	0,491
Ue 100x50x12x2,0	3,451	2,424	1,767	1,023	0,644
Ue 150x50x12x1,2	5,000	3,814	2,781	1,609	1,013
Ue 150x50x12x1,5	5,000	4,746	3,460	2,002	1,261
Ue 150x50x12x2,0	5,000	5,000	4,557	2,637	1,661
Ue 200x63x14x1,2	5,000	5,000	5,000	3,792	2,388
Ue 200x63x14x1,5	5,000	5,000	5,000	4,620	2,984
Ue 200x63x14x2,0	5,000	5,000	5,000	5,000	3,943

Fonte: HADLEY GROUP, 2005, p.17

Tabela 6.3 - Pressão máxima admissível de vento (kN/m^2) em painéis de LSF, com flecha máxima de L/600

FLECHA MÁXIMA L/600					
Seção utilizada	Altura do vão (L) vencido pelo fechamento (mm)				
	2400	2700	3000	3600	4200
Ue 100x50x12x1,2	1,273	0,894	0,652	0,377	0,238
Ue 100x50x12x1,5	1,580	1,110	0,809	0,468	0,295
Ue 100x50x12x2,0	2,071	1,454	1,060	0,614	0,386
Ue 150x50x12x1,2	3,258	2,289	1,668	0,965	0,608
Ue 150x50x12x1,5	4,055	2,848	2,076	1,201	0,757
Ue 150x50x12x2,0	5,000	3,750	2,734	1,582	0,996
Ue 200x63x14x1,2	5,000	5,000	3,932	2,275	1,433
Ue 200x63x14x1,5	5,000	5,000	4,783	2,852	1,770
Ue 200x63x14x2,0	5,000	5,000	5,000	3,757	2,366

Fonte: HADLEY GROUP, 2005, p.17

É importante perceber que as seções dos perfis apresentados possuem dimensões padrão aplicadas no Reino Unido, que são diferentes das brasileiras. Os perfis apresentam seções típicas de 100x50 mm, 150x50mm e 200x50 mm, enquanto aqueles que seguem as normas nacionais possuem seções de 90x40 mm, 140x40 mm e 200x40 mm. O objetivo da informação apresentada é servir de referência, uma vez que os valores de pressão máxima admissível que seriam determinados para os perfis brasileiros teriam grandezas próximas às apresentadas.

A NBR 6123:1988 é a norma brasileira utilizada na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações. Por meio das indicações de tal norma, pode-se determinar a pressão de vento em determinada edificação, baseando-se em suas características geométricas, localização, entorno e ocupação planejada. Segundo essa norma, para obter-se a pressão de vento, as equações a serem utilizadas são as seguintes:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (6.1)$$

Onde: V_k – Velocidade característica do vento (m/s);

V_0 – Velocidade básica do vento, que varia conforme a região (m/s);

S_1 – Fator Topográfico, que leva em consideração o relevo do terreno, fornecido no mapa brasileiro de isopletas (adimensional);

S_2 – Fator de Rugosidade, que considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte considerada (adimensional);

S_3 – Fator Estatístico, é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação (adimensional).

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (6.2)$$

Onde: q – Pressão dinâmica de vento (kN/m²);

V_k – Velocidade característica do vento (m/s).

A Tabela 6.4 apresenta valores de pressão dinâmica de vento, calculados a partir da NBR 6123:1988, para algumas situações de edifícios de múltiplos andares. Estes valores foram calculados considerando-se os seguintes parâmetros: Fator Topográfico (S_1): terrenos planos ou fracamente acidentados; Fator de Rugosidade (S_2): terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados; e no Fator Estatístico (S_3): edificações para hotéis e residências.

A escolha de tais parâmetros se deu pelo fato destas serem as situações mais comuns para edifícios de múltiplos andares, principal consumidor potencial dos fechamentos em LSF. A tabela apresenta resultados calculados com velocidades básicas do vento de 35 m/s e 40 m/s, extraídas do mapa de isopleias constante na norma NBR 6123:1988 e aplicáveis respectivamente para as cidades de Belo Horizonte e São Paulo.

Comparando as pressões dinâmicas de vento da Tabela 6.4 com as propriedades apresentadas (tabelas 6.1, 6.2 e 6.3), observa-se que os painéis propostos resistem, com folga, ao esforço de vento ao qual devem estar submetidos, ainda quando a flecha admissível é mais restritiva. Mesmo os painéis com perfis mais leves considerados são capazes de resistir aos esforços calculados, para os pés direitos apresentados.

