

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

**O USO DE PERFIS TUBULARES METÁLICOS EM
ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS E SUA INTERFACE
COM O SISTEMA DE FECHAMENTO VERTICAL EXTERNO**

Ouro Preto, outubro de 2004.



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



O USO DE PERFIS TUBULARES METÁLICOS EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS E SUA INTERFACE COM O SISTEMA DE FECHAMENTO VERTICAL EXTERNO

AUTOR: Regina Maria Xavier Costa

ORIENTADORES: Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo
Prof. Dr. Henor Artur de Souza

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 a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Ouro Preto, outubro de 2004.

Costa, Regina Maria Xavier.
C837u O uso de perfis tubulares metálicos em estruturas de edifícios e
sua interface com o sistema de fechamento vertical externo[manuscrito] \ /
Regina Maria Xavier Costa.– 2004.
xix, 162p. : il.; tabs; fig.

Possui desenhos técnicos.

Orientador: Prof. Ernani Carlos de Araújo; Prof. Henor Artur de Souza.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Construção metálica - Teses. 2. Perfis tubulares estruturais - Teses.
3. Construção industrializada. I. Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. II. Título.

CDU: 624.014

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

À minha família e aos meus amigos;
Ao Paulo pelo carinho e companheirismo.

MEUS AGRADECIMENTOS

É com alegria que compartilho este momento com os meus colegas do mestrado, pelo companheirismo, amizade e descontração durante todo o tempo que passamos juntos. Gostaria também de externar os meus sinceros agradecimentos àqueles que muito contribuíram para a realização deste trabalho:

Com especial admiração, aos meus orientadores professores Ernani Carlos de Araújo e Henor Artur de Souza, pela dedicação e disponibilidade de dividirem comigo conhecimento e inteligência, que me permitiram encontrar o caminho a ser trilhado.

Aos professores do mestrado, pela competência e amizade demonstradas no curso.

A direção do curso de Arquitetura e Urbanismo do UNICENTRO IZABELA HENDRIX pelo apoio e incentivo.

Aos arquitetos Sidônio Porto, Carlos Alberto Viotti, Waltermo Junior e aos engenheiros Yopanan Rebello, Eduardo de Assis Fonseca, Afonso Henrique Mascarenhas de Araújo, Silvio Xavier dos Santos pela acolhida e contribuição com as informações.

A Isabella Correa Dias, pelo carinho e paciência dedicado na elaboração dos desenhos.

RESUMO

A construção industrializada demanda eficiência e precisão e nela não há espaço para improvisação, retrabalho e desperdício. A construção passa a ser vista como um sistema, onde as etapas e procedimentos são definidos como subsistemas que se interagem e se complementam. Neste sentido, ela é contrária a cultura construtiva brasileira, gerando a necessidade de revisão de todo o processo, desde a fase inicial de elaboração e compatibilização dos projetos, passando pela execução propriamente dita e, inclusive, demandando a avaliação pós-uso, fazendo com que o processo seja retro-alimentado e cumulativo. No contexto da industrialização da construção, a utilização da estrutura metálica é uma opção cada vez mais forte, pois é uma tecnologia limpa, rápida, precisa e competitiva. Por sua vez, para que ela possa apresentar este desempenho é necessário que ela seja corretamente utilizada, gerando a necessidade de investimento nos profissionais envolvidos no processo, desde aqueles envolvidos com o projeto e coordenação da execução, como arquitetos e engenheiros, chegando até na formação de uma mão de obra executiva competente. Neste sentido se insere a proposta deste trabalho, que visa contribuir para o aprofundamento técnico dos profissionais envolvidos com o projeto, mais especificamente os arquitetos e engenheiros. Portanto, a proposta desta pesquisa é subsidiar o emprego da estrutura metálica, especificamente dos perfis tubulares, apresentando aspectos que necessitam ser previstos e planejados durante a elaboração do projeto arquitetônico e contribuir no entendimento do caminho que as cargas percorrem a partir dos fechamentos. O enfoque é voltado para o comportamento da estrutura e os fatores que interferem na ligação entre a estrutura e o subsistema de fechamento vertical externo disponibilizado pela indústria nacional. Foram identificados como alternativas para os fechamentos seis tipos de painéis, entre eles os painéis de concreto, de concreto celular autoclavado, o painel GRC (*Glassfibre Reinforced Concrete*), as placas cimentícias, os painéis metálicos e as fachadas envidraçadas. Enfatiza-se a importância do trabalho coletivo, onde a parceria é necessária para que as soluções possam atender as exigências de projetos que contemplem o ambiente natural, tenham base científica, sob a ótica da produção mundial sem, contudo, perder as características regionais e locais.

ABSTRACT

The industrialized construction process requires efficiency and accuracy and there is no space for improvisation, reworking and waste. The building becomes a system, where the stages and procedures are seen as subsystems which interact and complement each other. In this way, it opposes the Brazilian building culture and demands a revision of the whole process from the initial stage of design with the feasibility of projects, the construction itself, to the post-use evaluation. The restructuring of this process will certainly allow it to be more suitable to the actual requirements and thus more efficient. In the context of the industrialization of building, the use of steel frame structure has become very appropriate. It meets the actual requirements; it is environmentally sustainable, quick, precise and competitive. To be fully efficient, however, it needs to be well applied. This can only be possible with an investment in the professionals involved in the process, from architects and engineers to the labor. The aim of this work is to support these professionals in the use of the steel frame structure, specifically with tubular sections profile, foreseeing criteria to be considered and incorporated during the architectonic design and to contribute to the understanding of the way loads travel from the claddings down to the foundations. The focus is on the way the structures behave and on the factors which can interfere in the connections between the structure and the external cladding subsystem available in the national market. Six types of panels can be identified as alternatives to cladding: pre-cast concrete panels, autoclaved erected concrete panels, GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*) panels, cementitious boards, metal panels and curtain walling/structural glazing. It is also important to emphasize integrated, collective design. Partnership is necessary in order to find optimum solutions and to create architecture harmonious with the environment and which is seen in the global context as having a good theoretical basis without losing its local characteristics.

SUMÁRIO

RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE QUADROS.....	XVIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIX
CAPÍTULO I	
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Contexto da pesquisa	1
1.2Objetivos.....	2
1.2.Objetivos gerais.....	2
1.2.2 Objetivo específico.....	2
1.3 Metodologia.....	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	4
CAPÍTULO II	
2. OS PERFIS TUBULARES.....	6
2.1 Aspectos históricos.....	6
2.1.1 Contexto mundial.....	6
2.1.2Contexto nacional.....	19
2.2 Características e vantagens em sua utilização.....	29
CAPÍTULO III	
3. O SUBSISTEMA PARA FECHAMENTO VERTICAL EXTERNO.....	31
3.1 Aspectos Históricos.....	31
3.2 Vantagens na utilização dos painéis.....	34
3.3 Critérios de desempenho para os sistemas de fechamento vertical.....	34
3.4 Tipos de fechamento vertical externo.....	34

3.4.1 Painéis pré-fabricados de concreto.....	35
3.4.2 Painéis GRC ou GRFC.....	36
3.4.3 Painéis de concreto celular autoclavado.....	36
3.4.3 Placa cimentícia.....	37
3.4.5 Painéis metálicos.....	38
3.4.6 Painéis em vidro.....	40

CAPÍTULO IV

4. A INTERFACE ENTRE OS PERFIS TUBULARES E O SUBSISTEMA DE FECHAMENTO VERTICAL EXTERNO.....43

4.1 Considerações gerais.....	43
4.2 As cargas e seus efeitos sobre o subsistema de fechamento vertical externo.....	44
4.2.1 Peso próprio.....	44
4.2.2 Cargas resultantes da ação do vento.....	44
4.2.3 Cargas de impacto.....	45
4.3 Movimentos pós-montagem.....	45
4.3.1 Movimentação higrotérmica.....	45
4.3.2 Assentamento da fundação.....	46
4.3.3 Encurtamento elástico das colunas.....	46
4.3.4 Deslocamento das vigas de borda.....	46
4.3.5 Oscilação provocada pelo vento.....	47
4.4 Tolerâncias e juntas.....	48
4.5 Dispositivos de fixação.....	48
4.5.1 Proteção contra a corrosão.....	49
4.5.2 Proteção contra incêndio.....	49
4.6 Os sistemas de fixação.....	50
4.6.1 Painéis inteiros.....	50
4.6.2 Os painéis compostos por placas.....	50

CAPÍTULO V

5. A INTERFACE ENTRE OS PERFIS TUBULARES E PAINÉIS INTEIROS.....51

5.1 Painel pré-fabricado de concreto.....	51
5.1.1 Painel de vedação.....	52
5.1.1.1 Sistema de fixação.....	52

5.1.1.2 Juntas.....	55
5.1.1.3 Proteção contra corrosão.....	60
5.1.1.4 Proteção contra incêndio.....	61
5.1.2 Painel cortina.....	61
5.1.2.1 Sistema de fixação.....	61
5.1.2.2 Juntas.....	68
5.1.2.3 Proteção contra corrosão.....	71
5.1.2.4 Proteção contra incêndio.....	71
5.2 Painel GRC.....	72
5.2.1 Painel cortina.....	72
5.2.1.1 Sistema de fixação.....	72
5.2.1.2 Juntas.....	74
5.2.1.3 Proteção contra a corrosão.....	76
5.2.1.4 Proteção contra incêndio.....	77
5.2.1.5 Diretrizes para o projeto.....	77
5.3 Painel de concreto celular autoclavado.....	78
5.3.1 Painel de vedação.....	80
5.3.1.1 Sistema de fixação.....	80
5.3.1.2 Juntas.....	81
5.3.2 Painel cortina.....	88
5.3.2.1 Sistema de fixação.....	88
5.3.2.2 Juntas.....	90
5.3.3. Proteção contra a corrosão.....	91
5.3.4 Proteção contra incêndio.....	91
5.3.5 Diretrizes para o projeto.....	92

CAPÍTULO VI

6. A INTERFACE DOS PERFIS TUBULARES E OS PAINÉIS FIXADOS COM ESTRUTURAS AUXILIARES.....	93
6.1 Placa Cimentícia.....	93
6.1.1 Painel de vedação.....	94
6.1.1.1 Sistema de fixação.....	94
6.1.1.2 Juntas.....	96
6.1.2 Painel cortina.....	98

6.1.2.1 Sistema de fixação.....	98
6.1.2.2. Juntas.....	100
6.1.3 Diretrizes para utilização.....	100
6.2 Painéis metálicos.....	101
6.2.1 Sistema de fixação.....	103
6.2.1.1 Montantes nas lajes.....	103
6.2.1.2. Montantes fixados nos pilares.....	104
6.2.2. Painel perfilado.....	106
6.2.3 Painéis compósitos.....	108
6.2.4 Fachada <i>rainscreen</i>	112

CAPÍTULO VII

7. A INTERFACE ENTRE OS PERFIS TUBULARES E OS PAINÉIS EM VIDRO.....115

7.1 Painel de vedação.....	115
7.2 Fachada cortina.....	119
7.2.1 Sistemas de fixação.....	120
7.2.1.1 Fixação na base.....	120
7.2.1.2. Fixação no topo.....	126
7.2.2 Elementos de fixação.....	130
7.2.3 Juntas e vedação.....	134
7.2.4 Recomendações para o projeto.....	134

CAPÍTULO VIII

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....136

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....139

ANEXO I

LIGAÇÃO DOS PERFISTUBULARES.....145	145
Apoio dos pilares.....	145
Extensão do pilar.....	148
Ligação entre vigas e pilares.....	149
Parafusos apropriados para perfis tubulares.....	156

ANEXO II

RELAÇÃO DOS FORNECEDORES E FABRICANTES PESQUISADOS.....157

Relação dos fornecedores dos perfis tubulares estruturais.....	157
Relação dos fornecedores de painéis consultados.....	157
Relação de fornecedores de silicones.....	159
Fornecedor de fita anticorrosiva.....	159
Isolamento em fibra cerâmica.....	159
Isolamento em lã de rocha e lã de vidro.....	159
Fornecedor de parafuso para perfis tubulares	159

ANEXO III

ROTEIRO DE ENTREVISTAS.....160

Roteiro de entrevista com arquitetos.....	160
Roteiro de entrevista com engenheiros.....	161
Roteiro de entrevista com fornecedores de painéis.....	162

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1: Desenhos feitos para a sede da tecelagem Phillip and Lee, Bulton y Watt.....	6
Figura 2.2: Vista interna de uma tecelagem na Inglaterra.....	7
Figura 2.3: Elevação do Palácio de Cristal, Hyde Park, Londres.....	7
Figura 2.4: Vista interna do Palácio de Cristal, Hyde park, Londres.....	8
Figura 2.5: Desenhos para a fábrica de chocolates Mernier, Noisiel-sur-Marne.....	9
Figura 2.6: Estação Liverpool Station, Londres.....	10
Figura 2.7: Vista interna do Hotel Tassel, Bruxelas.....	11
Figura 2.8: Entrada para estação de metrô, Karlsplatz, Viena.....	12
Figura 2.9: Perspectiva do Ed. Leiter 1, Chicago.....	13
Figura 2.10: Planta doEd. Leiter 1, Chicago.....	13
Figura 2.11: Casa para a <i>Berlin Building Exposition</i>	15
Figura 2.12: Climatron – Jardim botânico de St. Louis, EUA.....	15
Figura 2.13: Pavilhão da Alemanha para a Exposição Mundial em Montreal.....	16
Figura 2.14: Centro <i>Georges Pompidou</i> , Paris.....	17
Figura 2.15. Prédio do extinto <i>World Trade Center</i> , Nova York.....	18
Figura 2.16. Aeroporto Internacional de Kansai, Baía de Osaka, Japão.....	19
Figura 2.17: Mercado São José, Recife.....	21
Figura 2.18. Mercado Municipal de Manaus.....	22
Figura 2.19. Pavilhão lateral do Mercado Municipal de Manaus.....	23
Figura 2.20. Teatro José de Alencar, Fortaleza.....	24
Figura 2.21. Opera de Arame, Curitiba.....	26
Figura 2.22. Centro Cultural Itaú - São Paulo.....	26
Figura 2.23. Centro Empresarial do Aço, São Paulo.....	27
Figura 2.24. Centro de Tecnologia da Rede Sarah, Salvador.....	27
Figura 2.25. Aeroporto Internacional Pinto Martins, Fortaleza.....	28
Figura 2.26. Fábrica Valeo, Campinas.....	28

CAPÍTULO III

Figura 3.1: Estação ferroviária de Bananal, São Paulo.	32
--	----

CAPÍTULO IV

Figura 4.1: Elevação mostrando a rotação do painel provocada pelo recalque da fundação.	46
Figura 4.2: Elevação mostrando a movimentação da estrutura provocada pela ação do vento.	47

CAPÍTULO V

Figura 5.1: Montagem de painéis em concreto	51
Figura 5.2: Perspectiva de um painel de concreto utilizado como vedação, com fixação na laje e na viga.	52
Figura 5.3: Elevação externa típica para um painel vedação em concreto fixado na laje.	53
Figura 5.4: Perspectiva interna mostrando o painel vedação fixado diretamente nos pilares.	54
Figura 5.5: Elevação externa mostrando a movimentação potencial do painel.	55
Figura 5.6: Detalhe de fixação do painel.	57
Figura 5.7: Detalhe A: fixação do painel na viga de borda.	57
Figura 5.8: Seção 1-1: interface do painel com o pilar.	58
Figura 5.9: Seção 2-2, mostrando a interface do painel com a laje e a viga.	59
Figura 5.10: Seção 3-3: Detalhe do painel na platibanda.	60
Figura 5.11: Perspectiva mostrando um painel de concreto fixado no topo.	62
Figura 5.12: Elevação típica de um painel cortina com fixação no topo.	62
Figura 5.13: Perspectiva de um painel com fixação na base.	64
Figura 5.14: Elevação típica mostrando a movimentação potencial de um painel fixado na base.	64
Figura 5.15: Elevação típica mostrando a movimentação potencial de um painel com fixação mista.	66
Figura 5.16: Perspectiva de um painel com fixação mista.	66
Figura 5.17: Perspectiva do painel cortina com fixação no pilar.	67
Figura 5.18: Detalhes da proteção da junta aberta.	69
Figura 5.19: Perspectiva mostrando a junta aberta e o sistema de vedação.	69
Figura 5.20: Detalhe da junta vertical entre painéis.	70
Figura 5.21: Detalhe da junta entre os painéis de quina.	71
Figura 5.22: Fachada com painel GRC, Hotel Íbis, São Paulo.	72
Figura 5.23: Lavagem do painel.	72

Figura 5.24: Elevação posterior do painel GRC, mostrando o enrijecimento metálico.	73
Figura 5.25: Corte mostrando a fixação do painel.	74
Figura 5.26: Detalhe da fixação do painel.	74
Figura 5.27: Fixação do painel, em planta.	75
Figura 5.28: Detalhe da junta entre painéis.	76
Figura 5.29: Posicionamento das aberturas nos painéis.	78
Figura 5.30: Edifícios com fechamento em painel de concreto celular.	79
Figura 5.31: Perspectiva mostrando o fechamento com concreto celular autoclavado.	80
Figura 5.32: Elevação típica de um fechamento com painel em concreto celular autoclavado.	80
Figura 5.33: Seção 1-1: união do pilar com o painel.	82
Figura 5.34: Seção 2-2: união entre o painel que receberá esquadria com o pilar.	83
Figura 5.35: Seção 3-3: união entre o pilar, o painel e a esquadria.	84
Figura 5.36: Seção 4-4: união do painel com esquadria, em corte.....	85
Figura 5.37: Seção 5-5: ligação do painel e da esquadria, em corte.....	86
Figura 5.38: Detalhe 1: interface entre a esquadria e a viga metálica.	87
Figura 5.39: Perspectiva de um painel cortina.	88
Figura 5.40: Elevação típica de um painel cortina.	88
Figura 5.41: Detalhe da fixação do painel cortina.	89
Figura 5.42: Detalhes A e B-fixação do painel cortina.....	90
Figura 5.43: Planta mostrando o detalhe de fixação e as juntas preenchidas com <i>grout</i>	90

CAPÍTULO VI

Figura 6.1: Fachada revestida com placa cimentícia.	93
Figura 6.2: Elevação externa mostrando a movimentação potencial.	94
Figura 6.3: Corte 1-1: fixação da placa cimentícia como painel de vedação externa.....	95
Figura 6.4: Seção 2-2: Detalhe de fixação da placa cimentícia.	96
Figura 6.5: Detalhe da união entre placas cimentícias.....	97
Figura 6.6: Det. A: tratamento da junta entre painéis.....	97
Figura 6.7: Perspectiva mostrando a estrutura auxiliar.	98
Figura 6.8: Elevação típica com a movimentação potencial.....	99
Figura 6.9: Detalhe da fixação do montante na laje, quando ele é suspenso.	100
Figura 6.10: Painel metálico perfilado, Fábrica Valeo.	102

Figura 6.11: Perspectiva de um painel cortina metálico fixado nas lajes.	103
Figura 6.12: Elevação típica para um painel metálico com montante fixado na laje.	104
Figura 6.13: Perspectiva de um painel cortina metálico fixado nos pilares.	105
Figura 6.14: Painel metálico perfilado em aço galvanizado.	106
Figura 6.15: Detalhe da fixação do painel perfilado com encaixe “macho e fêmea”.	107
Figura 6.16: Detalhe da fixação do painel perfilado com encaixe de pino e junta selada	107
Figura 6.17: Fixação de um painel em aço inoxidável.	108
Figura 6.18: Edifício revestido com painel compósito em alumínio.....	109
Figura 6.19: Exemplos de juntas horizontais utilizadas na fixação dos painéis compósitos.	110
Figura 6.20: Corte típico, mostrando a fixação de um painel compósito.	111
Figura 6.21: Fixação típica para a fachada rainscreen.	112
Figura 6.22: Detalhe da fixação do painel <i>rainscreen</i> no pilar.	113
Figura 6.23: Esquema da barreira dupla utilizada na fachada <i>rainscreen</i> . Perspectiva e planta mostrando a fixação das placas.	114

CAPÍTULO VII

Figura 7.1: Painel de vedação em vidro. Fábrica Açotubo.	115
Figura 7.2: Elevação típica de um painel de vedação em vidro encaixilhado.....	116
Figura 7.3: Seção 1-1: interface do painel com o pilar metálico, em planta.	117
Figura 7.4: Seção 2-2: detalhe da fixação do caixilho na laje.....	117
Figura 7.5: Seção 3-3: detalhe da junção do caixilho com a viga metálica	118
Figura 7.6: Esquema mostrando painel de vidro fixado com poste.	120
Figura 7.7: Vista do <i>hall</i> de entrada da fábrica Flextronics em Sorocaba, S.P.	121
Figura 7.8: Esquema para painel de vidro fixado com poste com braço.	121
Figura 7.9: Esquema para painel de vidro com poste baixo reforçado.	122
Figura 7.10: Fachada cortina com vidro encaixilhado, apoiada por poste no restaurante da fábrica Flextronics.	123
Figura 7.11: Esquema para fixação do painel de vidro com treliça triangular.	124
Figura 7.12: Fixação do painel de vidro com treliça vierendeel.	125
Figura 7.13: Corte mostrando o esquema de fixação do painel de vidro com arco atirantado.	125
Figura 7.14: Fixação do painel de vidro com aleta.	126

Figura 7.15: Perspectivas mostrando as possibilidades de atirantamento do painel de vidro.	127
Figura 7.16: Fixação do painel de vidro com aleta atirantada na viga superior, Financial Times, Londres.	128
Figura 7.17: Conexão articulada para permitir a movimentação do painel.	128
Figura 7.18: Painel de vidro suspenso, Centro Britânico Brasileiro, S.P.	129
Figura 7.19: Detalhe do painel de vidro. Centro Britânico Brasileiro.	129
Figura 7.20: Elevação do painel mostrando os movimentos potenciais.	130
Figura 7.21: Arranjo de cantoneiras para fixação do painel.	131
Figura 7.22: Fixação através de aranha.	132
Figura 7.23: Fixação com aranha dupla.	132
Figura 7.24: Fixação com pinos.....	133
Figura 7.25: Fixação das aletas com cantoneiras.	133

ANEXO I

Figura A.1: Detalhe da fixação articulada do pilar na placa de base.	145
Figura A.2: Detalhe da fixação rígida do pilar e placa de base.	146
Figura A.3: Detalhe da fixação da placa de base durante a colocação do <i>grout</i>	147
Figura A.4: Detalhe de fixação da placa de base após o endurecimento do <i>grout</i>	147
Figura A.5: Detalhe da extensão do pilar através da ligação flangeada.	148
Figura A.6: Detalhe da ligação entre a viga “I” e o pilar.....	149
Figura A.7: Detalhe da ligação entre a viga “I” e o pilar, Fábrica Açotubo.	150
Figura A.8: Detalhe da ligação entre a viga “I” e o pilar, através da chapa contínua.....	151
Figura A.9: Detalhe da ligação entre o pilar e vigas “I” de alturas diferentes.	152
Figura A.10: Detalhe da ligação entre o pilar e vigas “I” apoiadas em consoles.	152
Figura A.11: Detalhe da ligação entre o pilar e a viga tubular de seção retangular.....	153
Figura A.12: Detalhe da ligação articulada entre vigas de seção composta.....	154
Figura A.13: Detalhe da ligação rígida entre vigas de seção composta.....	155
Figura A.14: Detalhe da ligação rígida entre viga terminal e pilar.....	155
Figura A.15: Detalhe da fixação de cantoneiras aparafusadas nos perfis tubulares.	156

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO II

Quadro 2.1: Fornecedores de perfis tubulares 30

CAPÍTULO III

Quadro 3.1: Propriedades termofísicas e acústicas dos painéis pesquisados 42

CAPÍTULO V

Quadro 5.1: Características dos selantes 56

Quadro 5.2: Dimensões para juntas de vedação 56

Quadro 5.3: Dimensões dos painéis em concreto celular autoclavado 78

CAPÍTULO VI

Quadro 6.1: Tipos e dimensões de painéis metálicos 102

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACM	<i>Aluminium Composite Material</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CRC	Cimento Reforçado com Fibra de Vidro
EPDM	Etilenopropileno Dieno Monômero
EPS	Poliestireno Expandido
GRC	<i>Glassfibre Reinforced Cement</i>
PCI	<i>Precast/ Prestressed Concrete Institute</i>
PVB	Polivinil Butiral
SCI	<i>The Steel Construction Institute</i>

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto da pesquisa

Atualmente a construção civil brasileira tem procurado uma busca de racionalização através da adoção de sistemas construtivos mais avançados, do ponto de vista técnico, evitando os processos tradicionais em que o retrabalho e o desperdício caminham juntos. Com isto, o uso da estrutura metálica tem um papel importante através da utilização de elementos processados industrialmente garantindo qualidade, facilidade e rapidez na montagem, bem como canteiros de obra menores e com menor custo.

A construção industrializada compreende tanto a utilização de alguns elementos industriais (como os perfis que são utilizados na estrutura), como a de elementos pré-fabricados, que são produzidos nas fábricas e somente montados no canteiro (como os painéis utilizados como elementos de fechamento interno e externo). É, portanto, uma nova cultura da construção: o edifício não é mais visto como um conjunto de projetos e sim sob uma nova ótica, dentro de uma visão sistêmica, onde as várias partes da construção se relacionam e se realimentam. Inserida neste contexto, pode-se dizer que a construção metálica compreende um sistema composto por subsistemas: a estrutura, as instalações prediais, o fechamento vertical, as esquadrias e o acabamento. Torna-se necessário que o profissional da construção (o engenheiro e o arquiteto) esteja mais apto a desenvolver este novo papel, onde o conhecimento e o domínio do sistema construtivo adotado têm papel fundamental.

Cada vez mais, tem-se assistido à oferta de novos materiais no mercado nacional, tanto no que se refere aos perfis metálicos, quanto às novas opções para fechamentos e esquadrias. Recentemente, em janeiro de 2003, foram lançados no mercado brasileiro os perfis tubulares laminados sem costura de seções quadradas e retangulares, que somados aos já existentes de seção circular, incrementam as opções para a construção civil. A escolha de um determinado tipo de perfil não é tarefa simples e o profissional deverá ter em mente uma série de questões como sua adequação a determinado uso, considerações estéticas, suas propriedades mecânicas, os custos do material e de sua fabricação, as formas de montagem e a manutenção.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos gerais

Os objetivos gerais deste trabalho são, a partir da observação da interface existente entre a utilização de perfis tubulares estruturais e o sistema de fechamento vertical externo, analisar os desempenhos técnico, estético, de execução e de manutenção e propor soluções que contribuam para o desenvolvimento do emprego destes perfis na construção civil.

1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar estes objetivos foram contempladas as seguintes etapas:

- a) Levantamento e organização de informações que permitam o uso adequado dos perfis tubulares;
- b) Levantamento e organização dos tipos de fechamento utilizados no Brasil quando se adota a construção com estrutura metálica.
- c) Análise da interface da estrutura e o fechamento vertical sob os critérios de desempenhos técnico, estético, de execução e de manutenção. O item desempenho técnico contempla os seguintes aspectos:
 - Identificação do fluxo das ações para os diversos tipos de painéis e sua relação com as colunas, vigas e lajes.
 - Análise física e quantitativa das ações nos elementos de ligação.
 - Problemas de ancoragem e resistência do sistema estrutural: coluna x viga; ligações x painéis; painéis x colunas; painéis x vigas; painéis x lajes e painéis x painéis.
- d) Fornecimento de subsídios técnicos que contribuam para a utilização deste sistema (perfil tubular e fechamento vertical);
- e) Apresentação e discussão dos aspectos de projeto e execução que visem melhorar o emprego do sistema.

1.3 Metodologia

Para o desenvolvimento dos objetivos da pesquisa foram realizadas as etapas de revisão bibliográfica e coleta dos dados através de visitas técnicas e entrevistas com profissionais

(arquitetos e engenheiros) que atuam na área de projeto, cálculo estrutural e construção com estrutura metálica.

Inicialmente foi feita uma ampla revisão bibliográfica com o intuito de ampliar o conhecimento do atual quadro de utilização dos perfis tubulares no Brasil e no exterior e identificação dos materiais empregados para o fechamento externo dos edifícios, através de consultas em livros, dissertações, artigos, sites da Internet e catálogos de fabricantes. Verificou-se também que, ultimamente, os painéis tem sido motivo de teses de dissertação de mestrado em várias universidades brasileiras, dentre elas a de RAMOS (1997) que abordou os painéis de aço inoxidável como revestimento de fachadas. KRÜGER (2000) avaliou os painéis pré-fabricados em concreto, os de concreto celular autoclavado, os de poliestireno expandido utilizados como fechamento externo e os de gesso acartonado, utilizados como fechamento interno, nas edificações de estrutura metálica. PEREIRA (2001) avaliou o desempenho dos painéis pré-fabricados de concreto e os painéis GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*) quando utilizados nos fechamentos dos edifícios de estrutura metálica e OLIVEIRA (2002) enfocou a tecnologia dos painéis pré-fabricados de concreto que é empregada em fachadas de edifícios, de forma geral.

A partir da revisão bibliográfica, foi possível passar para o levantamento dos dados, com a identificação dos profissionais e fabricantes atuantes no mercado nacional e definição das obras que poderiam ser estudadas. Foi feita também uma complementação das informações através de visitas técnicas a universidades, institutos de pesquisas e associações que congregam fabricantes de estrutura e painéis.

A etapa seguinte foi a de entrevistas com arquitetos e engenheiros e visitas técnicas aos fabricantes das estruturas e dos painéis. Em um primeiro momento foram feitas as entrevistas com os profissionais envolvidos com o projeto e montagem. As entrevistas foram semi-estruturadas, onde foram abordadas as questões relativas à experiência do profissional com a estrutura metálica, especificamente, com os perfis tubulares. Em seguida foram feitas entrevistas com os fornecedores dos painéis, também semi-estruturadas e nas quais foram abordadas as questões técnicas e de relacionamento entre os fabricantes e os profissionais envolvidos. Os roteiros das entrevistas estão no anexo III. Como resultado desta etapa verificou-se que a utilização dos perfis tubulares como estrutura ainda é muito restrita no Brasil e ficou clara a impossibilidade de serem feitos estudos de casos específicos, optando-se

pelo estudo geral da interface da estrutura metálica com os subsistemas utilizados na construção industrializada. Neste sentido, foram identificados os tipos de fechamento disponibilizados pela indústria nacional, no caso os painéis pré-fabricados de concreto, os painéis GRC feitos com matriz cimentícia, os painéis de concreto celular autoclavado, as placas cimentícias, os painéis metálicos em chapas galvanizadas pintadas, em aço inoxidável e em alumínio e os painéis industrializados em vidro.

A partir das informações e observações coletadas foi possível passar para a etapa posterior, de organização das informações e formulação dos subsídios técnicos que devem ser contemplados quando se propõe a utilização dos perfis tubulares como estrutura nos edifícios e, neste aspecto específico, da interface com o subsistema de fechamento vertical externo.

1.4 Estrutura da dissertação

No **capítulo I** desta dissertação aborda-se como introdução, os aspectos da construção racionalizada e a necessidade da mudança do enfoque na construção no Brasil, que requer um profissional mais capacitado e maior integração entre os diversos setores que compõem este novo sistema construtivo.

O **capítulo II** é dedicado aos perfis tubulares, e começa com os aspectos históricos da utilização destes perfis, a partir de sua produção em escala industrial proporcionada pela primeira Revolução Industrial e chegando aos dias atuais. A segunda parte aborda as características dos perfis e as vantagens na utilização destes perfis como estrutura nos edifícios.

No **capítulo III**, o enfoque é o subsistema de fechamento vertical, com aspectos históricos de sua utilização na construção industrializada no decorrer dos tempos, as vantagens na utilização dos painéis, os critérios que os painéis devem atender para que possam apresentar bom desempenho e os tipos de fechamentos disponíveis no mercado brasileiro, a saber, os painéis pré-fabricados em concreto, os em GRC, os em concreto celular autoclavado, as placas cimentícias, os painéis metálicos e os painéis industrializados em vidro.

No **capítulo IV** estão descritas as questões conceituais que atuam na interface da estrutura com o subsistema de fechamento vertical externo.

No **capítulo V** trata-se, especificamente, da interface entre os perfis tubulares e os painéis aqui denominados de painéis inteiros, ou seja, os que possuem grande dimensão e são fixados diretamente na estrutura suporte da edificação (painéis pré-fabricados em concreto, os painéis GRC e os painéis em concreto celular autoclavado).

No **capítulo VI** está descrita a interface entre os perfis tubulares e os painéis com pequenas dimensões, as placas, que necessitam de uma estrutura auxiliar para a sua fixação, especificamente as placas cimentícias e os painéis metálicos.

O **capítulo VII** é dedicado aos painéis industrializados em vidro, como a fachada em vidro encaixilhado e a fachada estrutural envidraçada ou *Structural Glazing System*.

No **capítulo VIII** reúnem-se as considerações finais desta dissertação e são indicados alguns aspectos que poderão ser tratados em pesquisas futuras.

No **anexo I** apresentam-se algumas informações coletadas durante o andamento desta pesquisa sobre as ligações entre perfis tubulares.

No **anexo II** está apresentada a relação dos fornecedores e fabricantes pesquisados.

Os roteiros das entrevistas com os arquitetos, engenheiros e fabricantes dos painéis estão no **anexo III**.

Capítulo II

2. OS PERFIS TUBULARES

2.1 Aspectos Históricos

2.1.1 Contexto Mundial

Os perfis tubulares, principalmente os de seção circular, sempre foram utilizados na construção civil, seja nos edifícios, seja na construção de pontes e passarelas. A coluna de ferro fundido foi o primeiro material de construção produzido por métodos industriais desenvolvidos pela Revolução Industrial. Ela foi intensamente utilizada, tanto na Europa quanto nos Estados Unidos, principalmente naquelas construções que abrigavam fábricas, mercados, bibliotecas e, até mesmo, nos primeiros arranha-céus construídos em Chicago.

Segundo EEKOUT (1996), as primeiras colunas de ferro fundido foram utilizadas em 1706 na construção da Casa dos Comuns, em Londres, por Christopher Wren. Por sua vez, GIEDION (1978) cita em seu livro Espaço, Tiempo y Arquitectura que o primeiro edifício em que foram adotadas colunas de ferro foi o construído pela fundição de Boulton y Watt para a sede da tecelagem Philip and Lee, em Manchester em 1801. A fundição, que na época já possuía larga experiência como fabricante de máquina à vapor, utilizou na construção colunas em ferro fundido e vigas em perfil T, que foram totalmente recobertas pelas alvenarias, como pode ser observado na Figura 2.1.

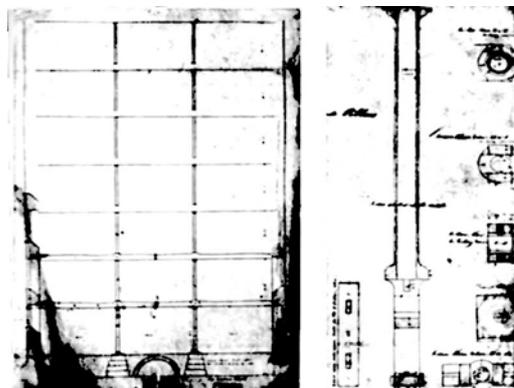


Figura 2.1-Desenhos feitos para a sede da tecelagem Philip and Lee, Boulton y Watt, Manchester, 1801.

Fonte: GIEDION (1978)

Pode-se dizer que os perfis de seção circular foram muito empregados na Inglaterra, nos edifícios industriais, como colunas, devido à sua ótima resistência à compressão e também em vigas treliçadas que permitiam vencer grandes vãos com baixo peso, se comparadas às de madeira. A madeira, que até então era o material empregado nas treliças, apresentava o inconveniente do peso elevado e a facilidade de combustão (Figura 2. 2).

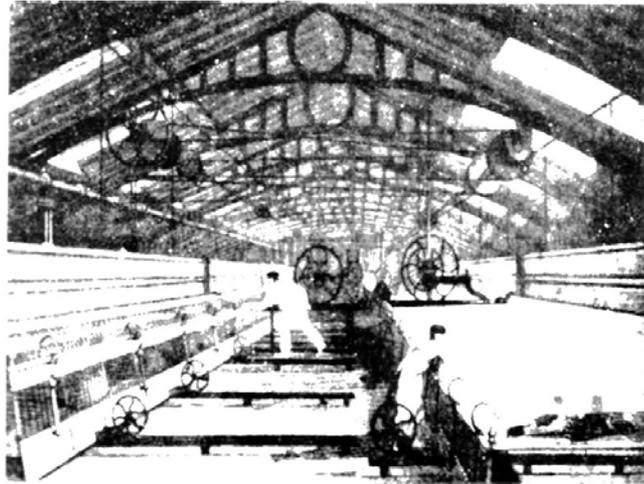


Figura 2.2-Vista interna de uma tecelagem com estrutura em ferro fundido, Inglaterra, 1835.

Fonte: GIEDION (1978)

Em 1851 chegou-se ao apogeu da construção do ferro fundido no séc. XIX com a construção do Palácio de Cristal no Hyde Park, em Londres, considerada a primeira obra feita com elementos pré-fabricados. O edifício, feito para a primeira exposição industrial internacional, era uma construção mista, com colunas de ferro fundido, vigas em madeira e as placas de vidro utilizadas em parte da cobertura apresentavam dimensões inovadoras para a época (Figuras 2.3 e 2.4).

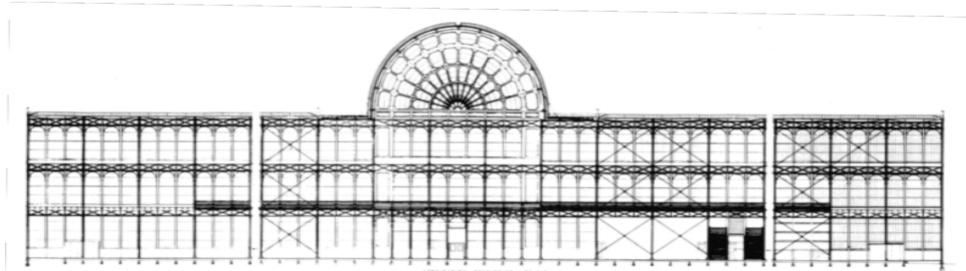


Figura 2.3-Palácio de Cristal, Hyde Park, Londres, 1851.

Fonte: BLANC et al (1993)

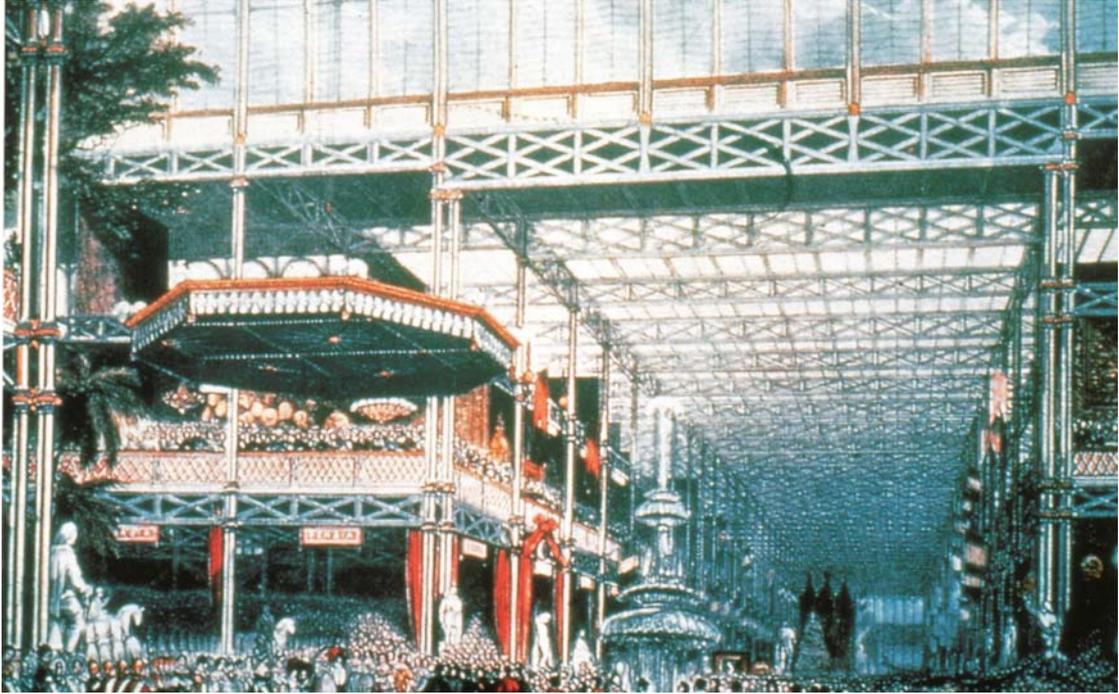


Figura 2.4-Vista interna do Palácio de Cristal, Hyde Park, Londres, 1851.

Fonte: EEKOUT (1996)

Já os perfis tubulares de seção quadrada e retangular só foram obtidos mais tarde, com os avanços técnicos conseguidos na construção das ferrovias, como a técnica para a laminação do ferro fundido. Estes perfis eram produzidos pela junção dos perfis laminados, rebitados ou aparafusados e, segundo GIEDION (1978), em 1871 foi empregado pela primeira vez na construção do edifício para a sede da fábrica de chocolate Mernier, em Noisel-sur-Marne, na França. Este edifício é considerado o primeiro exemplar do que se define hoje como construção metálica. As paredes externas, revestidas com cerâmicas, não contribuíam para a sustentação da cobertura, e esta era sustentada por colunas de ferro contraventadas com diagonais, como pode ser visto na Figura 2.5.

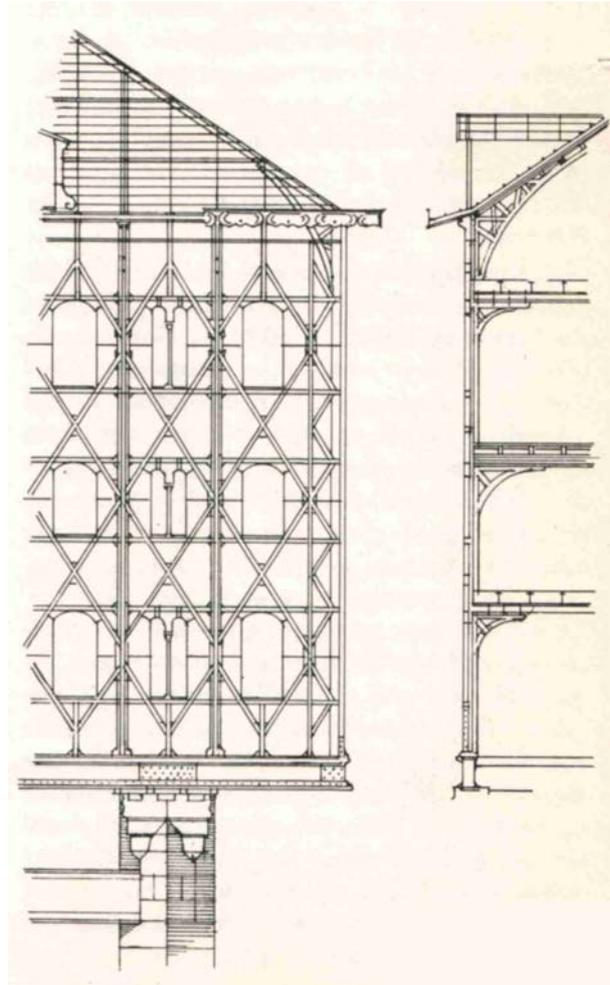


Figura 2.5-Fábrica de chocolates Menier, Noisiel-sur-Marne, 1871-1872.

Fonte: HART et al (1976).

Inúmeras construções foram feitas com a utilização da estrutura metálica até o final do séc. XIX, apesar de muitas delas ainda serem “revestidas” com inspirações estéticas historicistas que iam do clássico ao gótico. Um exemplo da arquitetura de ferro do final do século pode ser visto na Figura 2.6, que mostra a estação *Liverpool Street* construída em Londres em 1875. Nela pode ser visto que as colunas de ferro fundido sustentam um delicado trabalho feito nas vigas treliçadas e permitem que a luz se espalhe por todo o espaço.



Figura 2.6- Vista da cobertura da Estação Liverpool Street, em Londres.

Fonte: SHEPPARD (1996).

Na última década do séc. XIX configurou-se um quadro que prenunciava mudanças: a atividade industrial atingia grande desenvolvimento e amadurecimento e, aliada ao crescimento das cidades e também ao desenvolvimento construtivo, propiciaria uma fase de transição, onde as soluções arquitetônicas, que copiavam os estilos antigos não cabiam mais como modelo a ser adotado.

Surgiam, então, os novos conceitos que norteariam o pensamento arquitetônico do século seguinte: o de simplificação do espaço, que deveria atender as novas necessidades do tempo e do usuário, somado à “verdade dos materiais”, ou seja, os materiais deveriam ser utilizados aparentes.