Tabela 6.4 - Valores de Pressão Dinâmica de Vento para fachadas

largura (m)	largura (m)	altura (m)	V0 (m/s)	S1	S2	S3	Vk (m/s)	q (KN/m ²)
20	20	45	35	1	1,01	1	35,18	0,758
20	20	45	40	1	1,01	1	40,20	0,991
30	30	45	35	1	1,01	1	35,18	0,758
30	30	45	40	1	1,01	1	40,20	0,991
20	20	65	35	1	1,03	1	36,05	0,797
20	20	65	40	1	1,03	1	41,20	1,041
30	30	65	35	1	1,03	1	36,05	0,797
30	30	65	40	1	1,03	1	41,20	1,041
20	20	80	35	1	1,06	1	37,10	0,844
20	20	80	40	1	1,06	1	42,40	1,102
30	30	80	35	1	1,06	1	37,10	0,844
30	30	80	40	1	1,06	1	42,40	1,102
40	40	80	35	1	1,06	1	37,10	0,844
40	40	80	40	1	1,06	1	42,40	1,102
30	30	100	35	1	1,09	1	38,15	0,892
30	30	100	40	1	1,09	1	43,60	1,165

6.1.1 - ANÁLISE E RECOMENDAÇÕES DE PROJETO

Apesar das dimensões dos perfis analisados serem diferentes daquelas usuais no Brasil, os resultados apresentados fornecem importante base para a qualificação da capacidade dos painéis de fechamento em LSF de resistirem aos esforços de vento aos quais devem estar submetidos em situações reais. As tabelas de resistência ao vento das montagens com *Steel Framing* mostram que quanto menor o vão vertical vencido maior será a resistência do painel a cargas horizontais de vento.

Os montantes dos fechamentos em LSF estão sujeitos, predominantemente, a esforços de flexão, tendo como modo de colapso a FLT (flambagem lateral com torção). O uso de travamentos horizontais ou contraventamentos ao longo do painel, ou ainda a combinação de ambos (Figura 6.1), aumenta significativamente sua resistência ao vento, visto que diminui o comprimento de flambagem dos montantes, aumentando a carga necessária para causar o colapso por FLT. Tal procedimento é especialmente indicado para painéis de grande altura e para aqueles onde é esperada incidência predominante de ventos a 90°, tanto a barlavento quanto a sotavento.



Figura 6.1 - Painel de fechamento em LSF com travamento horizontal e diagonal

Fonte: FLASAN, 2008

6.2 - ISOLAMENTO TÉRMICO

O objetivo principal do isolamento térmico em um edifício é controlar as perdas de calor no inverno e os ganhos de calor no verão. Segundo Akutsu (1998), em países com clima predominantemente quente, como o Brasil, a avaliação isolada da resistência térmica dos elementos não é suficiente para avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo. Esse desempenho só é realmente avaliado em uma avaliação dinâmica, que leve em conta, simultaneamente, todas as trocas térmicas do ambiente (resposta global da edificação) e, neste caso, uma abordagem indicada seria a simulação numérica.

Gomes (2007) avaliou em simulações numéricas computadorizadas o desempenho de determinadas edificações propostas com sistema LSF. Segundo o autor, para as condições de fechamento mais usuais e adotadas em seu estudo, há um amortecimento da onda de calor para os dias típicos de verão analisados. Assim, o sistema, aplicado nas edificações avaliadas, proporciona um desempenho térmico adequado para a maioria das regiões estudadas⁸.

A qualidade ambiental e o desempenho térmico de uma determinada edificação são frutos de seu partido arquitetônico e das opções de projeto decorrentes deste, como orientação, dimensões e localização de abertura, proteção solar, forma da cobertura, tipologia, etc. Combinada a isso há ainda a escolha de materiais mais ou menos indicados para determinados climas, como por exemplo, materiais de alta inércia térmica em climas frios ou leves e refletores para climas quentes e úmidos.

A combinação de tais decisões arquitetônicas é que determina se uma construção terá ou não desempenho térmico adequado. A NBR 15220:2005 é a norma nacional que apresenta diretrizes informativas, sem caráter normativo, sobre as propriedades e características mínimas desejáveis, tanto para as edificações como um todo quanto para

⁸ GOMES (2007) avaliou o desempenho de edificações em LSF nas cidades brasileiras de Belém, Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Goiânia e Teresina, representativas das zonas bioclimáticas do país.

os materiais, para um melhor desempenho térmico das edificações. Tais diretrizes, que foram desenvolvidas para habitações de interesse social, sofrem bastante alteração conforme se muda o clima da região do país analisada.

Os fechamentos industrializados, como o LSF, compostos por várias camadas de material sobreposto baseiam-se em conceitos multicamada, onde a resistência térmica total do fechamento é igual à soma das resistências de cada uma de suas camadas e é significativamente influenciada pelo seu arranjo, cujas mudanças de material são fundamentais para o desempenho do sistema.

Em países de clima temperado, o estudo do isolamento térmico da edificação em LSF considera também a capacidade dos perfis estruturais de aço de produzirem pontes térmicas em determinadas condições de temperatura. Para minimizar tais efeitos, os acabamentos externos com grande capacidade de isolamento térmico, como o EIFS, são preferidos. Porém, no clima quente e úmido, predominante no Brasil, o efeito das pontes térmicas nos painéis de LSF não tem grande importância, pois a diferença nas temperaturas interna e externa das edificações não é tão significativa quanto no clima temperado. A perda de calor pelos perfis no sistema LSF é, então, muito pequena (GOMES, 2007).

6.2.1 - RECOMENDAÇÕES DE PROJETO

A capacidade de isolamento e a inércia térmica de uma parede em LSF são influenciados pela natureza das placas de acabamento e também pela combinação de elementos adotada no sistema, como a utilização de chapas duplas de fechamento, uso de isolamento interno ou aumento na medida da alma dos montantes.