Na Europa, esta nova concepção começou na Bélgica, com Vitor Horta que projetou uma casa em estrutura metálica, onde internamente na escada, a coluna e a viga foram deixadas aparentes, ganhando tratamento sofisticado e fazendo parte da ambientação (Figura 2.7). Este movimento, conhecido como *Art-Nouveau*, seria o momento auge da utilização do ferro fundido como estrutura e do ferro forjado como ornamentação; em breve o ferro seria substituído pelo aço.



Figura 2.7- Vista interna do Hotel Tassel, Bruxelas, 1892-1893.

Fonte: VITRUVIO (2003, a)

O movimento se expandiu para outros países da Europa, ganhando adeptos na Holanda, Inglaterra, França e na Áustria, com Otto Wagner, que introduziu elementos próprios, usando sempre os materiais aparentes: estrutura de ferro e fechamentos com placas de mármore e de vidro, como pode ser visto na Figura 2.8.



Figura 2.8- Entrada para metrô na Karlsplatz, Viena, 1898.

Fonte: VITRUVIO (2003, b)

Simultaneamente, nos Estados Unidos, a tecnologia alcançada com a construção (a fabricação do perfil em aço e a invenção do elevador) propiciou uma nova produção arquitetônica, os edifícios altos, que passaram a ser construídos inicialmente em Nova York e que posteriormente se tornaram a solução para a reconstrução do centro da cidade de Chicago, que fora atingido em 1871 por um grande incêndio.

É interessante mencionar que nos edifícios de Chicago a estrutura deixou de ser apenas um elemento da construção, passando a fazer parte da expressão volumétrica do edifício. O primeiro deles foi o Leiter 1 (Fig 2.9) do arquiteto William Le Baron Jenney, um edifício ainda com estrutura mista: vigas de madeira apoiadas sobre mãos francesas e colunas de ferro fundido no interior e, externamente, sobre paredes de alvenaria reforçadas por uma estrutura metálica secundária. A alvenaria de tijolo possuía uma espessura bem menor do que a usada, e sua função era basicamente dar ao ferro proteção contra o fogo. As janelas apresentavam uma largura bem maior com a utilização de pilares e vergas metálicas.

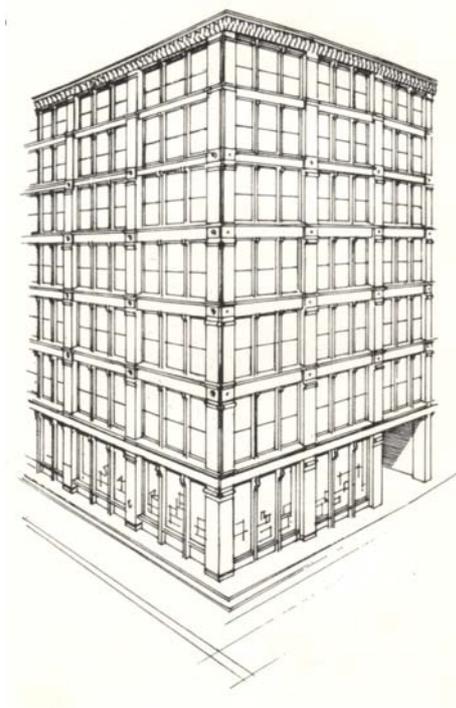


Figura 2.9- Ed. Leiter 1, Chicago, 1879. Perspectiva

Fonte: HART et al (1976)

O edifício também apresentava inovação na solução da planta: um grande vão, com as colunas metálicas dispostas segundo uma malha retangular (Figura 2.10).

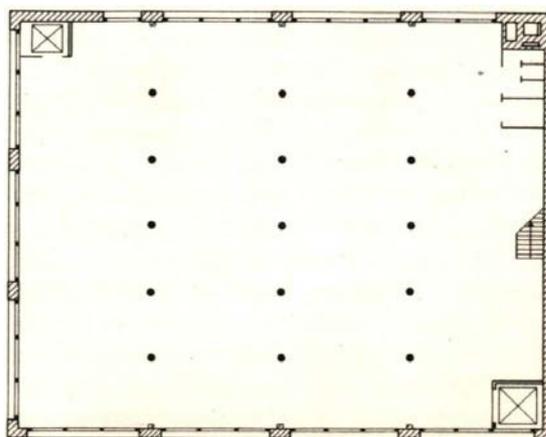


Figura 2.10-Ed. Leiter 1, Chicago, 1879. Planta

Fonte: HART et al (1976)

A produção do aço em forma líquida, conseguida por Henry Bessemer e Siemens-Martin, permitiu a fabricação de componentes maiores e mais resistentes. Isso porque, até então, o ferro fundido só resistia ao esforço de compressão, mas com o aço, tanto os esforços de

compressão como os de tração puderam ser resistidos, possibilitando a sua afirmação como elemento estrutural nos edifícios. Outro avanço foi o desenvolvimento das técnicas de soldagem, que permitiram a junção contínua dos elementos. As primeiras experiências começaram com a descoberta do processo automático de soldagem por P.O. Nobel e, segundo EEKOUT (1996), a primeira treliça totalmente eletro-soldada foi fabricada em 1920, e nos anos 1930 o processo já se tornara popular com o emprego do arco submerso.

Após a primeira guerra mundial, a necessidade de se fazer novas construções e a reconstrução dos edifícios propiciaram o desenvolvimento da construção metálica, uma vez que sua rapidez de montagem e a facilidade de transporte, permitiam atender a grande demanda da época. Na Europa havia uma preferência entre os construtores pela utilização dos perfis tubulares soldados (com costura) em colunas e nas treliças, que possibilitavam vencer os grandes vãos, característicos dos edifícios que abrigavam as estações de trens, fábricas, escolas e hospitais. Os projetistas europeus almejavam baratear o custo da utilização da estrutura metálica e, portanto, optavam pela utilização dos perfis tubulares que permitiam a economia do material. Já os construtores americanos optavam pela utilização dos perfis com seção aberta (perfis “I” e “H”) em vigas e pilares, devido à eficiência estrutural e praticidade construtiva que eles apresentavam.

Na década de 1930, surgiu na Europa o Movimento Moderno na arquitetura, que mais uma vez, amparado pelos avanços tecnológicos do concreto armado e da estrutura metálica, pregava uma mudança total do pensamento arquitetônico:

- a) a organização do espaço interno deixaria de ser compartimentada possibilitando o surgimento do grande vão livre;
- b) os elementos construtivos seriam enfatizados de forma que estrutura e fechamento externo deveriam ser tratadas de forma independente;
- c) outra novidade foi a utilização do vidro como material de fechamento, em grandes panos, pois agora a tecnologia permitia sua fabricação em tamanhos maiores, possibilitando uma integração visual entre exterior e interior.

Como exemplo deste novo pensamento arquitetônico, pode ser citada a casa projetada por Mies van der Rhoë para a *Berlin Building Exposition*, em 1931 (Figura 2.11).

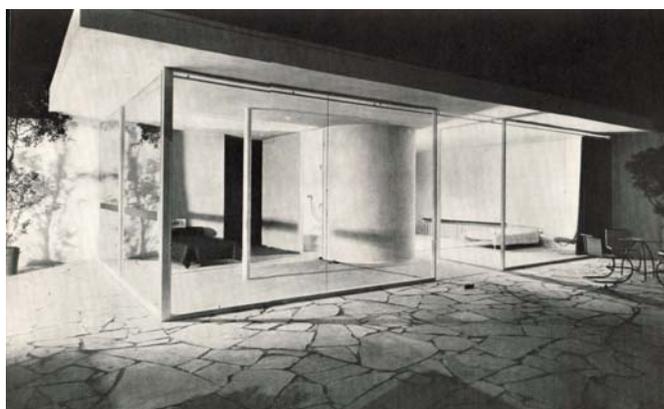


Figura 2.11 - Casa para a *Berlin Building Exposition*, 1931.

Fonte: DREXLER (1960)

Paralelamente, tem início também na década de 1930, nos Estados Unidos, as experiências com estruturas leves, as geodésicas de Buchminster Fuller (Fig. 2.12). Caminhando ao contrário do pensamento americano vigente, ele começou a pesquisar formas econômicas para as mais variadas necessidades estruturais a partir da aplicação de estudos geométricos e desenvolveu um novo sistema de estrutura tensionada, tendo como base estruturas triangulares, em que eram utilizados tubos com seção circular.



Figura 2.12-“Climatron”, Jardim Botânico de St. Louis, 1960.

Fonte: PBS (2004)

Com o tempo, os conceitos modernistas atingiram o mundo ocidental passando a ter grande aceitação por volta da década de 1950, constituindo o denominado “Estilo Internacional”. A idéia da “planta livre” foi reforçada e a facilidade de fabricação dos componentes e da racionalidade da construção passaram a ser perseguidas através da modulação dos espaços e da adoção da construção leve, utilizando os materiais sintéticos e favorecendo o uso da estrutura metálica. Estes ideais imperaram durante as décadas seguintes e só foram revistos mais tarde, na medida em que especificidades tais como condições climáticas, culturais e econômicas não puderam sustentar sua aplicação técnica.

Na década de 1960, novos movimentos surgiram no cenário da construção com as primeiras reações ao Modernismo, algumas delas como “heranças” dos trabalhos de Fuller que continuava as suas experiências que influenciariam as gerações posteriores de arquitetos. Dentre elas, o grupo inglês Archigram, que baseava o seu trabalho em idéias futuristas e situações utópicas. Na Alemanha, Frei Otto intensificava as suas experiências com estruturas leves tensionadas usando perfis de seção circular variável para os mastros, como pode ser visto na Figura 2.13.

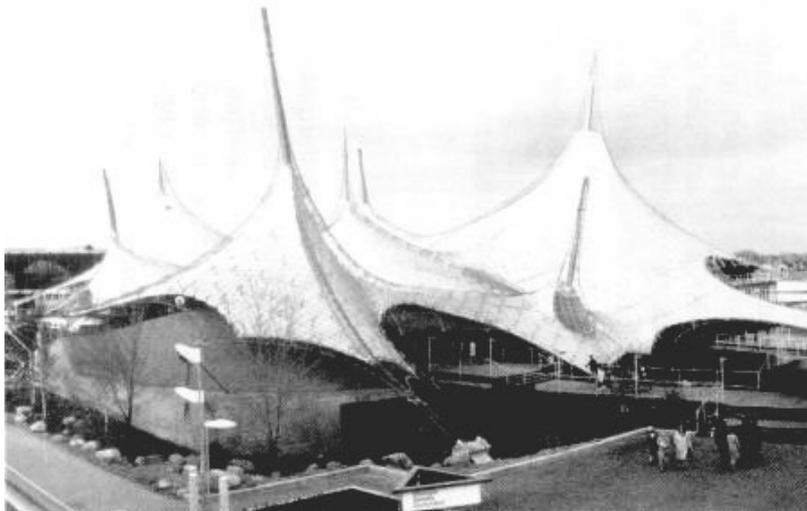


Figura 2.13-Pavilhão da Alemanha para a Exposição Mundial em Montreal, 1967.

Fonte: ARCHIINFORM (2004)

E também, segundo EEKOUT (1996), nesta década passaram a ser produzidos os perfis de aço com seções tubulares retangulares e quadradas, para atender aos anseios pragmáticos dos engenheiros, que os consideravam mais propícios para receber lajes *steel deck* e outros fechamentos e também mais facilidade na execução das ligações.

Os movimentos arquitetônicos de reação ao Modernismo ressoaram na década seguinte, incrementados pelo conceito de mecanização da sociedade e, em 1971, o projeto dos arquitetos Renzo Piano e Richard Rogers venceu o concurso para o Centro Cultural George Pompidou, em Paris (Fig.2.14). No projeto deste edifício, inaugurado em 1977, o conceito de mecanização foi levado ao extremo e reafirmado pela proposta estrutural com a utilização de perfis metálicos tubulares nos pilares e nas vigas treliçadas, externos e aparentes, propiciando o ápice da utilização da tecnologia como expressão arquitetônica.



Figura 2.14- Centro George Pompidou, Paris, 1977.

Fonte: GREAT BUILDINGS ON LINE (2003)

A partir daí, teve início uma maior integração do trabalho dos engenheiros calculistas com os arquitetos, e a estrutura passou a exercer um papel importante na definição formal dos edifícios. Paralelamente, nos anos de 1970, surgiram nos Estados Unidos os mega-edifícios, que empregavam tecnologias sofisticadas, que só se viabilizaram com a utilização de perfis

metálicos e a conseqüente redução das seções e do peso das estruturas. É relevante citar a construção da Sears Tower e do World Trade Center, duas construções que provaram ao mundo que, daquele momento em diante, até mesmo as “visões” mais utópicas dos arquitetos poderiam ser concretizadas, desde que devidamente aliadas ao poder econômico.

No projeto do World Trade Center (Fig.2.15), o mais alto até então, foi adotada sofisticada solução estrutural tubular: malha periférica de perfis tubulares formados por chapas dobradas, ligada a um núcleo central, por meio de vigas treliçadas e as lajes em *steel deck* assegurando a estabilidade lateral dos pilares.



Figura 2.15- World Trade Center, 1970-1977, Nova York.

Fonte: GREAT BUILDINGS ON LINE (2003)

Na década de 1980, o avanço tecnológico chegou aos programas de computador e os programas utilizados pelas indústrias aeronáutica e naval puderam ser aperfeiçoados, contribuindo também para a melhoria dos programas de cálculos dos edifícios. Com isto, os arquitetos puderam ousar cada vez mais na relação existente entre a proposta estrutural e a proposta formal, promovendo uma integração às vezes muito intensa, como pode ser vista no trabalho de arquitetos como Santiago Calatrava, Norman Forster e Renzo Piano, dentre

outros. No aeroporto para a ilha de Kansai, projetado por Renzo Piano (Fig. 2.16), pode ser apreciado o sofisticado desenho da viga treliçada no *hall* dos passageiros.



Fig.2.16 – Aeroporto Internacional de Kansai, Baía de Osaka, Japão, 1994. Arq. Renzo Piano.

Fonte: Revista AU – nº 87, Dez /Jan (2000)

2.1.2 Contexto Nacional

No Brasil, como na maior parte das colônias européias os primeiros edifícios construídos com estrutura em ferro utilizaram elementos importados da Europa e foram montados no final do séc. XVIII e início do séc. XIX. Segundo SILVA (1986), apesar de aqui terem existido fundições, como a Fundação Aurora que funcionou de 1829 até 1873 na cidade de Recife, elas só fabricavam elementos isolados para a construção civil, como grades e portões, nenhuma delas chegando a produzir estruturas para edifícios. Ainda segundo SILVA (1986), a importação destas estruturas pré-fabricadas para a construção de edifícios foi possível devido a dois fatores: a abertura dos portos, que aconteceu em 1808 propiciando à população brasileira o acesso aos produtos industriais, principalmente àqueles vindos da Europa; e também pelo fato de, em meados do século XVIII, a produção siderúrgica européia ter atingido uma escala industrial, fato este impulsionado pelo avanço da ferrovia como meio de transporte, aliado ao crescimento urbano das cidades européias pós-revolução industrial.

Assim, a indústria siderúrgica oferecia uma escala de produção que, não somente atendia ao mercado interno, como permitia a exportação para outros territórios. Era possível importar estruturas inteiras principalmente de siderúrgicas britânicas e belgas, que disponibilizavam em catálogos os produtos que podiam ser comercializados. Como exemplo, pode-se citar a fundição Walter Macfarlane & Co, de Glasgow, que forneceu elementos de ferro fundido para vários edifícios brasileiros, como os pavilhões da carne e do peixe do Mercado Ver-o-Peso em Belém e o Teatro José de Alencar, em Fortaleza.

É importante mencionar que os primeiros edifícios nos quais foram empregadas estas estruturas pré-fabricadas encontravam-se em regiões brasileiras que tinham como característica um progresso rápido no setor agrícola, com acumulação de riquezas e necessidade de dar vazão a estes produtos como o café, em São Paulo e Rio de Janeiro, a borracha em Belém e Manaus e a cana de açúcar no nordeste brasileiro. E muitos destes edifícios foram construídos pelas empresas estrangeiras que aqui se fixaram para a construção e administração das estradas de ferro. Assim, com a construção do primeiro trecho ferroviário da Estrada Mauá viu-se a chegada das pontes metálicas pré-fabricadas, que podiam ser montadas com grande rapidez para a época. E, em 1901, quando houve necessidade de ampliar a Estação da Luz, optou-se pela demolição do prédio que existia e em seu lugar foi construída a nova, cujo pavilhão das plataformas foi construído com estrutura em ferro fundido. Muitas outras estações foram construídas em estrutura de ferro, mas vale registrar a de Bananal, que além de possuir colunas em ferro, o fechamento dos vãos foi feito com o emprego de chapas metálicas (ver Capítulo III).

Segundo SILVA (1986) e KÜHL (1998) outras tipologias de construção foram erguidas com colunas de ferro, principalmente mercados e teatros, a saber:

- a) Em 1875, o Mercado São José, em Recife, o primeiro mercado construído com estrutura metálica no Brasil, projetado por um engenheiro da Câmara Municipal de Recife, inspirado no mercado de Grenelle em Paris, e que mais tarde sofreu intervenção de Louis Léger Vaulthier (Figura 2.17);



Figura 2.17- Mercado São José, Recife.

Foto: FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO (2004)

- b) Em 1883, o Mercado Municipal de Manaus cuja estrutura do pavilhão central foi produzida pela Francis Morton Engineers, de Liverpool. O pavilhão central possui estrutura em colunas de ferro fundido que recebem vigas treliçadas em ferro fundido e são cobertos com telha de zinco. Nas fachadas, em alvenaria, a porta principal e os arcos superiores são também em ferro fundido ornamentado. Na Figura 2.18 (a) mostra-se a fachada do pavilhão central, onde se destacam os ornamentos em ferro fundido. Na Figura 2.18 (b) vê-se, em detalhe, o arco superior da porta principal e na Figura 2.18 (c) é vista a estrutura deste pavilhão. Em 1890, o mercado recebeu reforma e acréscimo de dois pavilhões laterais destinados à venda de peixe e carne, mas desta vez a estrutura foi fornecida pela Walter Macfarlane &Co. Posteriormente, houve a construção de mais um pavilhão, o das tartarugas, também com a estrutura da Walter Macfarlane &Co. Na Figura 2.19 é mostrado o pavilhão da carne, com colunas e fechamento superior em venezianas de ferro fundido e também um pequeno quiosque;



(a) Vista da fachada do pavilhão central com detalhes em ferro fundido.



(b) Detalhe do arco em ferro fundido ornamentado na porta principal.

Figura 2.18- Mercado de Manaus

Fonte: 1ª SR IPHAN (2004, a, b)



(c) Vista interna, mostrando as colunas e as vigas treliçadas.

Figura 2.18- Mercado de Manaus.

Fonte: 1ª SR IPHAN (2004, c).



Figura 2.19- Mercado Municipal de Manaus. Pavilhão Lateral.

Fonte: 1ª SR IPHAN (2004, d)

- c) Em 1897, foi inaugurado o Mercado Público de Fortaleza, com estrutura pré-fabricada de ferro, trazida da França, e é interessante observar que este mercado foi posteriormente desmontado e sua estrutura foi reutilizada em pavilhões para abrigar dois novos mercados, em locais diferentes (Aldeota e Aerolândia); o que atesta a versatilidade proporcionada pela adoção da estrutura metálica;

- d) Em 1901, foi construído o Mercado do Peixe, que faz parte do complexo Ver-o-Peso, em Belém. Neste pavilhão as colunas tubulares são quadradas, montadas a partir da união de dois perfis “U” em ferro fundido. E, posteriormente, em 1908, o Mercado Municipal de Belém recebeu uma reforma e acréscimo de mais um pavilhão em estrutura de ferro: o Mercado da Carne, que hoje faz parte do complexo Ver-o-Peso;
- e) Em 1910, o Teatro José de Alencar (Figura 2.20) foi construído em Fortaleza. O teatro é uma construção mista, sendo que a parte frontal foi feita em alvenaria e a parte do grande vão que abriga o palco e a platéia em estrutura de ferro fundido, separadas por um pátio interno.

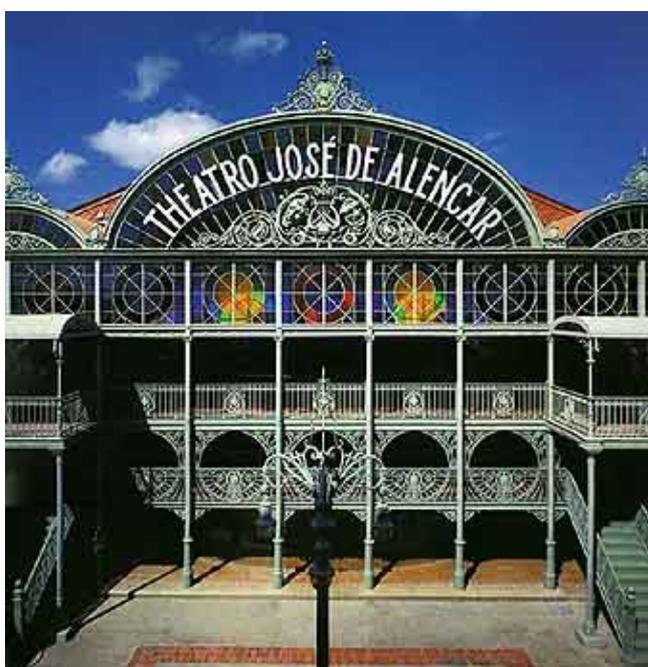


Figura 2.20- Vista do pátio interno do Teatro José de Alencar, Fortaleza.

Foto: CENTRO TÉCNICO DE ARTES CÊNICAS (2004)

Após a construção destes primeiros edifícios, a estrutura metálica só foi retomada na construção de prédios muito mais tarde, na década de 1950. Os primeiros perfis de aço foram fabricados pela Companhia Siderúrgica Nacional – CSN na década de 1940 e, até 1950, os perfis pesados (trilhos e laminados) ainda não tinham sido aceitos pelo mercado nacional. Em 1953 foi criada a Fábrica de Estruturas Metálicas – FEM que desenvolveu um trabalho pioneiro, no aperfeiçoamento e disseminação da tecnologia no Brasil, permitindo a construção dos primeiros edifícios com estrutura em aço.

É interessante observar que, durante a construção de Brasília, devido à urgência para se erguer

os prédios, a estrutura metálica foi a solução encontrada e empregada em vários deles, como o Brasília Palace Hotel, construído com perfis laminados, padrão americano, da CSN. Nos edifícios que abrigam os Ministérios e no edifício do anexo do Congresso Nacional, foram utilizados perfis americanos montados pela empresa Reymond Pill, que aqui se estabeleceu como Construtora Planalto.

Na década de 1960, começaram a operar a Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA e a Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais – USIMINAS, expandindo a produção nacional do aço e, na década seguinte, com a modernização das indústrias e o domínio dos processos de laminação, o Brasil abandona a posição de importador de aço e passa a ser exportador. Em 1986, começou a operar a Usina de Ouro Branco da empresa Aço Minas Gerais – AÇOMINAS, que hoje é o maior fornecedor mundial de tarugo, além de perfis laminados a quente de seção “H” e “I”.

Os perfis tubulares circulares sem costura são produzidos pela Vallourec & Mannesmann Tubes – V & M do Brasil S.A., antiga Mannesmann, que foi fundada em 1952 para atender a demanda de perfis tubulares exigidos pela indústria petrolífera. Desde então, diversificou sua produção e, atualmente, oferece tubos para a indústria automobilística e para a construção civil, inclusive com seções quadradas e retangulares, proporcionando aos profissionais mais opções na escolha dos perfis.

Já os perfis tubulares com costura são produzidos através do beneficiamento das chapas de aço fornecidas pelas siderúrgicas: CSN, CST, USIMINAS e COSIPA. As empresas de beneficiamento normalmente possuem uma linha de produtos, podendo também produzir perfis especiais por encomenda.

Pode-se dizer que a utilização da construção metálica ainda é restrita no Brasil e a utilização de perfis tubulares de aço na construção civil é bem recente. Em 1992, foi construída no Parque Leminski, em Curitiba a Ópera de Arame, inicialmente pensada sem fechamento lateral, pelo fato de estar dentro de um parque, e com uma cobertura leve, em lona (Figura 2.21). Com o passar do tempo e devido ao rigor do clima da cidade (chuvoso e frio), foi necessária a utilização de uma cobertura mais eficiente, hoje em chapa de policarbonato, e de fechamento lateral com vidro.



Figura 2.21-Opera de Arame, Curitiba, 1992

Fonte: RAVAZZANI, FAGNANI (1999)

No mesmo ano foram erguidos em São Paulo dois edifícios que empregaram soluções mistas na estrutura: a sede do Centro Cultural Itaú e o Centro Empresarial do Aço. No primeiro (Figura 2.22) uma torre metálica com perfis em seção caixão apóia-se sobre o pavimento térreo, em concreto.

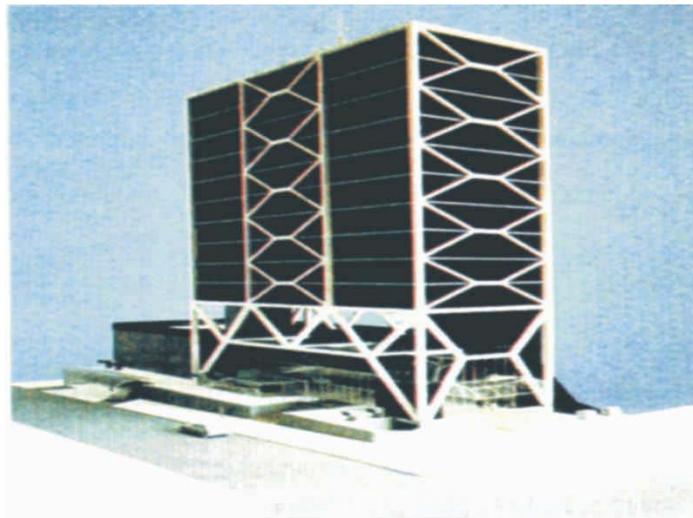


Figura 2.22- Centro Cultural Itaú - São Paulo, 1992.

Fonte: Revista AU - nº 87, Dez /Jan (2000)

No Centro Empresarial do Aço (Fig.2.23) a estrutura dos cinco subsolos e térreo inferior é em concreto e o térreo superior e mais nove pavimentos tipo são sustentados por colunas de aço, de seção tubular e diâmetro de um metro localizadas no núcleo central e nas fachadas.



Figura 2.23- Centro Empresarial do Aço, São Paulo 1992.

Fonte: DIAS (1993)

Aqui, como em outros países, os perfis tubulares tradicionalmente tem sido utilizados em treliças nas coberturas dos edifícios que demandam grandes vãos, como escolas, agências bancárias, hospitais e aeroportos. Mais recentemente, tem sido empregados também como colunas, o que pode ser visto no Centro de tecnologia da Rede Sarah de hospitais, em Salvador (Fig 2.24) e no Aeroporto Internacional Pinto Martins, em Fortaleza (Fig. 2.25).



Figura 2.24- Centro de tecnologia da Rede Sarah, Salvador, 1992.

Fonte: FERRAZ (2000)



Figura 2.25- Aeroporto Internacional Pinto Martins, Fortaleza, 1998.

Fonte: DIAS (2001)

E, como resultado da globalização, tem-se assistido a associações de escritórios estrangeiros e brasileiros. Um exemplo é a fábrica de autopeças Valeo (Fig.2.26) que é multinacional e cujo projeto arquitetônico é feito por um escritório americano. Porém, quando foi implantada no Brasil em 1998, o escritório americano associou-se a um nacional, com o objetivo de adaptar o projeto aos nossos padrões tecnológicos e aos materiais disponíveis no nosso mercado.



Figura 2.26- Fábrica Valeo, Campinas.

Fonte: BITTAR (2004,a)

2.2 Características e vantagens em sua utilização

Os perfis tubulares são empregados na construção civil por uma série de vantagens, e quando bem utilizados, aliam eficiência estrutural à limpeza visual, itens fundamentais perseguidos por arquitetos e engenheiros.

A indústria nacional oferece o perfil tubular com seção circular para a construção civil com as seguintes características: tubos sem costura, laminados a quente, variando os diâmetros entre 26,77 mm e 355,6 mm com espessura de 2,30 mm a 38,00 mm em aço estrutural (pode ser patinável). Eles apresentam as seguintes vantagens:

- a) Boa resistência aos esforços de compressão. Os pilares podem ser preenchidos com concreto (estruturas mistas) obtendo um ganho adicional de resistência e também um ganho no tempo de resistência contra o fogo;
- b) As seções tubulares, principalmente as de seção circular, são mais resistentes à torção, pois devida à sua geometria, o seu material é distribuído uniformemente em torno do eixo polar;
- c) As seções tubulares apresentam boa resposta quando submetidas às ações combinadas e tem comportamento à flambagem descrito pela curva “a” da NBR 8800 (ABNT/1986);
- d) Possuem uma área menor de superfície (de 20% a 30%) se comparadas às seções abertas, o que leva a um custo menor com pintura e material de proteção contra incêndio;
- e) Os perfis tubulares sem costura apresentam maior resistência à corrosão, uma vez que não apresentam frestas nem arestas;
- g) Os tubos circulares apresentam boas respostas quando expostos a água e ao vento, oferecendo a estes menor resistência;
- h) Também podem ser preenchidos com água para aumentar o tempo de resistência contra o fogo, e com gases aumentando sua resistência à corrosão.

Já os tubos de seção quadrada e retangular são oferecidos com as seguintes características: tubos sem costura, conformados a frio com espessura entre 4,8 mm e 12,7 mm. As seções dos tubos quadrados variam de 50 mm x 50 mm a 290 mm x 290 mm, e as dos tubos retangulares vão de 60 mm x 40 mm a 360 mm x 210 mm. Além das vantagens acima citadas, pelo fato de possuírem superfícies planas, apresentam facilidades no corte e nas ligações facilitando a execução das ligações aparafusadas.

Os principais fornecedores dos perfis tubulares estruturais disponíveis no mercado nacional são apresentados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1- Fornecedores nacionais dos perfis tubulares estruturais

Perfis tubulares	Fabricantes	Referências
Tubos com costura	Apolo-tubos equipamentos Confab Industrial S/A Perfipar Tuper Wiest – tubos de aço	http://www.apolotubos.com.br http://www.confab.com.br http://www.perfipar.com.br http://www.tuper.com.br http://www.wiest.com.br
Tubos sem costura	Vallourec & Mannesmann Tubes*	http://www.vmtubes.com.br
Tubos em aço inoxidável	Inox tubos Zamproгна	http://inoxtubos.com.br http://www.zamproгна.com.br

* A Vallourec & Mannesmann Tubes também oferece tubos em aço patinável.

CAPÍTULO III

3. O SUBSISTEMA PARA FECHAMENTO VERTICAL EXTERNO

3.1 Aspectos históricos

Como consequência da industrialização dos perfis de ferro fundido na Europa pós-revolução industrial surgiu uma mudança no processo construtivo propiciando a utilização de elementos pré-fabricados em toda a edificação. Em meados do século XIX o ferro fundido já estava consolidado como estrutura e já se utilizava chapas de ferro fundido como fechamento lateral e nas coberturas. O problema que se apresentava era a limitação das dimensões das chapas que só podiam ser utilizadas em determinados vãos. Segundo SILVA (1986), na década de 1840 surgiram as chapas corrugadas galvanizadas, que se propuseram a resolver o problema do fechamento: “Com a descoberta do processo de ondular as chapas, esse problema ficou resolvido: o comprimento das ondas era pequeno e as emendas podiam ser feitas em qualquer ponto, permitindo a utilização das chapas sem limites, como se fosse uma superfície contínua”.

A partir da adoção das chapas onduladas houve um grande avanço na pré-fabricação de edifícios principalmente naqueles onde eram necessárias rapidez e facilidade de montagem. Mas novamente os problemas começaram a surgir e um deles era a dificuldade de isolamento térmico, já resolvido na Europa e nos Estados Unidos, com a utilização de madeira no interior das chapas. Esta solução não seria suficiente para os climas quentes como os da América do Sul e da África, que eram os novos mercados importadores dos edifícios. Outro problema era o fato dos edifícios com estrutura e fechamento em chapas onduladas possuírem um caráter de construção temporária, não aceitável para construções mais imponentes e para as residências.

Segundo SILVA (1986), surgiu na Bélgica na década de 1880, um sistema construtivo que se propunha a resolver as questões estéticas e o isolamento térmico. Fabricado pela *Societé des Forges d’Aiseau* o sistema foi patenteado pelo seu administrador Joseph Danly com o nome de *Sistema Danly* e era composto por chapas metálicas duplas enrijecidas através de dobras, criando entre elas um colchão de ar, fixadas com parafusos nos perfis metálicos. Próximas ao rodapé e ao teto as chapas recebiam furos que podiam ser fechados ou não com outra lâmina metálica interna, que quando abertas permitiam a circulação do ar. Este sistema foi muito

utilizado na Europa e exportado inclusive para o Brasil, como pode ser visto ainda hoje na Estação Ferroviária de Bananal, concluída em 1888, e mostrada na Figura 3.1.



Fig. 3.1- Estação ferroviária de Bananal-SP.

Fonte: ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (2004)

De fato, nem com este sistema, o problema de isolamento térmico foi solucionado e a alvenaria de tijolo e pedra ganhou espaço, sobretudo durante o período do Ecletismo. As construções pré-fabricadas com estruturas e fechamentos metálicos ficaram restritas a determinados tipos de edificação, como mercados e estações ferroviárias, onde os vãos eram abertos e os fechamentos se limitavam às partes superiores e em algumas delas utilizando também o vidro, que além da proteção permitiam a entrada da luz.

O vidro em placas, como já foi dito no Capítulo II, já podia ser visto em 1851 no Palácio de Cristal, tanto no fechamento lateral como na cobertura, ainda com dimensões pequenas, compatíveis com as possibilidades tecnológicas daquela época. Paulatinamente, foi possível o fechamento de vãos maiores com o auxílio dos caixilhos metálicos usados na Europa, com o movimento Art Nouveau e nos edifícios americanos, principalmente naqueles construídos em Chicago e Nova York. O vidro ganhou *status* como alternativa de fechamento para grandes

vãos durante o período do Movimento Moderno, propiciado pelo avanço tecnológico que veio responder aos anseios dos arquitetos da época.

Também durante o Movimento Moderno, a preocupação com a construção industrializada foi retomada e, em 1931 na Alemanha, Walter Gropius, preocupado com o *déficit* habitacional, propôs dois protótipos de casas para serem construídas com estrutura metálica e fechamento interno em painéis de madeira. Estes painéis eram revestidos internamente com placas de fibrocimento e externamente com chapas corrugadas de cobre. A proposta de Gropius não pode ser levada à frente devido à crise econômica e ao avanço do nazismo que o obrigou a ir morar nos Estados Unidos. Já em território americano ele desenvolveu em 1947, associado a K. Waschaman, um sistema de construção que foi conhecido como o *General Panel System* totalmente fabricado dentro do critério de produção industrial, usando basicamente a madeira.

Outro avanço tecnológico foi o conseguido com a produção do concreto armado por Auguste Perret, na França no final da década de 1920, alavancando todo um processo de melhoria na utilização do concreto, que permitiu a fabricação dos primeiros painéis de concreto usados nos fechamentos dos edifícios ainda na década de 1930, na França. A partir da década de 1960, a Alemanha intensificou a produção e o uso dos painéis de concreto, que passaram a ser amplamente empregados na Europa, Estados Unidos e Canadá. Mas, já na década de 1970, eles foram colocados de lado por duas razões: o peso do painel que limitava sua utilização, e a limitada oferta do tipo de painel. O concreto celular autoclavado foi desenvolvido na Suécia em 1924 e a tecnologia chegou ao Brasil em 1957, quando foi implantada a primeira fábrica em São Paulo. Em 1982, foi implantada a segunda fábrica de concreto celular e esta, desde a sua fundação, passou a produzir o painel para fechamento externo. A partir da década de 1980 surgiram os painéis arquitetônicos de concreto que ofereciam novas possibilidades formais, como curvas, apliques e revestimentos de grande variedade. E, mais recentemente, nos anos 90 novas tecnologias os tornaram mais leves, como a adição de agregados e fibras (de vidro, fibras vegetais e outras).

A utilização de painéis metálicos é comum nos países desenvolvidos, mas ainda limitada no Brasil devido ao seu alto custo. Os painéis metálicos mais encontrados para fechamentos verticais são os de alumínio composto e as chapas metálicas, sendo o aço inoxidável pouco utilizado para o fechamento vertical dos edifícios.

3.2 Vantagens na utilização dos painéis.

Quando se trata da construção industrializada, o sistema utilizado para fechamento vertical externo é composto pelos painéis e no Brasil encontram-se disponíveis os painéis em concreto, de concreto celular autoclavado, as placas cimentícias, os painéis metálicos e os painéis em vidro. O uso dos painéis pressupõe algumas vantagens detalhadas a seguir:

- a) Rapidez na montagem;
- b) Possibilidade de passagem de tubulação para redes hidráulicas e elétricas;
- c) A eliminação da etapa de acabamento na obra, uma vez que a maioria deles vem com os acabamentos de fábrica;
- d) Limpeza e organização do canteiro;
- e) Precisão das medidas, uma vez que eles são elementos pré-fabricados;
- f) Menor desperdício e eliminação do re-trabalho na execução das fachadas.

3.3 Critérios de desempenho para os sistemas de fechamento vertical

Os materiais empregados no fechamento externo das edificações devem atender aos critérios de desempenho abaixo relacionados:

- a) Estanqueidade à água e ao ar;
- b) Durabilidade, mantendo suas características originais de textura, de acabamento e da cor por 25 anos;
- c) Segurança estrutural: segurança devido aos impactos e à ação do vento, tanto nos painéis como nos sistemas de fixação destes à estrutura;
- d) Apresentar isolamento térmico e acústico.

É importante mencionar que nos sistemas pré-fabricados não somente os painéis devem atender a estes requisitos, mas também as juntas devem atender aos critérios de segurança, habitabilidade e durabilidade.

3.4 Tipos de fechamento vertical externo

A pesquisa do levantamento dos atuais sistemas utilizados para o fechamento externo resultou

na identificação de dois tipos: a alvenaria tradicional e os painéis pré-fabricados. Como o objetivo do trabalho é a construção industrializada o fechamento em alvenaria não será tratado, e se dará enfoque as alternativas tecnológicas que vem sendo disponibilizadas e comercializadas para o fechamento vertical dos edifícios, detalhadas a seguir:

3.4.1 Painéis pré-fabricados de concreto.

Os painéis de concreto podem ser de três tipos:

- a) Painéis-cortina: painéis de fechamento externo recobrimdo toda a estrutura, e que não possuem função estrutural;
- b) Painéis com função estrutural.
- c) Painéis de vedação: são aqueles que não recobrem toda a estrutura.

Normalmente, nos edifícios de estrutura metálica são usados os painéis tipo cortina e os painéis de vedação. Podem apresentar geometria e dimensões variadas, que devem ser definidas no projeto, sempre levando em consideração a facilidade de manuseio, o transporte da fábrica até o canteiro e o içamento dos painéis. Portanto, é um painel que permite vencer um grande vão com um só elemento. As dimensões mais utilizadas variam na altura de 1,20 m a 3,00 m e pode ter comprimento de até três vezes a altura. A espessura é dimensionada em função do comprimento e varia entre 9 mm e 160 mm. Os painéis pré-fabricados em concreto apresentam as seguintes características:

- a) Massa superficial: em média de 250 kg/ m²;
- b) Apresentam bom desempenho no isolamento acústico (ver quadro 3.1);
- c) Apresentam bom desempenho térmico, quando combinado com painel interno em gesso acartonado;
- d) A estanqueidade deve ser assegurada com a adoção de juntas seladas entre os painéis e entre painéis e caixilhos (ver Capítulo IV);
- e) Apresentam boa resistência ao fogo.

Podem receber como acabamento a adição de agregados coloridos e de pigmentos inorgânicos estáveis quando expostos à alta temperatura e à radiação ultravioleta. Podem também receber

revestimento em granito, mármore e materiais cerâmicos assentados no processo de fabricação.

3.4.2. Painéis GFRC ou GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*)

Os painéis GFRC ou GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*) são os fabricados com a adição de fibra de vidro à matriz cimentícia, com a intenção de diminuir o peso. Possuem elevada resistência à compressão e a fibra de vidro garante maior resistência à tração, à flexão e aumenta a capacidade de absorção dos impactos. É um painel que permite moldagem, apliques e formas diversas, de acordo com o projeto arquitetônico. O painel GRC disponível no mercado brasileiro é constituído por duas lâminas de 10 mm ligadas entre si por uma manta de fibra de lã de vidro. Apresentam as seguintes características:

- a) Massa superficial: varia com o tamanho do painel, mas em média possui $\frac{1}{4}$ do peso de um painel equivalente em concreto (de 50 a 70 Kg/ m²);
- b) Apresentam elevada resistência mecânica;
- c) Apresentam bom isolamento acústico e térmico (ver quadro 3.1);
- d) São resistentes ao fogo;
- e) A estanqueidade deve ser garantida com o uso de material selante nas juntas;
- f) Devido ao fato de serem mais leves são mais fáceis de serem transportados e montados.

Como acabamento, podem receber pigmentos e agregados coloridos que devem ser estáveis sob alta temperatura e radiação ultravioleta, sendo que não é recomendado utilizar revestimento cerâmico ou granito, uma vez que tais materiais possuem retração, capacidade de absorção de umidade e dilatação térmica diferentes do material base do painel, o que pode resultar em deformações ou fissuras.

3.4.3 Painéis de concreto celular autoclavado

O concreto celular autoclavado é composto a partir de uma reação entre cimento, cal, areia e pó de alumínio, que após cura e alta pressão originam o silicato de cálcio. Os painéis para fechamento possuem uma armadura interna em aço anticorrosivo, que proporciona maior resistência no transporte e manuseio. Possuem dimensões limitadas: largura com 55 cm, comprimento de no máximo 300 cm e espessura de 12,5 cm e 15 cm. Os painéis de concreto

celular podem ser assentados no sistema de painel de vedação (deixando a estrutura aparente) e no sistema de fachada “cortina”. Apresentam as seguintes características:

- a) Massa superficial: 75 kg / m² e mais o peso do revestimento;
- b) Apresentam bom isolamento térmico;
- c) Apresentam bom desempenho acústico (média de 40dB);
- d) Os painéis são conectados entre si através de um encaixe fêmea-fêmea, e a estanqueidade é obtida pelo preenchimento do encaixe com argamassa líquida (*grout*) e posterior aplicação de argamassa de acabamento;
- e) Apresentam boa resistência ao fogo;
- f) Devido ao fato de serem leves, são de fácil manuseio e dispensam equipamentos especiais de montagem;
- g) Pode ser oferecido com furação interna para passagem de tubulação;
- h) Podem ser facilmente cortados para adaptações e ajustes de obras.

Os painéis podem receber acabamentos como pintura, textura ou serem revestidos em granito, pedras ou cerâmica, todos executados na fábrica. É importante observar que o painel de concreto celular, devido ao fato de ser um material com grande absorção de umidade, precisa receber um acabamento para garantir a estanqueidade. No processo de pintura ou aplicação de textura devem ser utilizados materiais mais resistentes ou hidrofugantes.

3.4.4 Placa cimentícia

A placa cimentícia é constituída por uma mistura homogênea de cimento e quartzo reforçada por fios sintéticos (como uma manta de fibra de vidro) ou por fibras vegetais (como a celulose). As fibras garantem a elasticidade da placa e aumentam sua resistência à flexão e ao impacto. Possuem dimensões padrão de acordo com o fornecedor, normalmente com 1,20 m de largura por 2,40 m de altura, podendo ter espessura entre 4 mm e 15 mm. É um painel leve e as placas são aparafusadas a uma estrutura auxiliar que, por sua vez é fixada à estrutura principal do edifício. Apresentam as seguintes características:

- a) Massa superficial: Entre 13 e 17 Kg/ m²
- b) São impermeáveis, com baixo teor de absorção de umidade;
- c) Apresentam boa resistência aos impactos;

- d) Apresentam boa resistência ao fogo;
- e) São bons isolantes térmicos;
- f) A estanqueidade é garantida pelo preenchimento da junta com selante flexível (polissulfeto bi-componente);
- g) São maleáveis, podendo fazer superfície curva.

As placas cimentícias podem ser utilizadas ao natural, receber pintura de acabamento ou serem revestidos com material cerâmico, pedras e granitos. Porém, estes procedimentos não são feitos durante o processo de fabricação.

3.4.5 Painéis Metálicos

Os painéis metálicos são mais uma opção para os fechamentos verticais. Estão disponíveis no mercado brasileiro três tipos de painel: o painel perfilado, o painel composto e o painel *rainscreen*.

3.4.5.1 Painéis perfilados

São os painéis compostos por chapas metálicas perfiladas em aço galvanizado, aço inoxidável ou alumínio. Normalmente as chapas são fixadas em estruturas auxiliares metálicas. Estes painéis são mais utilizados em edifícios baixos, principalmente os industriais. Este tipo de painel não é uma solução adequada para o fechamento dos níveis inferiores dos edifícios urbanos, uma vez que não atendem aos requisitos de grandes impactos e atos de depredação.