O emprego de envoltórias com propriedades adequadas é importante para a qualidade térmica da construção, porém o partido arquitetônico é um fator decisivo nesse aspecto. Em locais de clima quente, como o Brasil, deve-se adotar uma correta orientação solar, permitir ventilação cruzada nos ambientes, proteger as aberturas de insolação direta, entre outros, para garantir que a edificação seja capaz de abrigar as atividades humanas em condições desejáveis de conforto.

6.3 - ISOLAMENTO ACÚSTICO

O som é resultado de variações na pressão existente na atmosfera, que são capazes de serem detectadas pelo ouvido. A transmissão do som necessita de um meio elástico para ocorrer, onde há vibração das partículas. O meio elástico mais comum é o ar, mas também pode haver transmissão através de materiais sólidos, como os componentes de uma edificação.

As formas de transmissão de sons em uma edificação são:

- Transmissão de som aéreo, que ocorre quando um som externo incide num ambiente através de seus fechamentos e aberturas;
- Transmissão de som de impacto, que tende a ser mais significativa para pisos, quando, por exemplo, escuta-se a movimentação de pessoas dentro de um edifício. Outras fontes podem ser batidas de portas e janelas, impactos nas paredes, etc.;
- Transmissão de som proveniente da estrutura, que são os ruídos vindos de vibrações de instalações ou equipamentos, transmitidos pelos elementos da edificação, como paredes, pisos ou outros elementos em contato direto com a fonte.

O som aéreo, resultado da vibração de partículas, quando em contato com superfícies rígidas dos componentes de uma edificação, os faz oscilar. Parte do som incidente é refletida, parte pode ser absorvida pelo material e parte é transmitida através do mesmo. Da energia absorvida pela parede, parte será dissipada em forma de energia térmica e parte irá se propagar através da mesma. Com isso, a parede entrará em vibração, transmitindo energia acústica para o interior da edificação.

O isolamento acústico ocorre quando se minimiza a transmissão do som de um ambiente para o outro ou do exterior para o interior de um ambiente. Conceitos usuais de isolamento acústico pregam a utilização de paredes com maior massa superficial para maior isolação sonora. Este conceito é correto e funcional, porém, a utilização de paredes de grande espessura e peso se torna inviável do ponto de vista econômico e técnico em muitos casos.

O isolamento nos painéis de LSF segue o princípio massa-mola-massa, segundo o qual ao invés de uma parede com grande massa, usam-se camadas separadas de massa e o espaço entre elas é preenchido com um elemento absorvente. Tal descontinuidade de meios tem como objetivo reduzir a transmissão do som entre as camadas de massa.

A característica de isolamento de uma parede pode ser expressa pela sua Perda de Transmissão (PT) ou pelo seu Índice de Redução Sonora (Rw), sendo este último o mais utilizado recentemente (BARING, 2000⁹, apud, CRASTO, 2005). Maiores valores de perda de transmissão ou índice de redução, medidos em decibel (dB), indicam que mais alta será a capacidade isolante da parede. Na Tabela 6.5 são apresentados valores de referência de PT para qualificação do isolamento acústico de ambientes.

Tabela 6.5 - Qualificação do isolamento acústico

Qualificação do isolamento	Perda de transmissão (PT)	Condições de audição
Pobre	< 30dB	Compreende-se uma conversação normal facilmente através da parede
Regular	30 a 35 dB	Ouve-se a conversação em voz alta mas não se entende bem a conversação normal
Bom	35 a 40 dB	Ouve-se a conversação em voz alta mas não é facilmente inteligível
Muito Bom	40 a 45 dB	A conversa normal é inaudível e em voz alta é muito atenuada, sem compreensão
Excelente	> 45dB	Ouvem-se fracamente os sons muito altos

Fonte: GERGES, 1992

As grandezas que medem a capacidade de isolamento acústico são obtidas em laboratório para determinada montagem ou componente construtivo, não considerando o isolamento do ambiente construído como um todo. Segundo Krüger (2000), pode-se avaliar acusticamente um ambiente, levando-se em conta apenas o desempenho do fechamento, desde que as grandezas para os demais elementos construtivos sejam consideradas maiores ou iguais às do fechamento.

⁹ BARING, J. G. de A. *A qualidade dos edifícios e a contribuição das paredes de gesso cartonado*. Revista Techné, São Paulo, n. 47, p.69-73. PINI, Julho/Agosto, 2000.

6.3.1 - PROPRIEDADES E ANÁLISE COMPARATIVA

Para comparar o desempenho de isolamento acústico dos materiais e sistemas diversos para fechamento de fachadas, considera-se, conforme recomendação de Krüger (2000), constantes e de maior grandeza as propriedades dos demais elementos construtivos. Nesta situação, o desempenho do fechamento se torna determinante na avaliação.

Tabela 6.6 - Índice de redução sonora para diversas montagens de paredes

Montagem	Índice de redução sonora (dB)
Tijolo maciço (60mm) com reboco (15mm) nas duas faces	36 - 38
Tijolo cerâmico furado (90mm) com reboco (15mm) nas duas faces	35 - 38
Tijolo cerâmico furado (150mm) com reboco (15mm) nas duas faces	38 - 41
Bloco de concreto celular (110mm) com reboco (15mm) nas duas faces	35
Bloco de concreto (110mm) com reboco (15mm) nas duas faces	35
LSF com uma placa de gesso (12,5mm) em cada face	35 - 37
LSF com duas placa de gesso (12,5+12,5mm) em cada face	44 - 46
LSF com uma placa de gesso (12,5mm) em cada face e lã de vidro (50mm)	42 - 45
LSF com duas placas de gesso (12,5+12,5mm) em cada face e lã de vidro (50mm)	50
LSF com uma placa cimentícia (10mm) em cada face	45
LSF com duas placas cimentícias (10+10mm) em cada face e lã de vidro (50mm)	57

Fontes: BRASILIT, 2007; ISOVER, 2007; KNAUF, 2007; STRÖMBERG, 2001

Na Tabela 6.6 são apresentados valores de índice de redução sonora (R_w) para diversos materiais e montagens utilizados na execução de fechamentos internos e externos em edificações. Pelos dados apresentados, pode-se perceber que as montagens em LSF, tanto com placas de gesso quanto cimentícias, apresentam desempenho acústico semelhante ou superior ao de materiais de uso corriqueiro no Brasil, como o tijolo cerâmico ou o bloco de concreto. Percebe-se, também, o ganho significativo de

isolamento quando se opta pela utilização combinada das placas com o enchimento interno em lã de vidro.

Todas as montagens apresentadas podem ser classificadas com isolamento acústico de bom a excelente, segundo os critérios apresentados na Tabela 6.5. Sendo que a maioria delas apresenta desempenho muito bom ou excelente.

6.3.2 - RECOMENDAÇÕES DE PROJETO

Analisando as tabelas apresentadas, observa-se que mesmo as montagens mais simples de LSF são capazes de atender aos requisitos e recomendações de isolamento acústico para edificações. Observa-se também que o emprego de maior quantidade de placas em cada face do fechamento ou o uso de material isolante no interior da parede influenciam significativamente o desempenho. Assim o LSF, por se tratar de um sistema multicamada e de componentes industrializados, permite diversas combinações entre seus elementos, de forma que a montagem possui as propriedades mais adequadas para cada emprego.

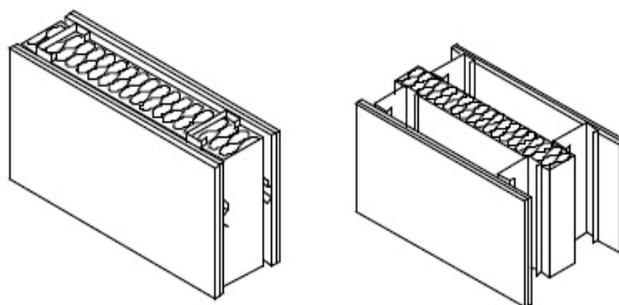


Figura 6.2 - Barras horizontais e montantes duplos para melhoria do isolamento acústico
Fonte: STRÖMBERG, 2001

O desempenho do sistema (considerando as mesmas placas nas faces e enchimento interno) é melhorado quando são utilizados perfis com alma de maior dimensão. Há, ainda, a possibilidade de emprego de montantes duplos e desencontrados ou a instalação de perfis cartola horizontais, parafusados aos montantes (Figura 6.2). Em ambos os casos a intenção é criar descontinuidade no meio, eliminando as pontes acústicas entre as faces do fechamento e aumentando a capacidade de isolamento do sistema. Seu

emprego deve ser avaliado ponderando o ganho de desempenho frente ao aumento de custo.

O isolamento eficiente de uma parede só é completo quando não há pontos vazados através dos quais o som pode ser transmitido de um espaço para o outro. Neste sentido, é fundamental o tratamento dos arremates das placas de acabamento do fechamento entre si e no seu encontro com o piso ou o teto, evitando frestas capazes de comprometer o sistema. No caso dos fechamentos externos contínuos, especialmente quando o montante está afastado da estrutura do edifício, o espaço entre a borda da laje e o painel deve ser isolado, pois este é um ponto crítico de transmissão de sons entre os pavimentos da edificação (Figura 6.3). Uma solução possível é a instalação de uma cantoneira ao longo de toda a borda da laje, conectada aos montantes, de modo a servir de base para a execução do acabamento interno do piso (Figura 6.4).