As chapas de aço galvanizado têm entre 3 mm e 6 mm de espessura, com largura até 1,20 m e o comprimento de até 20 m. As chapas de aço podem receber revestimento orgânico em PVC ou receber pintura. A pintura pode ser com esmalte vítreo ou pintura eletrostática.

As chapas de alumínio também têm entre 3 mm e 6 mm de espessura, com largura até 1,20 m e o comprimento de até 20 m. Podem receber anodização, ou acabamentos com flúor-carbono e acrílicos.

As chapas de aço inoxidável têm entre 1 mm e 2 mm de espessura, largura entre 1,00 m e 1,30 m e comprimento de 20 m e 30 m. Podem ser lisas, texturizadas ou coloridas.

As chapas, após receberem o acabamento, são cortadas, dobradas ou soldadas, ou podem receber um enrijecimento metálico adicional colocado na face posterior do painel. A quantidade e disposição dos enrijecedores aliadas à espessura da chapa são responsáveis pela rigidez final do painel. Os painéis podem receber um material de isolamento térmico e acústico, que normalmente é colocado no local e, internamente podem ter uma outra chapa de aço ou de outro material como o gesso acartonado. Este material de isolamento pode ser lã de rocha ou lã de vidro.

3.4.5.2 Painéis compósitos

Os painéis compósitos são formados por duas lâminas metálicas e uma camada interna de material leve, que geralmente é um isolante termo-acústico e podem ser do tipo “painel sanduíche” ou painel integrado. Normalmente, são em alumínio: painel ACM (*Aluminium Composite Material*). São os mais indicados para o fechamento dos edifícios altos, pois são leves e apresentam alto grau de sofisticação tecnológica o que, infelizmente, eleva o seu custo e restringe sua utilização.

A espessura da camada interna determina o grau de isolamento termo-acústico do painel e a sua rigidez. Segundo SILVA (2003), os materiais utilizados na camada interna podem ser:

- a) Lã mineral: lã de vidro, rocha, carbono ou cerâmica;
- b) Colméia de papel;
- c) Lâminas de poliestireno;
- d) Espuma de poliuretano.

De acordo com SILVA (2003), no caso de ser aplicada a espuma de poliuretano, o tipo de aplicação interfere na dimensão do painel. A espuma pode ser aplicada através do processo contínuo, que proporciona maior aderência do material, ou por aplicação horizontal ou vertical. Se a espuma é aplicada na horizontal, a dimensão do painel é determinada pela forma de transporte e pelo sistema de fixação, podendo o painel atingir a dimensão da chapa utilizada. Já na aplicação vertical, é necessário controlar a densidade o que limita a altura do painel em 60 cm. Neste tipo de painel deve haver um fechamento com material hidrofugante para garantir a qualidade da espuma.

Os painéis laminados são produzidos através da prensagem, sob aquecimento, das lâminas do material do isolamento com resinas. Estas são coladas às lâminas metálicas e prensadas novamente. Outro processo utilizado é a pressão a vácuo. Para que o painel possa atingir determinado grau de isolamento é necessário especificar o tipo do material isolante e do adesivo adequado, o que deve ser estudado para cada caso junto com o fornecedor.

3.4.5.3 Painel fachada *rainscreen* ou fachada ventilada

O painel *rainscreen* (proteção da chuva) é uma combinação de uma chapa plana de alumínio, uma câmara de ar (de 2 cm a 3 cm) e outro painel sanduíche laminado. O painel externo exerce a função de proteção contra as ações do meio ambiente e o interno funciona como isolamento termo-acústico. Esta cavidade permanece permanentemente ventilada e por isto é também denominada de fachada ventilada. É um painel sofisticado que incorpora também o sistema de esquadria e é indicado para edifícios altos.

3.4.6 Painéis em vidro

No Brasil estão disponíveis dois sistemas para as fachadas em vidro:

- a) Fachada de vidro utilizada como vedação (estrutura aparente).
- b) Fachada de vidro tipo “cortina”, que pode ser com o vidro encaixilhado (pele de vidro encaixilhada) ou sem caixilho denominada fachada em vidro estrutural (*Structural Glazing System*).

Os tipos de vidro disponíveis no mercado brasileiro são o vidro comum, o vidro aramado, o vidro temperado, o vidro laminado e o insulado.

3.4.6.1 Vidro comum – *float*

O vidro comum possui espessura entre 3 mm e 25 mm e são disponibilizados em chapas de 3,20 m x 6,00 m. Têm baixa resistência ao fogo e não é um vidro de segurança, pois ao quebrar se despedaça em pedaços grandes e pontiagudos e, segundo a norma 7199 (ABNT /1989) não são indicados para guarda-corpos, peitoris, balaústres, sacadas, coberturas e aberturas zenitais.

3.4.6.2 Vidro aramado

O vidro aramado é o tipo no qual é incorporada uma malha metálica interna. Pode ser comum ou temperado. Dependendo da espessura do vidro e do fio metálico pode ser considerado um vidro de segurança.

3.4.6.3 Vidro temperado

O vidro temperado é o vidro *float* que passa por um tratamento térmico e que, ao quebrar sob impacto, garante uma fragmentação em pedaços pequenos e menos cortantes. É um vidro de 4 a 5 vezes mais resistente que o vidro comum e é mais resistente ao diferencial térmico. É considerado vidro de segurança. Após o processo de têmpera não pode ser cortado ou furado. É encontrado com espessuras entre 3 mm e 25 mm e chapas de 2,0 m x 4,20 m.

3.4.6.4 Vidro laminado

O vidro laminado é composto por chapas de vidro, que podem ser de vidro comum ou temperado, coladas e intercaladas com uma camada plástica interna de PVB (polivinil butiral). Ao sofrer um grande impacto o vidro pode quebrar, mas os pedaços de vidro ficam presos à folha plástica. É um vidro de segurança e quando a camada interna for intumescente ou quando fios metálicos forem incorporados, pode ser considerado à prova de fogo.

3.4.6.5 Vidro Insulado

O vidro insulado é uma unidade composta por duas ou mais chapas de vidro, com uma câmara de 6 mm a 20 mm, preenchido com ar desidratado ou gás. Esta unidade possui isolamento térmico e acústico mais eficiente.

Os vidros laminados e os insulados podem oferecer combinações que podem ser altamente resistentes aos impactos e ao incêndio, dependendo, no caso dos laminados, do tipo de vidro e da película interna e, no caso dos insulados, do tipo de vidro e do gás colocado na câmara.

Como referência para futuras consultas, no anexo II pode ser encontrada a relação de todos os painéis pesquisados e, como parâmetro para análise comparativa, no Quadro 3.1 estão

apresentadas as propriedades termofísicas e acústicas destes painéis.

Quadro 3.1: Propriedades termofísicas e acústicas dos painéis pesquisados.*

Painel	Massa superficial (Kg/m ²)	Índice de isolamento acústico (dB)	Condutividade térmica (W/ m.K)	Coefficiente de transferência de calor (W/ m ² .K)
Painel pré-fabricado de concreto <ul style="list-style-type: none"> • Concreto maciço (e =15cm) • Concreto+ EPS 	360	48	3,84	
	93		0,28	
Painel GRC (Painel GRC e = 15 mm + lâ de vidro + gesso acartonado e = 10 mm)	De 50 a 70	De 20 a 40	0,9	
Painel de concreto celular autoclavado	75	37	0,13	
Placa cimentícia	Entre 13 e 17	≅ 40	0,29	
Aço galvanizado com isolamento (poliuretano)	Entre 9,95 e 13,31	28	aço: 50 poliuretano: 0,03	
Alumínio composto (ACM) e = 3mm e= 4 mm e= 6mm	4,5	24	0,41	5,65
	5,5	25	0,46	5,54
	7,3	26	0,35	5,54
Vidro temperado	222	30 a 35	1,20	5,0
Vidro duplo laminado c/ câmara gás	450	50	0,33	3,0

* Informações fornecidas pelos fabricantes dos painéis baseadas nos relatórios fornecidos pelos institutos para homologação dos produtos.

CAPÍTULO IV

4. A INTERFACE ENTRE OS PERFIS TUBULARES E O SUBSISTEMA DE FECHAMENTO VERTICAL EXTERNO

4.1 Considerações Gerais

Quando se pensa em construção industrializada no Brasil é importante lembrar que a maioria das soluções adotadas são tecnologias que foram desenvolvidas em outros países, onde quase sempre a realidade é bem diferente. A questão que se coloca, de imediato, é como esta tecnologia tem sido aplicada, como são levadas em consideração as diferenças existentes, não somente no campo da execução destas novas tecnologias, como também no campo do desempenho dos sistemas, frente às condições adversas a que estão submetidos.

No caso específico da construção metálica é importante refletir sobre as características que são inerentes a ela:

- a) A construção metálica tem como característica trabalhar com materiais industrializados (como os perfis utilizados na estrutura), ou pré-fabricados (como os painéis utilizados para o fechamento vertical externo) que apenas são montados no canteiro. Os perfis da estrutura, pelo fato de serem elementos industrializados, apresentam grau de precisão muito grande em suas dimensões, com tolerâncias mínimas de fabricação, e exigem que os demais elementos apresentem também precisão em suas dimensões. Durante a montagem não existe espaço para reformulação e improvisação. Portanto, é necessário que o projeto seja cuidadoso e que exista um detalhamento muito apurado dos elementos que compõem o sistema;
- b) A estrutura metálica corretamente utilizada visa ganho de tempo na execução e economia do material e, em geral, são utilizados perfis muito esbeltos compondo estruturas muito leves, que estarão submetidas a grandes esforços verticais (decorrentes do peso próprio da estrutura e do fechamento) e também a grandes esforços horizontais provocados pelo vento (pressão e de sucção);
- c) O aço apresenta alta condutibilidade térmica, o que provoca grande movimentação da estrutura, se comparada à de concreto armado. Portanto, é importante levar em consideração que esta movimentação é maior onde ocorre diferenciação acentuada de

temperatura entre o dia e a noite, como no caso brasileiro, e que esta movimentação não deve transmitir esforços para o subsistema de fechamento;

- d) Os materiais utilizados no fechamento apresentam, por sua vez, propriedades diferentes de absorção e transmissão de calor e de umidade, que produzem dilatação e contração do material. Este fato deve ser previsto com a utilização das juntas, que devem ser convenientemente tratadas para permitir a dilatação térmica e ao mesmo tempo garantir a estanqueidade.

Portanto, quando se pensa na interface entre a estrutura e o subsistema de fechamento vertical externo, é necessário que estes aspectos sejam verificados e que se conheça os fatores que afetam a interface, como as cargas atuantes, os movimentos pós-montagem, as tolerâncias e as juntas, e os sistemas e dispositivos de fixação.

4.2 As cargas e seus efeitos sobre o subsistema de fechamento vertical externo

4.2.1 Peso próprio

O peso próprio dos painéis é fornecido pelos fabricantes. De acordo com NBR 11685:1990, os painéis de concreto são considerados painéis pesados e tal fator ganha mais importância quando se adota o sistema de fixação tipo “cortina” em que o painel é colocado externamente à estrutura, gerando excentricidade na sua aplicação, que exigirá mais resistência dos elementos de fixação.

Os painéis leves também requerem cuidados e é preciso projetar elementos de fixação que previnam os problemas eventualmente ocorridos na construção (nivelamento e prumo da estrutura) e folgas que possam compensar as tolerâncias dimensionais, a movimentação higrotérmica e a movimentação da estrutura.

4.2.2 Cargas resultantes da ação do vento

As cargas provenientes da ação do vento são as dominantes no cálculo dos sistemas de fechamento e a ação do vento pode se dar de duas formas: por pressão direta (positiva) ou por pressão negativa (sucção). Normalmente, as maiores zonas de pressão negativa ocorrem nas quinas da edificação e tais regiões determinam o cálculo dos painéis e de seus elementos de

fixação. As forças do vento são consideradas perpendiculares ao plano das fachadas e podem provocar tração, compressão ou cisalhamento nos elementos de ligação. Estas forças são transmitidas para a estrutura e conseqüentemente caminham para os sistemas verticais de estabilização, descarregando-se finalmente nas fundações.

4.2.3 Cargas de impacto

Todos os painéis têm que apresentar capacidade de resistir aos impactos e transferir uma parte da carga para a estrutura suporte. Nos painéis pesados as cargas de impacto não influem muito no cálculo dos elementos de fixação, porém nos painéis leves (painéis sanduíches metálicos, painéis de GRC e demais) as cargas de impacto exigem um reforço no sistema de fixação, que normalmente é feito por montantes localizados atrás deles ou por uma estrutura auxiliar.

4.3 Movimentos pós-montagem

Como já dito anteriormente, após a montagem da estrutura surgem movimentos que necessitam de avaliação. No Brasil tem-se que considerar a deformação da estrutura, os movimentos causados pela dilatação e contração térmica e absorção de umidade, a oscilação do vento e o assentamento da fundação. O movimento mais significativo é o ocorrido pela deformação estrutural, mas todos eles devem ser analisados e estudados para que os elementos de fixação e as juntas possam absorvê-los.

4.3.1 Movimentação higrotérmica

A contração e a dilatação devido às diferenças térmicas e de absorção de umidade adquirem importância em países como o Brasil, onde elas podem acontecer em um curto espaço de tempo, exigindo um cuidado maior nos detalhes dos elementos de fixação. Elas são mais significativas nos sistemas que adotam painéis únicos com dimensões grandes, que vencem o vão entre colunas ou os pés direitos altos. Mesmo que o movimento seja milimétrico, as forças geradas no painel podem ser suficientes para provocar danos nas ligações e nos elementos de restrição, no caso dos painéis serem rígidos.

4.3.2 Assentamento da fundação

Como os painéis são apoiados ou suspensos na estrutura suporte da edificação, eles não são afetados quando a edificação apresentar um assentamento uniforme. Porém, qualquer movimento de recalque da fundação do edifício, no sentido longitudinal, pode provocar a rotação do painel, como é mostrado na Figura 4.1. Neste caso é necessário avaliar o movimento potencial para que os elementos de fixação possam absorvê-los.

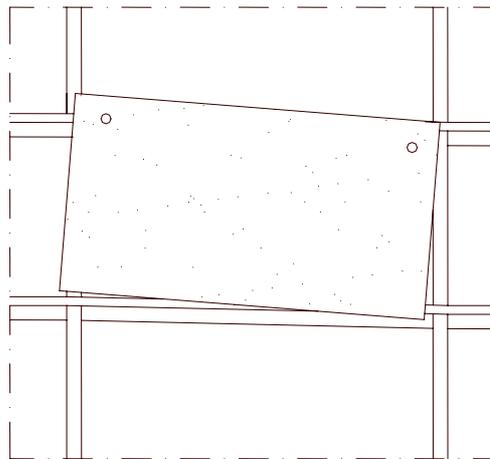


Figura 4.1-Elevação mostrando a rotação do painel provocada pelo recalque da fundação.

Fonte: SCI (1992)

4.3.3 Encurtamento elástico das colunas

Após a edificação receber o sistema de fechamento e através da sobrecarga de ocupação pode ocorrer um deslocamento nas vigas que produzirão encurtamento elástico das colunas. No caso da estrutura metálica este fenômeno é assimilado pela estrutura sem requerer cuidados especiais.

4.3.4 Deslocamento das vigas de borda

As vigas próximas à fachada estão mais sujeitas à flexão devido ao peso das lajes e dos sistemas de fechamento. O deslocamento máximo da viga é determinado pela NBR 8800:1986 que o limita em até $l/360$, sendo l o comprimento do vão. Ele é mais significativo

nos subsistemas de fechamento que utilizam painéis leves, pois a deformação pode afetar a estrutura secundária (montantes e guias) que sustenta as placas de revestimento. A deformação da malha secundária, por sua vez, pode provocar deformação no material da placa e, no caso do vidro, pode provocar trincas. Para evitar tal situação os montantes precisam ter em seu sistema de fixação um mecanismo que permita o deslizamento das placas ou, no caso de edifícios baixos, serem apoiados no piso e assim evitar que a fixação seja feita nas vigas de borda.

Os painéis únicos e os painéis GRC (reforçados com estrutura metálica leve) apresentam menos problema com o deslocamento da viga e é recomendável posicionar os elementos de fixação do painel mais próximo das colunas e prever juntas no meio do vão (onde o deslocamento é maior) para que estas possam absorver o movimento.

4.3.5 Oscilação (provocada pelo vento)

A oscilação provocada pelo vento gera uma movimentação vertical das colunas enquanto as lajes tendem a permanecer na horizontal. Tal movimento poderá provocar um escorregamento lateral dos painéis como mostrado na Figura 4.2.

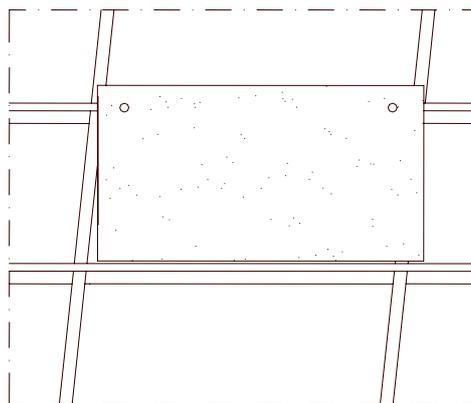


Figura 4.2-Elevação mostrando a movimentação da estrutura provocada pela ação do vento.

Fonte: SCI (1992)

4.4 Tolerâncias e juntas

A tolerância é a variação dimensional máxima e mínima que pode ocorrer entre o projeto e a medida real de um elemento e depende de cada material. Na construção metálica é necessário prever, através de juntas e folgas, as tolerâncias de montagem (nivelamento e prumo), a movimentação diferencial entre a estrutura e o subsistema de fechamento, a variação volumétrica e a tolerância dimensional do painel.

A junta é a distância entre um painel e outro e deve absorver a tolerância dimensional e a variação volumétrica causada pelas variações higrotérmicas (térmicas e higroscópicas). As juntas podem ser horizontais e verticais, abertas ou vedadas. Na junta vedada a estanqueidade à água e ao ar é garantida com a utilização de material selante mono ou bi-componente e de gaxeta.

A junta aberta tem a função de receber e drenar a água da chuva por meio de um conjunto de junta vertical e horizontal e necessita de duas barreiras físicas para evitar a penetração da água. Este tipo de junta é utilizado em painéis de concreto e nos painéis metálicos denominados fachada *rainscreen*.

4.5 Dispositivos de fixação

Os dispositivos de fixação ou fixações são os responsáveis pela união entre os fechamentos e a estrutura e devem apresentar as seguintes propriedades:

- a) Resistência mecânica às movimentações diferenciais entre a estrutura suporte e o fechamento e às variações volumétricas;
- b) Ductilidade: capacidade potencial de deformação sem a perda da resistência;
- c) Resistência à corrosão;
- d) Resistência mecânica aos esforços de ancoragem (tração, compressão e cisalhamento).

Estes dispositivos normalmente são feitos em aço, pelo fato de possuir tais propriedades e ter custo relativamente baixo. Para garantir o desempenho das fixações, elas devem ser corretamente detalhadas e especificadas além de atender aos aspectos da proteção contra a corrosão e contra incêndio.

4.5.1 Proteção contra a corrosão

Os elementos de fixação estão expostos a dois tipos de corrosão: a corrosão atmosférica que produz a oxidação e a corrosão galvânica, provocada pela união entre dois metais com grande diferença de potencial eletroquímico. Normalmente as fixações encontram-se internas à edificação e dispensam proteção. Mas, caso estejam expostas às intempéries, sejam utilizadas nos subsistemas onde pode ocorrer produção de condensação, ou estejam inseridas em materiais que absorvam água, como o concreto e as pedras, é necessário que recebam uma proteção contra a corrosão atmosférica como pintura anticorrosiva, a base de óxido de chumbo.

A corrosão galvânica ocorre quando são usados dois elementos metálicos com grande diferença de potencial eletroquímico entre eles. Quando expostos a um determinado meio como a água, por exemplo, um pode se corroer enquanto o outro permanece praticamente intacto. Pode acontecer tanto nas fixações dos fechamentos na estrutura suporte como na interface das esquadrias com a estrutura suporte. Nestes casos, é necessário que os elementos metálicos sejam isolados por placa de borracha (neoprene), placas cerâmicas ou por fitas e arruelas feitas com material polimérico.

Os dispositivos de fixação devem ser acompanhados de manutenção constante. Como o aço inoxidável é mais resistente e requer pequenos cuidados de manutenção, ele é o mais indicado para fixações expostas a meios muito agressivos ou de manutenção complicada. Os parafusos e pinos utilizados na fixação devem ser em aço galvanizado ou aço inoxidável.

4.5.2 Proteção contra incêndio

As fixações dos painéis normalmente estão protegidas contra o fogo pelos elementos da construção: lajes, painéis internos e pelos sistemas de interrupção de incêndio. No caso dos elementos estarem aparentes, deve ser prevista uma proteção que pode ser feita com argamassa projetada que contenha vermiculita. Nos painéis assentados no sistema cortina, que ficam externos à estrutura suporte da edificação, é necessário pensar em proteção adicional para impedir que o fogo propague de um pavimento para outro através dos espaços que existem entre as lajes e a vedação. Normalmente se usa uma manta de lã de vidro ou similar para evitar a passagem do fogo e da fumaça.

4.6 Sistemas de fixação

Quanto à forma de fixação o subsistema de fechamento pode ser classificado em dois tipos:

4.6.1. Os painéis inteiros

São os painéis que possuem dimensões suficientes para atingir grandes vãos, e serem fixados diretamente na estrutura suporte da edificação. Nesta categoria estão incluídos os painéis de concreto, os painéis de concreto celular e os painéis GRC. O painel GRC foi incluído nesta categoria porque, apesar de apresentar pequena espessura e necessitar de um reforço traseiro, este reforço já é incorporado à sua produção na fábrica, o que permite que ele possua dimensão grande.

4.6.2. Os painéis compostos por placas

São os painéis compostos por elementos de pequena espessura que necessitam de uma estrutura própria para a sua fixação, denominada estrutura auxiliar ou secundária e esta por sua vez transfere os esforços do peso próprio e do vento para a estrutura suporte. Nesta categoria estão incluídos os painéis constituídos pela placa cimentícia, os painéis metálicos e os painéis de vidro.

Os sistemas de fixação estão descritos a partir do Capítulo V, sendo ele dedicado aos painéis inteiros: painéis em concreto, painéis GRC e painéis em concreto celular. O capítulo VI é dedicado aos painéis compostos por placas, como as placas cimentícias e os painéis metálicos. E no capítulo VII está detalhado o painel em vidro que, apesar de ser um painel composto por placas, exige um sistema de fixação que diverge dos anteriores.

CAPÍTULO V

5. A INTERFACE DOS PERFIS TUBULARES E OS PAINÉIS INTEIROS

5.1 Painel pré-fabricado de concreto

Os painéis de concreto possuem peso elevado e normalmente possuem grandes dimensões. Estes fatores fazem com que, em sua montagem, sejam empregados equipamentos especiais como guindastes ou gruas e é necessário que o canteiro de obra possua espaço suficiente para a disposição dos equipamentos (Figura 5.1)



(a) Painel com abertura



(b) Painel cego

Figura 5.1- Montagem de painéis em concreto.

Fonte: Precon (2004)

Neste trabalho os painéis estão classificados, segundo o sistema de fixação, em painéis de vedação, quando são fixados deixando a estrutura aparente, e em painéis cortina, quando são fixados de modo a ocultar a estrutura do edifício.

5.1.1 Painel de vedação (estrutura aparente)

O sistema de painel de vedação normalmente é utilizado nos edifícios baixos. Neste sistema os painéis não possuem função estrutural e são fixados diretamente na estrutura suporte do edifício, ou seja, nas lajes e vigas de borda ou nos pilares. A determinação da forma de fixação do painel deve ser estudada junto ao fornecedor do painel, e deve atender às soluções arquitetônica e estrutural propostas para a edificação. Normalmente existe uma liberdade muito grande para a definição das dimensões do painel, sendo muito comum trabalhar com painéis que tem como comprimento a dimensão do vão existente entre os pilares.

5.1.1.1 Sistemas de fixação

a) Fixação na laje e viga

Uma possibilidade para a fixação de um painel de concreto é como o esquema apresentado na Figura 5.2, em que ele é fixado na laje e na viga de borda.

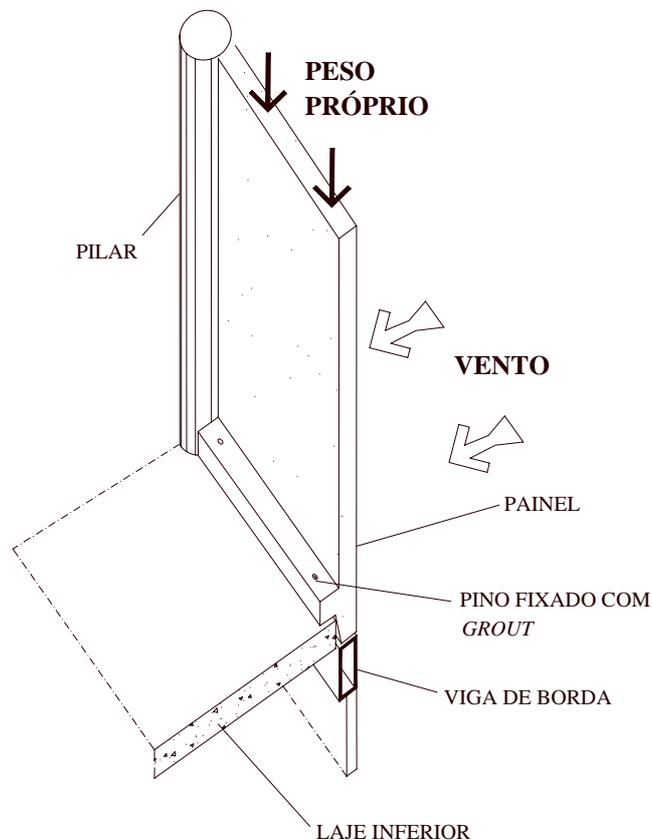


Figura 5.2-Perspectiva de um painel de concreto utilizado como vedação, com fixação na laje e na viga.

A elevação típica para este painel é a apresentada na Figura 5.3 e as setas indicam a movimentação potencial do painel.

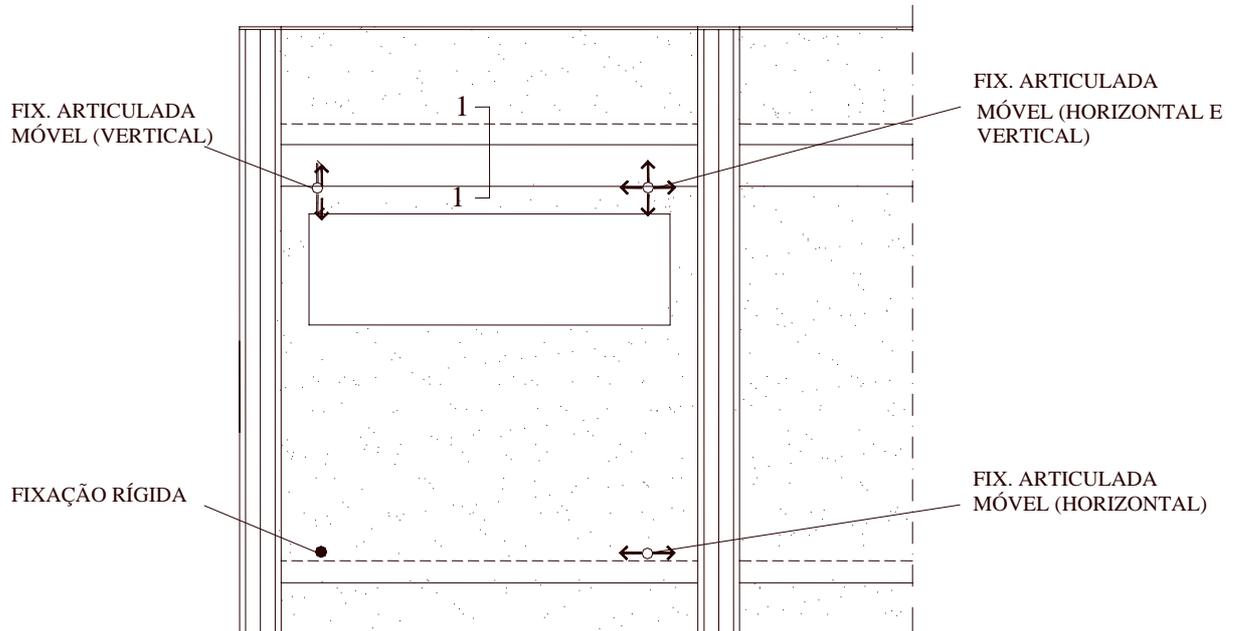


Figura 5.3- Elevação externa típica para um painel de vedação em concreto, com fixação na laje e na viga.

A seção 1-1, que detalha a fixação do painel na laje e na viga de borda é mostrada na Figura 5.6. As principais características deste sistema de fixação são:

- a) A base horizontal suporta a carga devido ao peso próprio do painel. Neste caso o painel está sujeito à compressão;
- b) A fixação da base do painel na laje é feita por pinos existentes nas extremidades, sendo que um deles é solidarizado à laje pelo preenchimento do furo com argamassa fluida também denominada de *grout*. O endurecimento do *grout* impede o movimento entre o painel e a laje. A fixação existente na outra extremidade da base permite a movimentação no plano horizontal (ver Figura 5.6);
- c) No topo do painel existem duas cantoneiras que fixam o painel à viga de borda. Estas fixações acomodam as cargas de vento e as movimentações decorrentes da deformação higrotérmica.

b) Fixação nos pilares

Outra forma possível de fixação do painel é fazê-la diretamente nos pilares, sendo esta forma muito usual, principalmente no caso do painel possuir comprimento que vença o vão, como o esquema demonstrado na Figura 5.4.

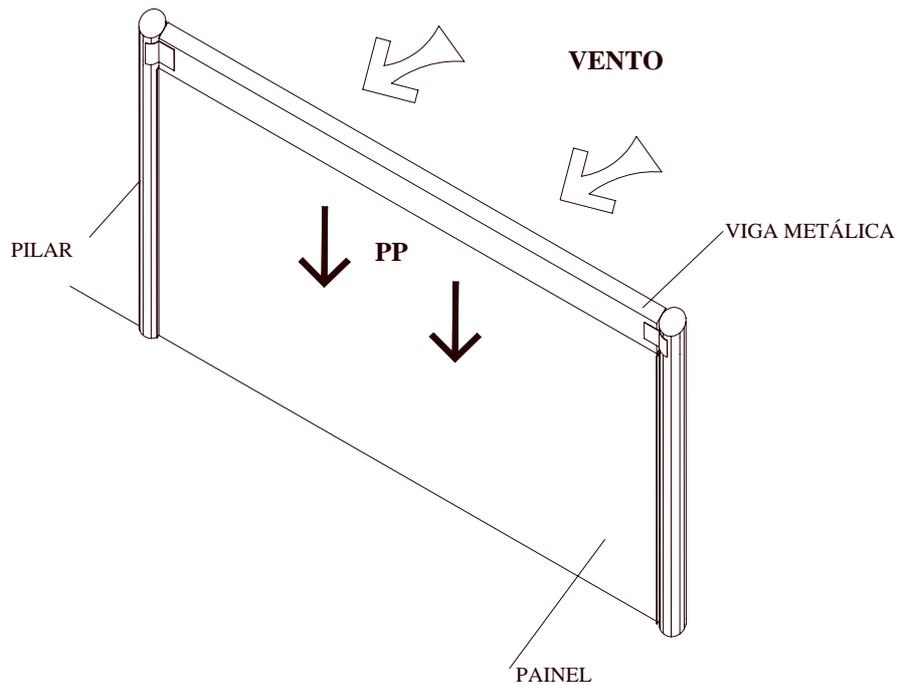


Figura 5.4- Perspectiva interna mostrando o painel vedação fixado diretamente nos pilares.

As principais características do sistema de fixação nos pilares são:

- Os painéis são fixados através de cantoneiras contínuas ou outros elementos, que são soldados no pilar e fixados a eles por argamassa colante ou parafusos (ver detalhe na Figura 5.8);
- A fixação transmite as cargas devido ao peso próprio e ao vento diretamente para os pilares, que as transmitem para a fundação;
- A movimentação higrotérmica será possível com a previsão de juntas para desvincular o painel da estrutura suporte do edifício, conforme mostrado na Figura 5.6.

A elevação típica do painel de vedação fixado nos pilares é mostrada na Figura 5.5 e as setas indicam as possibilidades de movimentação e as seções 1-1, 2-2 e 3-3 estão detalhadas nas Figuras 5.8, 5.9 e 5.10, respectivamente.

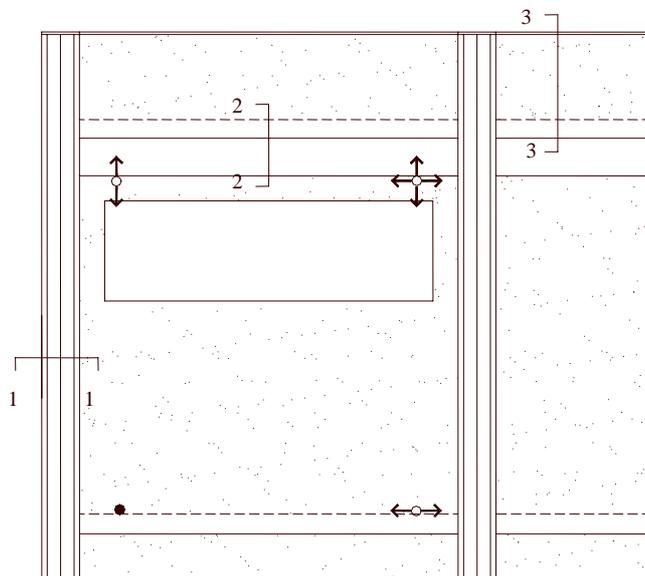


Figura 5.5-Elevação externa mostrando a movimentação potencial do painel.

5.1.1.2 Juntas

Neste caso, como o painel é utilizado como fechamento do vão, é preciso prever juntas na interface do painel com os pilares, com as lajes e as vigas de borda, para que estas absorvam a movimentação relativa entre a estrutura e o painel. No caso de se utilizar mais de um painel, haverá também a junta entre os painéis; e todas as juntas precisam ser vedadas para que o sistema apresente estanqueidade.

A vedação da junta é conseguida com a utilização de selantes ou de gaxetas que formam barreiras para a entrada da água e do ar. Os selantes, também denominados de mastiques, devem apresentar capacidade de deformação e de aderência ao material do painel.

Segundo PEREIRA (2001) os materiais mais utilizados como selantes na vedação dos painéis de concreto são o polissulfeto acrílico (mono ou bi-componentes) e o silicone de baixo módulo de elasticidade. Os selantes devem acomodar deformações de $\pm 25\%$ da largura original da junta. No quadro 5.1 estão descritas as características destes materiais selantes.

Quadro 5.1 Características dos selantes. PEREIRA (2001).

Selante	Comportamento	Capacidade de deformação	Vida útil (anos)	Cura
Silicone (baixo módulo) ¹	elástico	50%	25	2 a 3 semanas
Polissulfeto mono- componente	elasto-plástico	20%	20	lenta (mais de 3 semanas)
Polissulfeto bi-componente	elasto-plástico	30%	20	rápida (1 a 2 dias)

O dimensionamento da junta é feito em função do tipo do selante e deve ser estudada junto com o fabricante do painel. Como referência, pode-se adotar a norma americana ASTM C 1193 (1991), que especifica valores mínimos e máximos para as juntas de painéis de concreto, conforme descritas no quadro 5.2.

Quadro 5.2: Dimensões para juntas de vedação. (ASTM C 1193:1991).

Largura da junta (mm)	Profundidade do selante
12,7	Igual a largura
12,7 < largura < 25	Metade da largura
25 < largura < 50	< 12,7 mm

Para a aplicação do selante é necessário utilizar um corpo de apoio, que vai garantir a profundidade adequada da junta e vai impedir a aderência do material selante ao fundo da junta. O selante deve aderir somente às faces adjacentes, pois assim ele pode se deformar. Normalmente, este corpo de apoio, também denominado limitador de profundidade, é de espuma de polietileno expandida.

Na seção 1-1 indicada na Figura 5.3 e mostrada na Figura 5.6, ilustra-se uma solução para a interface de um painel de concreto fixado na laje e na viga de borda. A fixação da base do

¹ O módulo de deformação corresponde à tensão necessária para provocar uma deformação de 100% (permanente ou não) num corpo de prova do selante. Juntas de muita movimentação requerem selante de baixo módulo, enquanto as de pouca movimentação pedem selantes de médio ou alto módulos.

Módulo baixo: até 0,25 M Pa

Módulo médio: próximo de 0,35 M Pa

Módulo alto: mais de 0,50 M Pa.

painel é feita por pinos, sendo que na figura aparece o pino fixado com *grout*. Como dito anteriormente, o pino existente na outra extremidade da base permanece livre para permitir que o painel se movimente no plano horizontal.

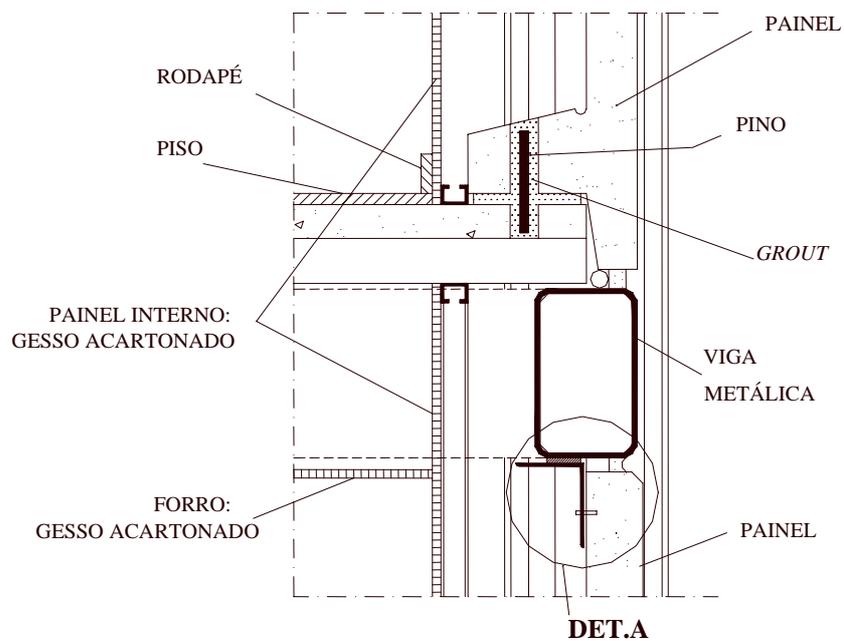


Figura 5.6-Detalhe de fixação do painel

A fixação superior na viga de borda é conseguida por um arranjo constituído por uma aba soldada na face inferior da viga e uma cantoneira que está aparafusada nesta aba e no painel, como o detalhe mostrado na Figura 5.7.

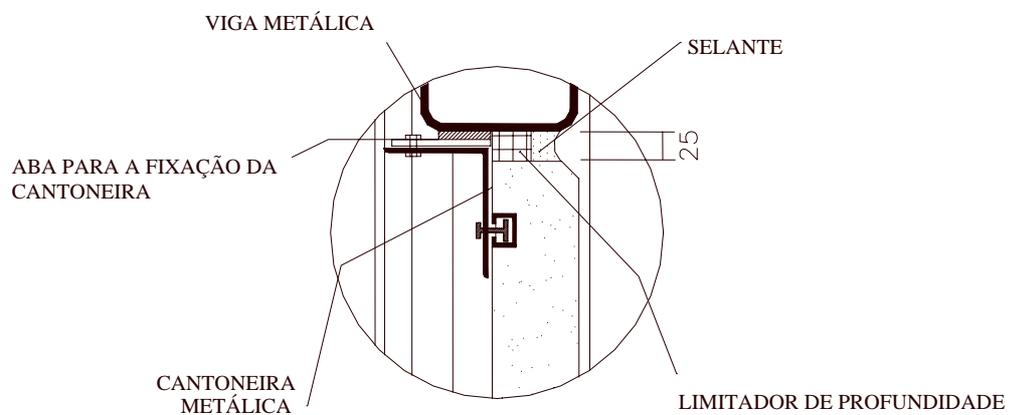


Figura 5.7- Detalhe A: fixação do painel na viga de borda.

A junta entre o painel e a viga possui 25 mm de largura e é vedada com a utilização do limitador de profundidade e com a aplicação do selante.

Nas seções 1-1, 2-2 e 3-3 indicadas na elevação da Figura 5.5 ilustram-se as interfaces de um painel fixado diretamente nos pilares.

A seção horizontal 1-1, detalhada na figura 5.8, mostra a fixação do painel ao pilar, através da colocação de uma cantoneira ao longo da altura do painel, soldada ao pilar e fixada ao painel por argamassa colante. É preciso haver a desvinculação do painel através da junta constituída por uma placa de poliestireno expandido (internacionalmente denominado de EPS) e vedada com selante, tanto no exterior quanto no interior.

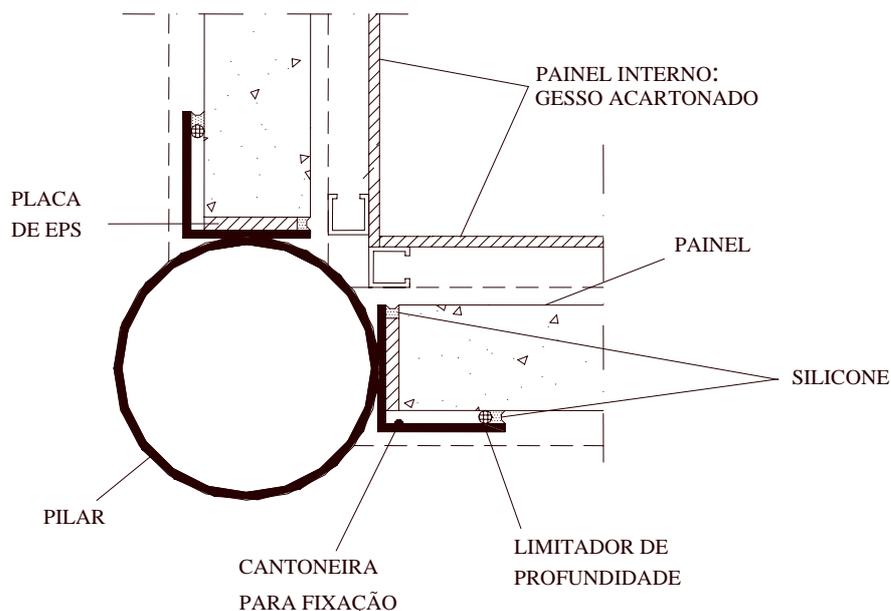


Figura 5.8- Seção 1-1 Interface do painel com o pilar.

Na figura 5.9 é mostrada a seção 2-2, onde são detalhadas a interface do painel com a laje, no caso do tipo *deck* metálico, e do painel com a viga de borda. Em ambas as situações, a junta é constituída pela colocação da placa de EPS, que permite a movimentação do painel provocada

pela alteração higrotérmica, sem a transmissão direta dos esforços para a estrutura, e pela utilização do silicone como vedação.

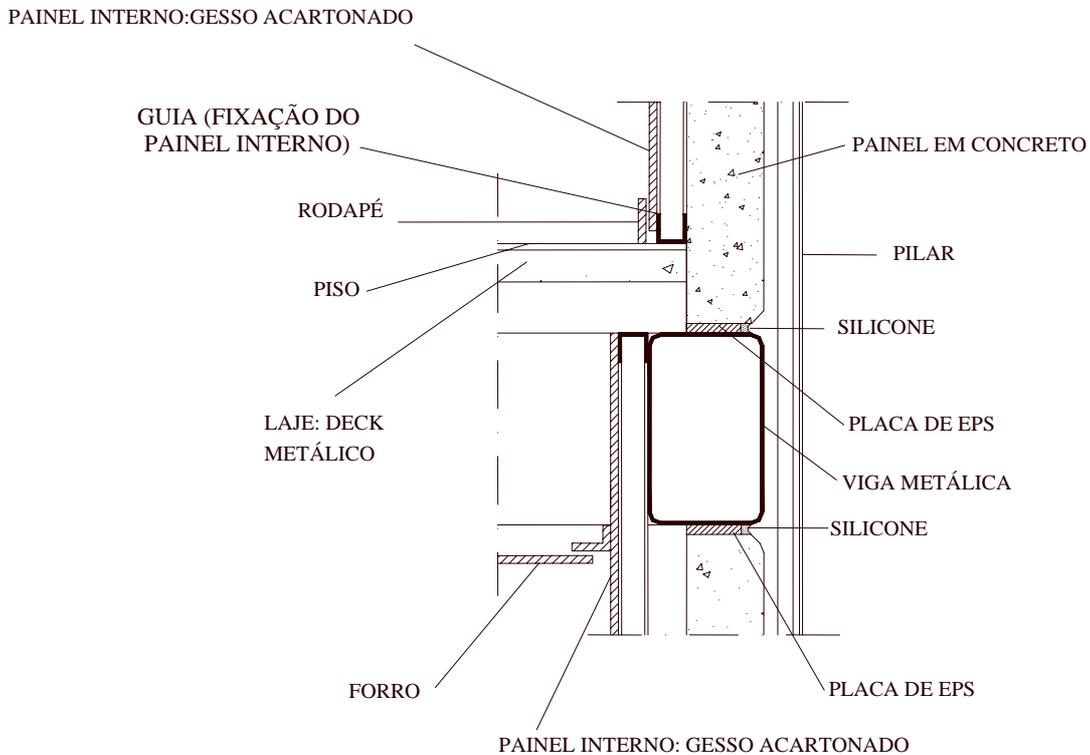


Figura 5.9- Seção 2-2, mostrando a interface do painel com a laje e a viga.