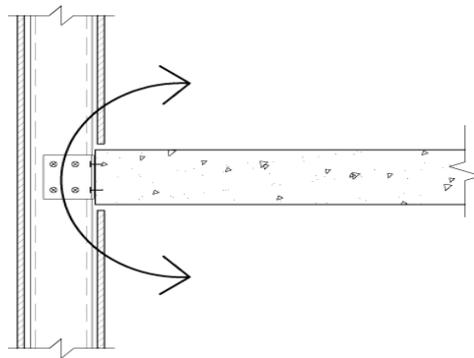


Figura 6.3 - Ponto vulnerável na transmissão do som entre pavimentos com fechamento contínuo

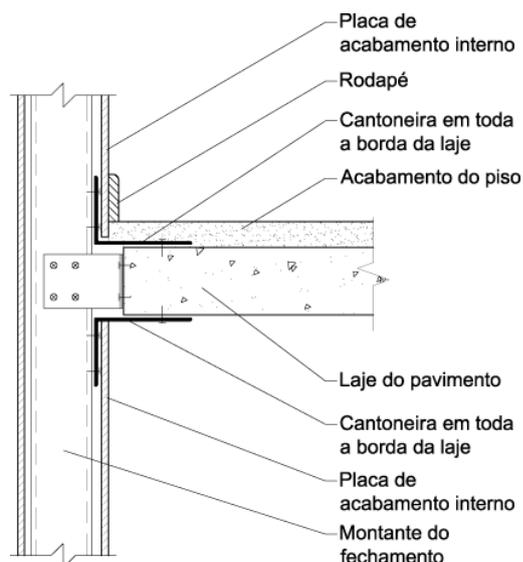


Figura 6.4 - Possibilidade de solução para isolamento do som entre pavimentos

6.4 - PESO PRÓPRIO

O peso próprio dos elementos construtivos de um edifício possui impacto direto no dimensionamento de sua estrutura de sustentação e, conseqüentemente, em seu custo final de construção.

Os sistemas de fechamento de um edifício, sejam eles de tijolos, painéis pré-fabricados ou LSF, descarregam seu peso próprio sobre as lajes de concreto ou diretamente nas vigas de sustentação do edifício, que por sua vez se apóiam nos pilares, que finalmente levam toda a carga da construção às fundações no solo.

Quando se utiliza um fechamento com menor peso próprio, as vigas são menos solicitadas, possuindo, em conseqüência, seções menores, que por sua vez aliviam pilares e fundações. Esta economia na dimensão de elementos estruturais, que possuem custo significativo na obra, tem impacto expressivo no valor final da obra e no lucro de seu incorporador.

6.4.1 - PROPRIEDADES E ANÁLISE COMPARATIVA

Na Tabela 6.7 apresentam-se valores do peso próprio (por m²) de fechamentos construídos com materiais de construção convencionais no Brasil. Nessa tabela apresentam-se também dados do peso próprio (por m²) de fechamentos verticais em LSF, executados com placas cimentícias e de gesso, que representam as soluções mais comuns para o sistema. Os valores relativos ao LSF foram calculados para montantes com alma de 90 mm e não consideram o peso próprio do preenchimento interno em lã de vidro ou de rocha, que acrescentaria 0,02 kN para cada m² de fechamento.

Através da avaliação dos dados presentes na tabela, pode-se facilmente perceber que fechamentos em LSF possuem peso próprio bem menor que materiais de construção convencionais. Entre um fechamento de tijolo cerâmico furado rebocado e um painel de LSF com uma placa cimentícia em cada face (que são duas opções para fechamentos verticais para fachadas de edifícios), o uso da alternativa industrializada no lugar da convencional representaria a redução do peso próprio do fechamento em mais de 70%.

Tabela 6.7 - Peso próprio de sistemas de fechamento vertical

Montagem	Peso próprio (kN/m ²)
Tijolo maciço (60mm) com reboco (15mm) nas duas faces	1,55
Tijolo cerâmico furado (90mm) com reboco (15mm) nas duas faces	1,55
Tijolo cerâmico furado (150mm) com reboco (15mm) nas duas faces	2,50
Bloco de concreto celular (110mm) com reboco (15mm) nas duas faces	1,30
Bloco de concreto (110mm) com reboco (15mm) nas duas faces	2,40
LSF com uma placa de gesso (12,5mm) em cada face	0,28
LSF com duas placas de gesso (12,5+12,5mm) em cada face	0,52
LSF com uma placa cimentícia (10mm) em cada face	0,38
LSF com duas placas cimentícias (10+10mm) em cada face	0,72

Baseado em: KNAUF, 2007; BRASILIT, 2007; NBR 6355:2003

O impacto desta redução no peso próprio do sistema de fechamento vertical, que é significativo no dimensionamento das vigas e pilares da estrutura principal do edifício e também influencia no projeto das fundações. Considerando-se apenas o peso próprio da estrutura principal, lajes em concreto e sistema de fechamento, as cargas normais nas fundações de um edifício com fechamento em LSF são, em média, 43% menores que nos casos em que a alvenaria convencional é empregada (PEREIRA JUNIOR, 2004¹⁰).

¹⁰ PEREIRA JUNIOR (2004) estudou a aplicação do sistema de fechamento em LSF para edifícios estruturados em perfis de aço formados a frio com até 7 pavimentos.

7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do sistema LSF no fechamento vertical externo não-estrutural de edifícios é uma alternativa para a realidade da construção civil do Brasil, que, apesar dos significativos avanços na direção da industrialização, ainda é predominantemente artesanal. O emprego da solução estudada não é voltado para um público específico (edifícios comerciais ou industriais, onde soluções industrializadas são mais comuns), mas pode vir a ser uma mudança na mentalidade construtiva do país.