Outro aspecto importante a ser considerado é a interface do painel com a esquadria. Nos painéis de concreto pode haver a incorporação de contra-marcos no processo de produção ou pode se pensar em se utilizar um perfil metálico, como uma cantoneira, para a fixação da esquadria. O peitoril deve ser feito no próprio painel e é recomendável que ele possua pingadeira e avance pelo menos 40 mm em relação ao plano da fachada. Este procedimento impedirá futuras manchas no painel.

O mesmo cuidado deve existir no acabamento das platibandas, onde é importante prever a colocação de um rufo que poderá ser em policarbonato, fibra de vidro ou metálico. Caso se opte pela utilização do rufo metálico, ele deve ser em aço galvanizado ou alumínio, materiais que evitam a corrosão atmosférica.

Segundo OLIVEIRA (2002) é importante que o rufo tenha uma aba inclinada para fora do plano da fachada, de pelo menos 25 mm, como mostrado na Figura 5.10.

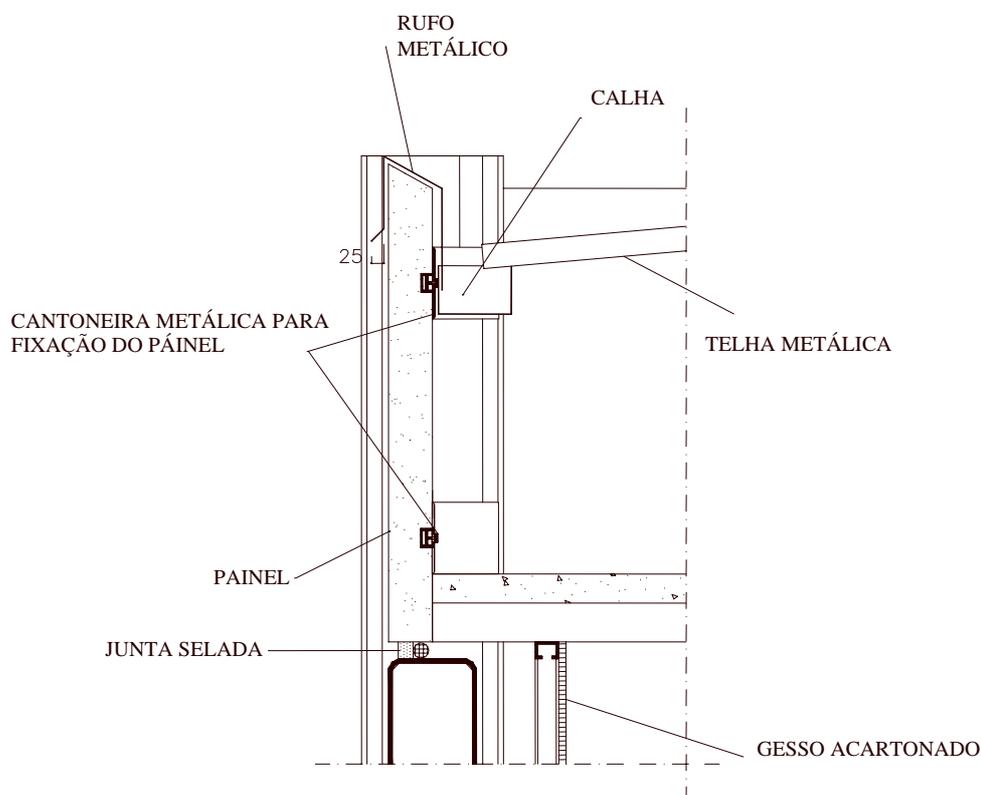


Figura 5.10-Seção 3-3 Detalhe do painel na platibanda.

5.1.1.3 Proteção contra a corrosão

No caso do painel estar sendo utilizado deixando a estrutura aparente, uma opção é a especificação do aço patinável para os elementos metálicos estruturais. Outra possibilidade é a especificação de pintura que deve ser feita em função do nível de agressividade do meio a que a edificação estará exposta. Internamente, a estrutura pode ser aparente, ou caso se queira um nível mais elevado de conforto térmico e acústico, deverá ser utilizado um fechamento interno, como o painel em gesso acartonado.

5.1.1.4 Proteção contra incêndio

No sistema painel vedação, como a estrutura metálica permanece aparente, pode ser necessário que ela receba a proteção contra incêndio. Internamente, o custo com a proteção será menor, se forem utilizados vedação interna e forro em gesso acartonado, que funcionarão como barreira contra incêndio. Externamente, a proteção terá custo mais alto com a utilização da pintura intumescente. A pintura intumescente é constituída por polímeros que aumentam de volume, quando aquecidos, e somados com resinas especiais e gases atóxicos produzem uma espuma rígida na superfície do aço, retardando o aquecimento.

O processo de pintura consiste na limpeza da superfície, aplicação de um *primer* compatível, como o epoxídico, aplicação da tinta intumescente e, por último, a tinta de acabamento na cor desejada.

5.1.2 Painel cortina

Nos edifícios altos os painéis normalmente recobrem a estrutura, e geralmente nos edifícios de estrutura metálica, não possuem função estrutural e podem ser fixados nas lajes ou nos pilares.

5.1.2.1 Sistemas de fixação

a) Fixação na laje

Pelo fato do painel ser pesado, o *The Steel Construction Institute - SCI* (1992), recomenda que a fixação seja feita nas lajes. Os dispositivos de fixação podem ser posicionados no topo, na base ou de forma mista no topo e na base dos painéis constituindo os sistemas detalhados a seguir.

Painel fixado no topo

Quando o apoio do painel é situado no topo o esquema de fixação é semelhante ao mostrado na Figura 5.11 e as possibilidades de movimentação do painel estão esquematizadas na elevação mostrada na Figura 5.12.

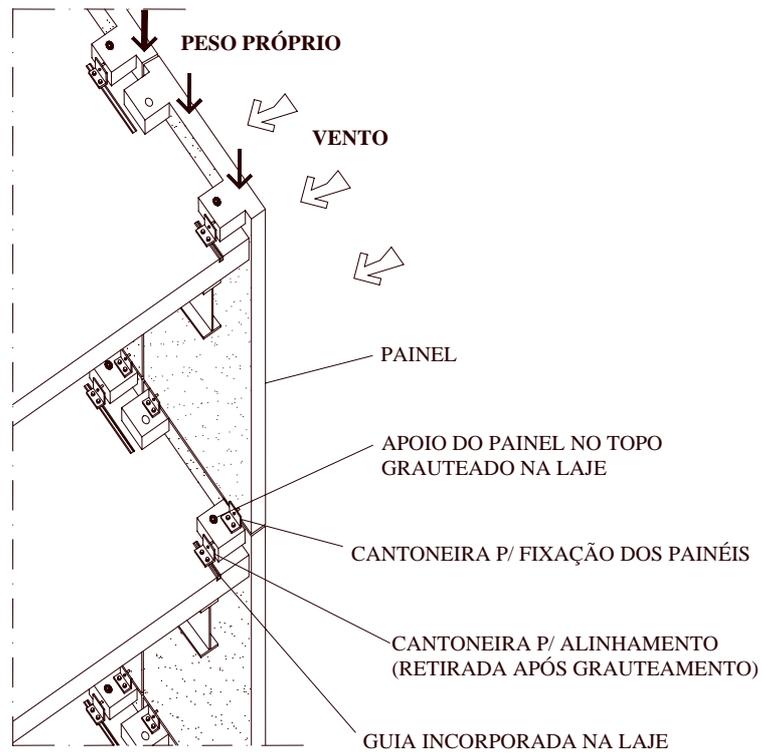


Figura 5.11- Perspectiva mostrando um painel de concreto fixado no topo.
 Fonte: SCI (1992)

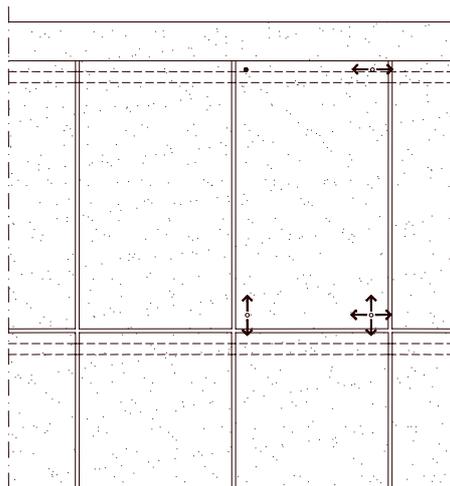


Figura 5.12- Elevação típica de um painel cortina com fixação no topo.
 Fonte: SCI (1992)

As principais características deste sistema de fixação são:

- a) Os apoios do painel existentes no topo suportam as cargas devido ao peso-próprio e à ação do vento;
- b) A deformação decorrente da movimentação higrotérmica gera movimentos nos planos horizontal e vertical;
- c) Um dos apoios do painel é fixado na laje por meio de argamassa fluida ou *grout*, que evita a movimentação relativa entre o painel e a laje;
- d) Para alinhar o painel com a fachada é utilizada uma cantoneira e a posição correta é conseguida através da colocação de uma canaleta metálica na laje que permite a movimentação no plano horizontal. Após o endurecimento do *grout* a cantoneira é retirada;
- e) A união dos painéis é feita também por cantoneiras aparafusadas no apoio do topo e no painel superior.

Observações:

- a) O nivelamento é feito durante a montagem e necessita de guindaste;
- b) É necessário que a montagem seja feita simultaneamente nos dois pavimentos, exigindo duas equipes, uma em cada pavimento;
- c) O peso próprio do painel pode causar deslocamento na viga de borda o que pode exigir um pós-nivelamento dos painéis, principalmente daqueles que estão mais distantes dos pilares.

Painel fixado na base

Quando o apoio do painel está localizado em sua base, o esquema de fixação é semelhante ao apresentado, em perspectiva na Figura 5.13 e sua movimentação descrita na elevação da Figura 5.14.

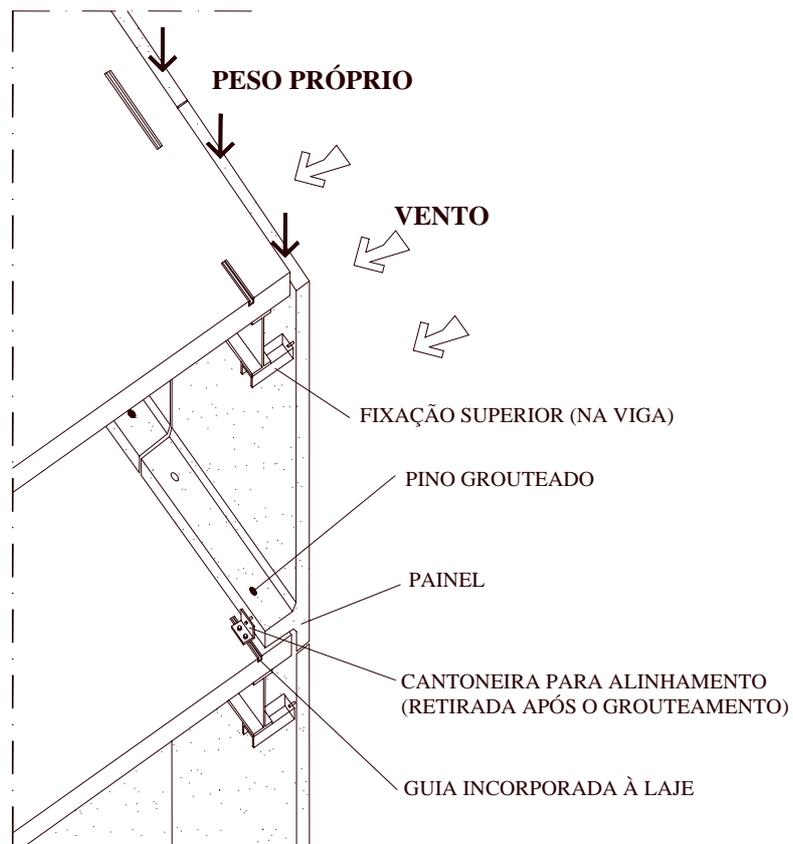


Figura 5.13 -Perspectiva de um painel fixado na base.

Fonte: SCI (1992)

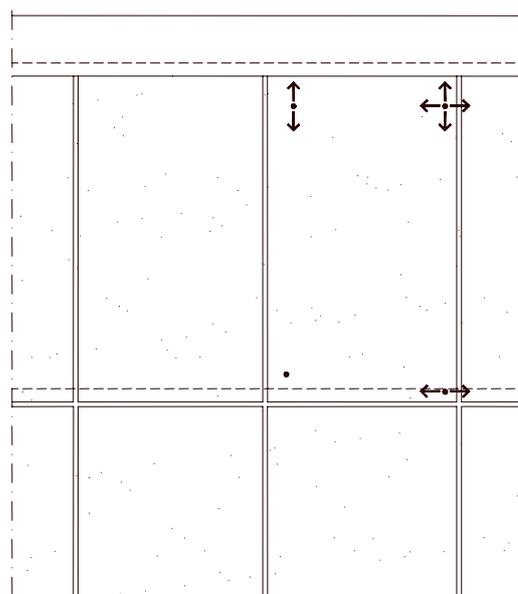


Figura 5.14 - Elevação típica com a movimentação potencial de um painel fixado na base.

Fonte: SCI (1992)

As principais características deste sistema de painel fixado na laje com apoios na base são:

- a) A base horizontal suporta a carga devido ao peso próprio do painel. Neste caso o painel está sujeito à compressão;
- b) A fixação na laje é feita por dois pinos existentes nas extremidades da base, e somente um deles é preenchido com *grout*. O alinhamento do painel na fachada é conseguido com colocação de uma cantoneira auxiliar na laje e esta é retirada após o endurecimento do *grout*;
- c) A canaleta existente na outra extremidade garante o posicionamento correto do painel na fachada;
- d) No topo do painel existem dois braços que fixam o painel à viga de borda. Estas fixações acomodam as cargas de vento e as movimentações decorrentes da deformação higrotérmica;
- e) Não existe ligação entre os painéis.

Observações:

- a) As fixações destinadas à restrição ao vento podem provocar torção nas vigas de borda. Neste sistema, comparado com o anterior, as vigas de borda necessitam de mais resistência, o que pode ser feito com aumento da sua seção transversal, ou reforçadas com enrijecedores ou mesmo adotar a solução do reforço constituído por vigamento secundário na sua proximidade.
- b) O peso próprio do painel pode provocar deslocamento na viga de borda. Este deslocamento terá que ser bem analisado e não pode exceder ao previsto no cálculo estrutural, uma vez que este sistema não permite grande ajuste no nivelamento. Somente os pequenos ajustes de prumo e nivelamento poderão ser feitos depois da montagem, uma vez que não necessitam de guindaste.
- c) A instalação do painel é feita por pavimento demandando apenas uma equipe de montagem.

Painel com fixação mista

O caso mais comum de fixação do painel cortina é o misto, que está mostrado na elevação da Figura 5.15, e em perspectiva na Figura 5.16.

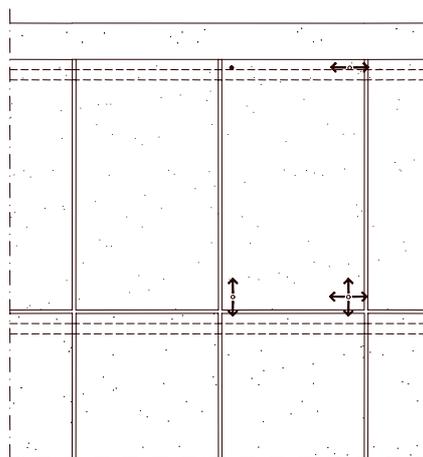


Figura 5.15- Elevação típica com a movimentação potencial de um painel com fixação mista.

Fonte: SCI (1992)

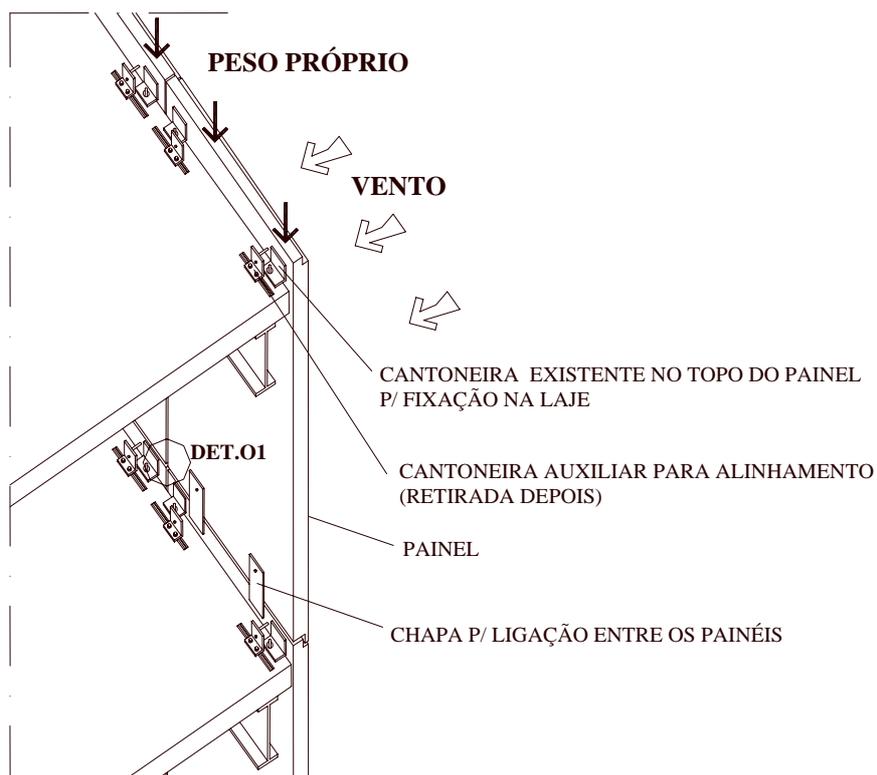


Figura 5.16- Perspectiva de um painel com fixação mista.

Fonte: SCI (1992)

As principais características do sistema com fixação mista são:

- a) É uma variação do primeiro tipo sendo que neste caso as cantoneiras colocadas no topo suportam o peso próprio dos painéis;
- b) Uma das cantoneiras é fixada por meio do *grout* na laje, o que impede a movimentação entre a laje e o painel;
- c) A outra cantoneira é fixada na canaleta e permite a movimentação no sentido horizontal;
- d) A união entre painéis é feita utilizando chapas metálicas de aço carbono galvanizado aparafusadas que suportam a carga do vento e evitam a rotação do painel nas regiões próximas a elas.

Observações:

- a) Como não existe conexão entre o painel e a viga de borda, elas não precisam resistir aos esforços adicionais de torção provocados por possível rotação do painel.
- b) É necessário estudar a fixação do painel inferior com o piso.

b) Fixação nos pilares

Outra possibilidade de fixação é fazê-la diretamente nos pilares, como o esquema mostrado na figura 5.17.

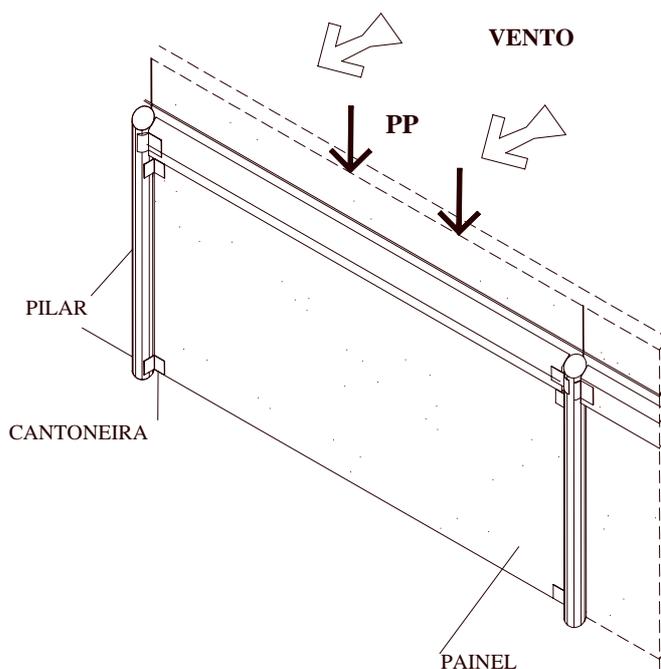


Figura 5.17- Perspectiva do painel cortina com fixação no pilar.

As principais características do sistema de fixação nos pilares são:

- a) O painel é fixado nos pilares por cantoneiras ou abas existentes em pelo menos dois pontos, de cada lado;
- b) As cargas decorrentes do vento e do peso próprio são resistidas pelas fixações e transmitidas diretamente aos pilares que as descarregam nas fundações.

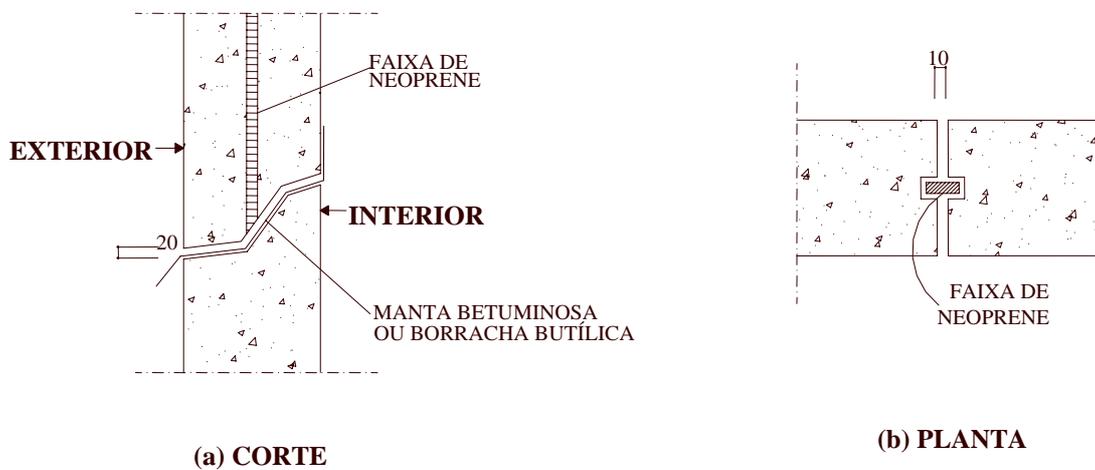
Observações:

- a) As fixações precisam ser bem dimensionadas, pois são os elementos que resistem às cargas;
- b) É importante que elas aconteçam em pelo menos dois pontos de cada lado do painel, pois caso contrário, poderá ocorrer rotação do painel.