Há no país disponibilidade de todos os insumos necessários para a difusão desse emprego do LSF. Porém, uma das maiores fontes de resistência por parte dos usuários em relação ao sistema está na natureza de seus componentes, que é diferente dos materiais maciços aos quais estão acostumados. A aceitação do novo sistema só se dará

a partir das experiências bem sucedidas e da divulgação da tecnologia entre usuários e profissionais envolvidos.

O entendimento dos conceitos estruturais pertinentes à aplicação proposta para o sistema LSF, apresentados de forma qualitativa neste trabalho, é fundamental para que arquitetos e engenheiros possam trabalhar em conjunto, dialogando sobre suas decisões, uma vez que as resoluções de um possuem grande impacto no trabalho do outro.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram apresentados diversos métodos de montagem e detalhes construtivos para fechamentos de fachadas em LSF, coletados em meio à bibliografia disponível e relacionados com os conceitos estruturais aplicados. Grande parte da informação disponível teve como fonte catálogos e documentos técnicos de fabricantes, montadores e suas associações, principalmente estrangeiros. Cada um destes agentes apresenta diversas formas de execução, que foram analisadas no presente trabalho acerca de suas características relativas a limitações, comportamento, execução e demandas específicas. Os métodos de montagem propostos por cada fabricante são baseados, normalmente, em experiências empíricas e melhores práticas desenvolvidas por cada um.

Não é possível determinar uma melhor forma definitiva de execução para fechamentos externos em LSF, pois cada edifício possui variantes e características próprias. Entretanto, de modo geral, o método contínuo pode ser mais interessante por permitir mais facilmente a independência estrutural entre o fechamento e a estrutura principal, comparado ao método embutido, além de possuir pontos de interface com a estrutura (locais vulneráveis à intempéries) mais fáceis de serem tratados. Dentro de cada método, há variações mais interessantes de detalhes de execução, como as guias com furos oblongos e o travamento horizontal com bloqueadores para o método embutido e as cantoneiras com abas desiguais (com ou sem furos oblongos, dependendo da aplicação) para fechamentos contínuos. Porém, conhecendo as técnicas disponíveis e baseando-se nas propriedades da obra, a equipe de projeto, integrando arquitetos, engenheiros e profissionais de execução, deve tomar a decisão do método de montagem que melhor atenderá às necessidades específicas daquela situação.

O desempenho satisfatório do fechamento de fachadas em LSF é garantido pela combinação do correto planejamento estrutural com o bom detalhamento das interfaces dos acabamentos. Sem o diálogo entre estes dois fatores, o fechamento pode apresentar patologias que comprometem o desempenho estrutural, estético e de salubridade da edificação. Os detalhes de execução apresentados foram desenvolvidos pelo autor, arquiteto, com base em sua experiência profissional e com a colaboração de outros profissionais da área, sendo informação de referência para outros detalhes que podem ser propostos pelas equipes de projeto.

Os conceitos de industrialização da obra devem ser trabalhados desde a sua concepção, para que as vantagens dos sistemas empregados sejam maximizadas. A adequação dos sistemas construtivos utilizados e o trabalho conjunto de arquitetos e engenheiros, em todas as fases de planejamento e execução, são fundamentais para o sucesso do empreendimento.

A industrialização da construção é um caminho virtuoso e sem volta, uma vez que o profissional envolvido conhece e experimenta as vantagens deste conceito dificilmente se rende novamente à construção artesanal. É papel dos divulgadores e criadores dos conceitos de vanguarda da tecnologia garantir o desenvolvimento com qualidade de novas técnicas construtivas, para que essas possam cada vez mais ser conhecidas e aceitas pelos agentes envolvidos na indústria da construção civil no Brasil.

7.1 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Investigação estrutural quantitativa do sistema de fachadas em LSF e desenvolvimento de tabelas para pré-dimensionamento de peças constituintes do sistema proposto, como guias, montantes e conexões;
- Estudo de custos diretos e indiretos e do planejamento de obras realizadas em LSF, confrontando os resultados com o fechamento em alvenaria;
- Avaliação pós-ocupação de edificações que empregam o sistema para análise e identificação de patologias construtivas e coleta de impressões dos usuários.

8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAGESSO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas de Gesso). *Manual de montagem de sistemas DryWall*. São Paulo, Pini, 2004.

AEGIS METAL FRAMING. *Product Guide / Typical Applications*. Catálogo técnico, 2007. Disponível em: <<http://www.aegismetallframing.com>>. Acesso em Maio de 2007.

AKUTSU, Maria. *Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998. 156p.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (AISI). *Cold-formed steel design manual – PART V, Specifications for the design of cold-formed steel structural members*. AISI, Washington, 1996 Edition.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5706:** *Coordenação modular da construção*. Rio de Janeiro, 1977, 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6123:** *Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6355:** *Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14081:** *Argamassa colante colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas*. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14762:** *Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio*. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220:** *Desempenho térmico de edificações*. Rio de Janeiro, 2005.

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.

BARROS, Mércia M. S. B.; SABBATINI, Fernando H. *Diretrizes para o processo de projeto para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios*. São Paulo: EPUSP, 2003. 24p. (Boletim técnico BT/PCC/172).

BASTOS, Marilda Antonini Ribeiro. *Avaliação de sistemas construtivos semi e/ou industrializados de edifícios de andares múltiplos através da perspectiva de seus*

usuários. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2004. 2v., 458p.

BONITESE, Karina Venâncio. *Primeira residência de BH em Light Steel Framing*. REVISTA OBRAS ON LINE. São Paulo: Obras On Line, n. 29, jul. 2006.

BRASILIT. *Placa cimentícia BrasiPlac, catálogo técnico*. São Paulo, 2007. Disponível em <<http://www.brasilit.com.br>>. Acesso em Maio de 2007.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). *Sistema construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços revestidos (steel framing): Requisitos e condições mínimos para financiamento pela Caixa*. Caixa Econômica Federal, 2003. Disponível em <<http://www1.caixa.gov.br/download/index.asp>>. Acesso em Abril 2007. 28p.

CASTRO, Betina Guimarães dos Santos. *Utilização de estruturas metálicas em edificações residenciais unifamiliares*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005. 206p.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. *Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005. 231p.

CISER PARAFUSOS E PORCAS. *Catálogo técnico*. Joinville, 2007. Disponível em <<http://www.ciser.com.br>>. Acesso em Maio de 2007.

COSTA, Regina Maria Xavier. *O uso de perfis tubulares metálicos em estruturas de edifícios e sua interface com o sistema de fechamento vertical externo*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2004. 162p.

DIETRICH METAL FRAMING. *Steel Framing System*. Catálogo técnico, 2007. Disponível em: <<http://www.dietrichmetalframing.com>>. Acesso em Setembro de 2007.

FLASAN, *Arquivo de fotos e histórico de obras em Light Steel Framing*. 2008.

FREITAS, Arlene M. Sarmanho; CRASTO, Renata C. Moraes. *Steel Framing: Arquitetura*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manuais da Construção em Aço).

FUTURENG. *Rebocos térmicos para exterior*. Disponível em <<http://www.futureng.com>>. Acesso em Abril de 2007.

GERGES, Samir N. Y. *Ruído: fundamentos e controle*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1992. 660p.

GOMES, Adriano Pinto. *Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em Light Steel Framing*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007. 172p.

GREAT BUILDINGS ON LINE. *The Great Buildings Collection*. Disponível em <<http://www.greatbuildings.com>>. Acesso em Setembro de 2007.

GREVEN, Hélio Adão; BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. *Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada*. Porto Alegre: ANTAC, 2007 - (Coleção Habitare, 9).

HADLEY GROUP. *Structural Steel Framing System*. Catálogo técnico, 2005 Disponível em <http://www.hadleygroup.co.uk/literature_download.php>. Acesso em Maio de 2007.

HILTI. *Sistemas de fixação acionados à pólvora*. Catálogo técnico. São Paulo, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *Building Construction – Modular Coordination: Basic Module: ISO 1006*. Londres, 1984.

ISOVER. *Catálogo de produtos para construção civil*. São Paulo, 2007. Disponível em <<http://www.isover.com.br>>. Acesso em Maio de 2007.

JARDIM, Guilherme Torres da Cunha; CAMPOS, Alessandro Souza. *Light Steel Framing: uma aposta do setor siderúrgico no desenvolvimento tecnológico da construção civil*. In: MARTINS, P. et al. Inovação em construção civil: monografias. São Paulo, Instituto UNIEMP, 2005. p. 27-45.

KINGSPAN. *Steel Framing and Façades systems*. Portifólio de obras. Disponível em <<http://www.kingspanoffsite.com>>. Acesso em Janeiro de 2008.

KNAUF. *Sistema DryWall*. Catálogo técnico e Manual de instalação. Rio de Janeiro, 2007. Disponíveis em <<http://www.knauf.com.br>>. Acesso em Janeiro de 2008.

KRÜGER, Paulo Gustavo Von. *Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2000. 167p.

LABOUBE, R. A., YU, W. W. *Recent research and developments in cold-formed steel framing*. Elsevier, Thin-Walled Structures, N.32, p.19–39, 1998.

LABOUBE, R. A., BOLTE, W. G. *Behavior of curtain wall stud to track connections*. Elsevier, Thin-Walled Structures, N.42, p.1431–1443, 2004.

LAWSON R. M., GRUBB P. J. *Building Design Using Cold Formed Steel Sections: Construction Detailing and Practice*. The Steel Construction Institute (SCI), UK, 1997.

LAWSON R. M., GRUBB P. J. *Modular Construction Using Light Steel Framing: An Architect's guide*. The Steel Construction Institute (SCI), UK, 1999.

LIGHT GAUGE STEEL ENGINEERS ASSOCIATION (LGSEA). *Technical Note 542 (TN-542) – Introduction to Curtain Wall Design using Cold-Formed Steel*. LGSEA, Washington, 2001a. 8p.

LIGHT GAUGE STEEL ENGINEERS ASSOCIATION (LGSEA). *Technical Note 562 (TN-562) – Powder-Actuated Fasteners in Cold-Formed Steel Construction*. LGSEA, Washington, 2001b. 8p.

LIGHT GAUGE STEEL ENGINEERS ASSOCIATION (LGSEA). *Technical Note 544 (TN-544) – Design of by-pass Slip Connectors in Cold-Formed Steel Construction*. LGSEA, Washington, 2004. 8p.

MADEX. *Wallrevest*. Catálogo técnico de *siding* vinílico, Diadema, 2007. Disponível em <<http://www.wallrevest.com.br>>. Acesso em Maio de 2007.

MASISA. *Painéis OSB*. Catálogos Técnicos, Curitiba, 2007. Disponível em <<http://www.masisa.com.br>>. Acesso em Agosto de 2007.

METSEC. *Steel Framing System*. Catálogo técnico de produtos e aplicações, 2007. Disponível em: <<http://www.metsec.com>>. Acesso em Maio de 2007.

NORTH AMERICAN STEEL FRAMING ALLIANCE (NASFA). *Prescriptive method for residential cold-formed steel framing*. NASFA, October 2000.

PAVI. *Pré-fabricados para construção civil*. Portifólio. Pavi do Brasil, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.pavidobrasil.com.br>>. Acesso em Abril de 2008.

PEREIRA JÚNIOR, Cléber José. *Edifícios de pequeno porte contraventados com perfis de chapa fina de aço*. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

RAMOS, Fernando. *Painéis de vedação e de revestimento em aço inoxidável*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 1997. 164p.

RIBAS, Rovadavia Aline de Jesus. *Avaliação das condições físico-construtivas e de desempenho de uma edificação estruturada em aço. Estudo de caso: prédio da EM da UFOP*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2006. 210p.

RODRIGUES, Francisco Carlos. *Steel Framing: Engenharia*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual da Construção em Aço).

SABBATINI, F. H. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: Formulação e Aplicação de uma Metodologia*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SALES, Urânia Costa. *Mapeamento de problema gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de*

painéis de vedação. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2001.

SCAFCO. *Sloted Track for Steel Framing System*. Catálogo técnico, 2007. Disponível em: <<http://www.scafco.com/stud/SlottedTrack.html>>. Acesso em Setembro de 2007.

SCHAFER, B. W., et al. *Accommodating Building Deflections: What every EOR should know about accommodating deflections in secondary cold-formed steel systems*. NCSEA/CASE/ASCE-SEI, Structure Magazine, April 2003. Disponível em <<http://www.structuremag.org/archives.htm>>. Acesso em Setembro de 2007.

SCHARFF, Robert. *Residential Steel Framing Handbook*. New York: MacGraw Hill, 1996. 429p.

SIDERAR. *El desarrollo de las estructuras de acero galvanizado para la vivienda en la Argentina: Barrio Siderar en San Nicolás*. Boletín Informativo Techint, Enero-Marzo 1998, Buenos Aires, 1998.

SILVA, Ascânio Merrighi de Figueiredo. *Uma concepção arquitetônica de edifício residencial com estrutura e componentes construtivos fabricados a partir de aços planos*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2004. 139p.

SILVA, Maristela Gomes; SILVA, Vanessa Gomes. *Painéis de Vedação*. Rio de Janeiro, IBS/CBCA, 2004. (Série Manuais da Construção em Aço).

STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE (SCI). *Light Steel Framing case studies*. Disponível em <<http://www.steel-sci.org/lightsteel>>. Acesso em Maio de 2007.

STEEL STUD MANUFACTURERS ASSOCIATION (SSMA). *Cold-Formed Steel Details*. SSMA, Glen Ellyn, United States, 2007. Disponível em <http://www.ssma.com/technical_library.htm>. Acesso em Setembro de 2007.

STEEL STUD MANUFACTURERS ASSOCIATION (SSMA). *Industry Technical Notes on Cold Formed Steel Construction*. SSMA, Glen Ellyn, USA, 2000. Disponível em <http://www.ssma.com/technical_library.htm>. Acesso em Setembro de 2007.

STEELER. *Slotted Stud*. Catálogo técnico. Steeler Inc Headquarters, Seattle, 2003. Disponível em <<http://www.steeler.com>>. Acesso em Outubro de 2007.

STRÖMBERG, Jan. *Development of Dry Composite Construction Systems Based on Steel in Residential Applications*. European Coal and Steel Community (ECSC), Steel RTD Program. Plannja AB, Sweden, 2001. Disponível em <<http://www.livingsteel.org/library>>. Acesso em Setembro de 2007.

TANIGUTI, Eliana Kimie. *Método Construtivo de Vedação Vertical Interna de Chapas de Gesso Acartonado*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (EPUSP), 1999.

THE STEEL NETWORK (TSN). *Light Steel Framing Connections*. Catálogo técnico, 2006. Disponível em <<http://www.steelnetwork.com>>. Acesso em Setembro de 2007.

THOMAS, Robert. *EIFS and Earthquakes*. Walls and Ceilings Magazine, May, 2001. Disponível em <<http://www.wconline.com>>. Acesso em Outubro de 2007.

USIMINAS. *Steel Framing: solução USIMINAS para a construção civil*. Catálogo técnico. Belo Horizonte, 2005.