5.1.2.2 Juntas

O sistema painel cortina exige juntas horizontais e verticais entre os painéis. A determinação da largura da junta segue a orientação descrita no item painel de vedação. A geometria do painel pode contemplar a solução para a junta horizontal através de um encaixe do painel superior no inferior (ver item (a) da Figura 5.18), em que a junta não necessita ser vedada. Neste exemplo a junta possui uma largura de 20 mm. As juntas verticais exigem um cuidado especial, e também podem ser vedadas ou abertas.

Quando se usa a junta aberta, é necessário que a proteção da junta seja muito eficiente. A proteção é dada por um conjunto formado pela utilização de uma barreira vertical, geralmente uma faixa em neoprene inserida na junta vertical, complementada pela proteção da região da junta horizontal com uma faixa de manta betuminosa ou manta butílica, como o detalhe mostrado nas Figuras 5.18 e 5.19. No caso, a junta vertical entre painéis possui a dimensão de 10 mm.



Obs: medidas em milímetros.

Figura 5.18 -Detalhes da proteção da junta aberta: (a) em corte e (b) em planta.

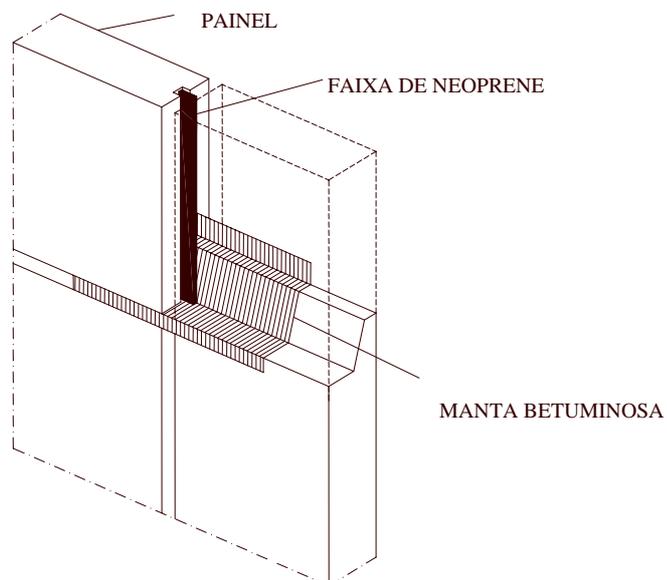
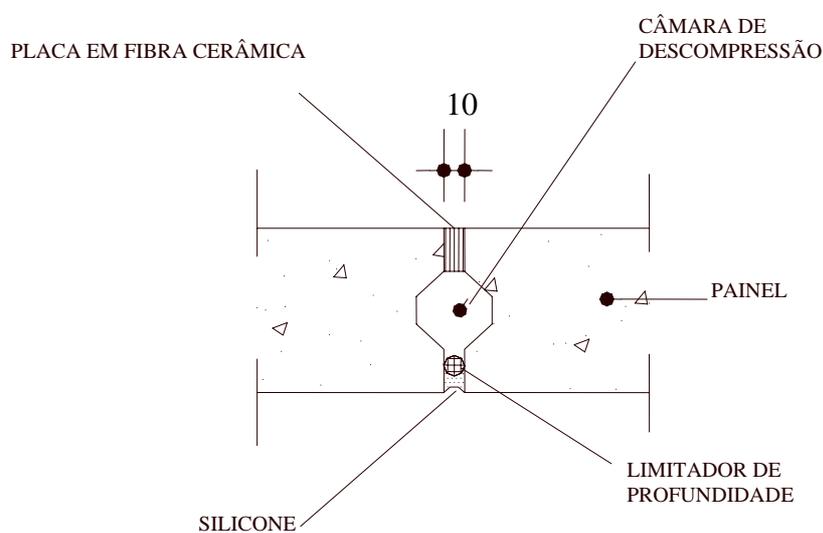


Figura 5.19- Perspectiva mostrando a junta aberta e o sistema de vedação.

Fonte: OLIVEIRA (2002)

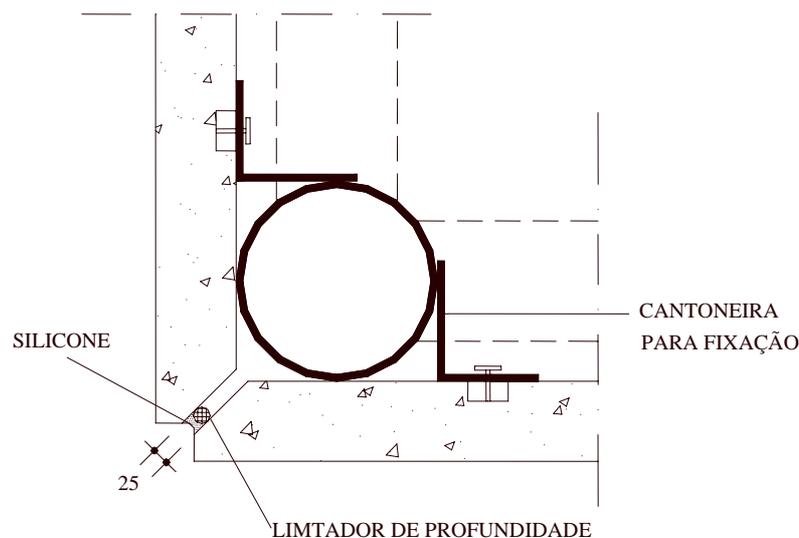
No detalhe 1, assinalado na figura 5.16 e mostrado em planta na Figura 5.20, ilustra-se uma possibilidade de tratamento da junta vertical vedada entre painéis. Normalmente, o painel possui na extremidade uma reentrância formando uma câmara de descompressão, que tem a função de recolher e conduzir a água que, por acaso, penetre na barreira formada pelo tratamento da junta. No exemplo, o esquema de vedação da junta é composto pela câmara de descompressão e a vedação propriamente dita formada pelo limitador de profundidade e o selante, no caso, silicone.



Obs: medidas em milímetros.

Figura 5.20- Detalhe da junta vertical vedada entre painéis.

A junta também se faz necessária na união dos painéis que formam a quina e, na Figura 5.21 mostra-se, em planta, uma possibilidade para a resolução da quina, onde se vê os elementos de fixação dos painéis que são cantoneiras aparafusadas neles e soldados nos pilares e a junta com largura de 25 mm, vedada com o limitador de profundidade e silicone.



Obs: medidas em milímetros.

Figura 5.21- Detalhe da junta entre os painéis de quina.

5.1.2.3 Proteção contra a corrosão

No caso do painel cortina, normalmente as fixações se localizam no interior da edificação, não necessitando de cuidado especial para a proteção contra a corrosão atmosférica. Um cuidado adicional deve ser tomado nas regiões que possuem alto teor de umidade relativa do ar, como por exemplo, a utilização de aço patinável para as fixações.

5.1.2.4 Proteção contra incêndio

No sistema painel cortina é necessário uma proteção adicional contra incêndio na junção da laje com o painel e na junta entre painéis, pois nestes locais poderá ocorrer a propagação do fogo e da fumaça, de um pavimento para outro.

É recomendável a utilização de painel interno e forro em gesso acartonado, pois estes elementos retardam a ação do fogo e colaboram para o bom desempenho térmico e acústico. Nas juntas deve haver um cuidado adicional como, por exemplo, a colocação no lado interno de uma placa de material incombustível como a fibra cerâmica ou a fibra mineral para que essa sirva de barreira para o fogo e a fumaça.

5.2 Painel GRC

O painel *GRFC* ou GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*), mostrado nas Figuras 5.22 e 5.23, disponível no Brasil é reforçado por uma estrutura metálica leve incorporada a ele durante a sua fabricação em sua face posterior (Figura 5.24). Não existe uma dimensão padrão para o painel sendo ele produzido por encomenda. Devido ao seu sistema de fixação, o painel GRC é mais utilizado como painel cortina.



Figura 5.22-Fachada com Painel GRC
Hotel Ibis – SP.



Figura 5.23-Lavagem do painel

Fonte: Pavi do Brasil (2004)

5.2.1 Painel cortina

5.2.1.1 Sistema de Fixação

O sistema de fixação do painel GRC é semelhante ao do painel de concreto. É feito através de fixações na base (que suportam o peso próprio) e fixações no topo do painel que suportam as cargas devido ao vento.

Segundo o *PRECAST /PRESTRESSED CONCRET INSTITUTE - PCI* (1994) e *SILVA* (1998), o sistema de fixação do painel GRC reforçado por enrijecimento metálico leve é formado pelo conjunto detalhado na Figura 5.24.

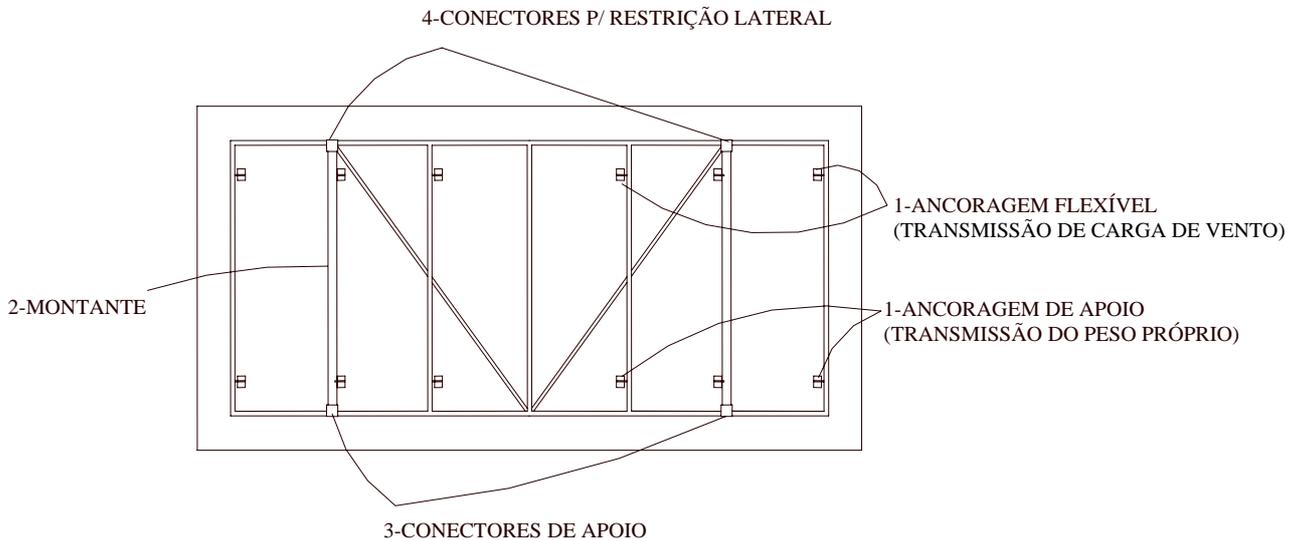


Figura 5.24- Elevação posterior do painel GRC, com o enrijecimento metálico.

Fonte: *SILVA* (1998).

- 1- Ancoragens flexíveis ligam o painel ao enrijecimento metálico e são chumbadas nas placas de GRC. Elas são responsáveis pela transmissão do peso próprio e do vento ao enrijecimento;
- 2- Dois montantes mais robustos suportam o peso do painel e o transmitem para os conectores de apoio localizados na base;
- 3- Os conectores de apoio localizados na base do painel são ligados às lajes e suportam a carga do peso próprio, para garantir que o painel esteja sob compressão.
- 4- Os conectores de apoio localizados no topo são fixados às vigas e são responsáveis pela restrição lateral e pelo posicionamento do painel.

Na figura 5.25 é mostrada, em corte, uma possibilidade para a fixação do painel GRC em um edifício com estrutura metálica. Nota-se que o painel é fixado na laje por cantoneira aparafusada e na viga de borda por conectores flexíveis, que podem ser duas cantoneiras, uma soldada na viga e a outra aparafusada no painel, aparafusadas uma na outra, que vão permitir a movimentação do painel, como detalhado na Figura 5.26.

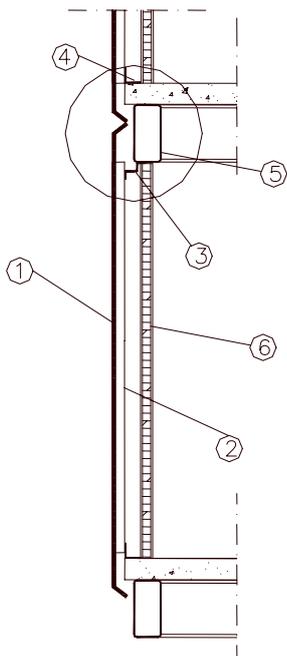


Figura 5.25- Corte: fixação do Painel

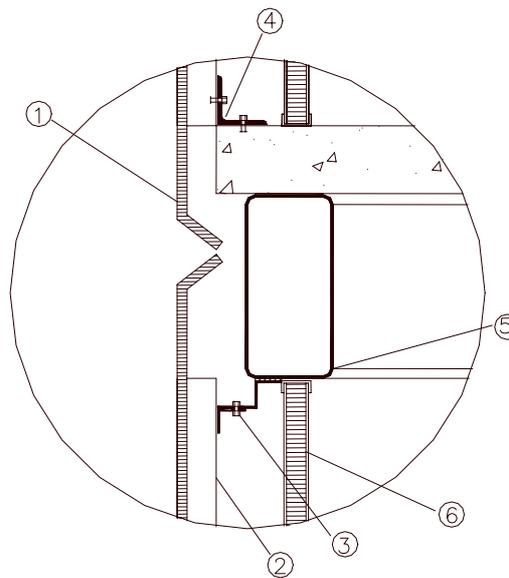


Figura 5.26 - Detalhe da fixação do Painel

Legenda:

- 1- Placa de GRC
- 2- Estrutura metálica leve para enrijecimento do painel.
- 3- Conector flexível localizado no topo.
- 4- Conector de apoio localizado na base.
- 5- Viga metálica.
- 6- Isolamento em fibra mineral para proteção contra fogo

5.2.1.2 Juntas

Como o painel é colocado no sistema painel cortina é necessário prever juntas horizontais e verticais entre os painéis, que deverão ser seladas para garantir a estanqueidade.

Segundo SILVA (1998), os selantes mais utilizados são os silicones de baixo módulo, o polissulfeto que pode ser mono-componente (para cura rápida) ou bi-componente (para cura lenta) e também o poliuretano mono e bi-componentes. O fabricante brasileiro utiliza o

silicone de baixo módulo. O limitador de profundidade indicado é o de espuma de polietileno expandida com seção circular, como nos painéis de concreto.

Na Figura 5.27 mostra-se a interface do painel com as colunas (em planta) e indica os locais das juntas verticais, detalhadas a seguir na Figura 28. É interessante observar que, como o painel possui uma pequena espessura, durante o seu processo de produção ele recebe nas bordas um reforço lateral para aumentar sua resistência, o que é mostrado nos detalhes da Figura 5.28.

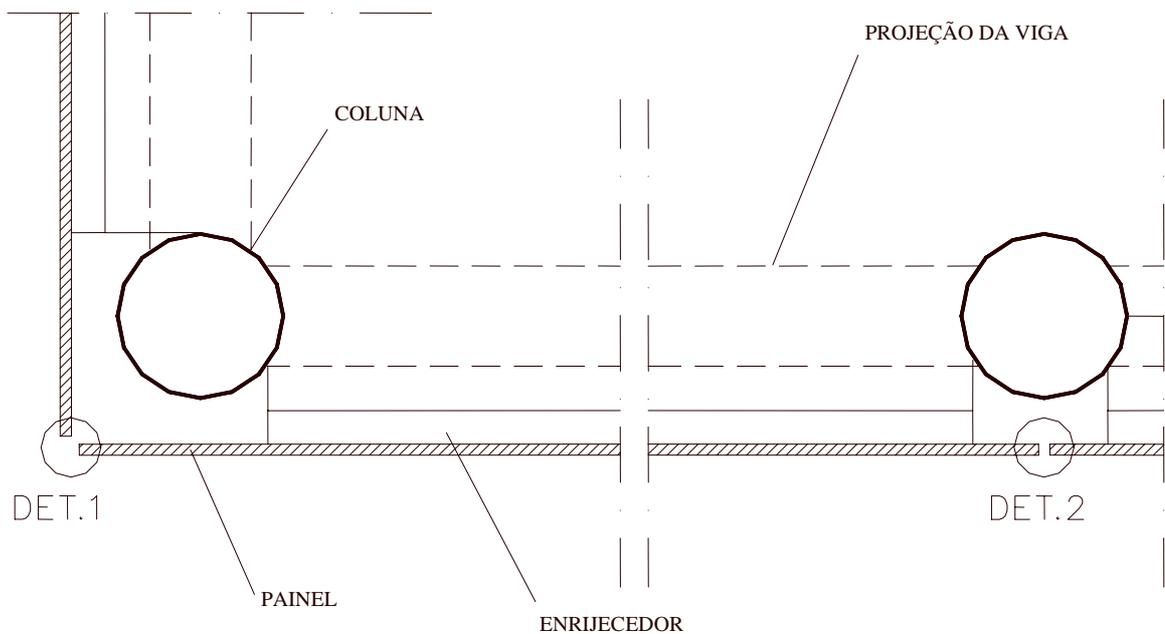
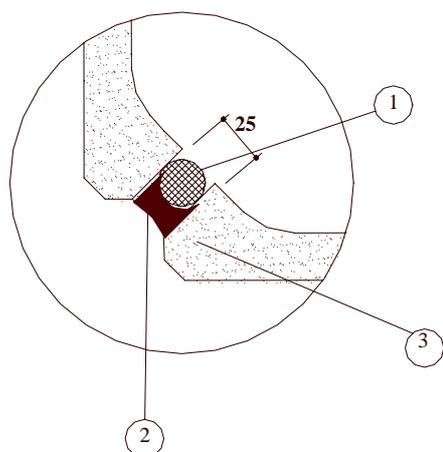
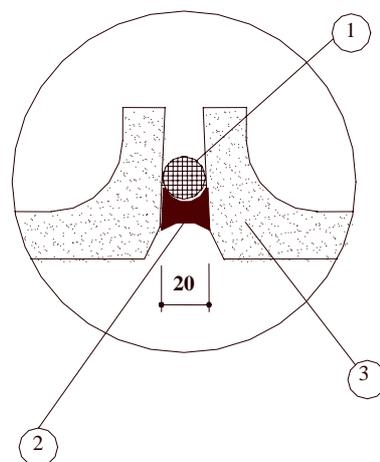


Figura 5.27- Fixação do painel GRC.



OBS: medidas em mm.

(a) Det1: junta dos painéis na quina



(b) Det.2: junta entre painéis

Figura 5.28- Detalhes da junta entre painéis.

Fonte: SILVA (1998)

Legenda:

- 1- Limitador de profundidade.
- 2- Selante
- 3- Aba lateral para aumentar a rigidez do painel.

As juntas horizontais recebem o mesmo tratamento das juntas verticais. Caso se deseje, pode haver ainda as juntas falsas, colocadas para atender às razões estéticas do projeto arquitetônico, que devem ser incorporadas na produção do painel.

5.2.1.3 Proteção contra a corrosão

Como o painel é utilizado no sistema painel cortina, os elementos de fixação estão posicionados no interior da edificação e não necessitam proteção, a não ser em regiões em que ocorra alta umidade relativa do ar, devendo-se optar por fixações em aço patinável. Outro cuidado deve existir na especificação dos elementos metálicos, uma vez que as fixações são constituídas por conjunto de perfis e parafusos que devem ser sempre do mesmo material, para que não ocorra a corrosão galvânica.

5.2.1.4 Proteção contra fogo

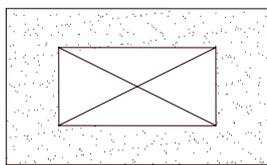
Neste sistema de painel cortina, um cuidado adicional deverá existir para evitar a propagação do fogo de um pavimento para outro através do espaço que fica entre o painel e a laje. Uma solução para o problema é utilizar uma vedação interna composta por duas placas de gesso acartonado preenchidas com uma manta de material incombustível, como por exemplo, a manta de fibra mineral. Este recurso auxilia também na eficiência térmica e acústica do sistema.

5.2.1.5 Diretrizes para o projeto

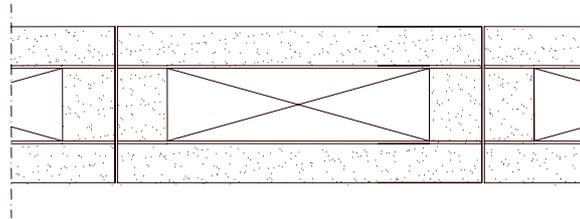
Para que se tenha bom desempenho na utilização deste sistema de fechamento são necessárias algumas diretrizes de utilização:

- a) Como são produzidos para cada obra, da mesma forma que os painéis de concreto, deverá ser feita uma paginação da fachada com a intenção de reduzir o número de fôrmas para que sua utilização se torne mais econômica;
- b) É recomendável a utilização de cores claras para não haver grande absorção do calor pela superfície do painel com a conseqüente formação de ponte térmica;
- c) As aberturas para a fixação das esquadrias devem ser incorporadas ao painel, e as esquadrias devem ser fixadas no sistema de enrijecimento e não no GRC.

Segundo Silva (1998) o cuidado para o posicionamento da abertura deve privilegiar o seu completo envolvimento pelo painel e, caso o vão seja extenso, a área do painel deverá ser dividida em panos menores, mantendo a continuidade das juntas horizontais, como mostrado na Figura 5.29. A área da abertura deverá ser menor ou igual a 45% da dimensão do painel.



(a) aberturas pequenas.



(b) grandes aberturas.

Figura 5.29- Posicionamento das aberturas nos painéis: (a) aberturas pequenas – (b) Grandes aberturas.

Fonte: SILVA (1998)

5.3 Painel de concreto celular autoclavado

O painel de concreto celular possui dimensões padrão conforme as apresentadas no Quadro 5.3.

Quadro 5.3: dimensões dos painéis em concreto celular autoclavado.

Espessura (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)
12,5	55	300
15,0	55	

Segundo os fabricantes nacionais, existe possibilidade para a fabricação de outras dimensões, que poderão ser estudadas conforme o caso. Pelo fato de possuírem dimensões limitadas é importante que, na elaboração do projeto, se pense em uma modulação em função do tamanho das peças, principalmente nos painéis que receberão revestimentos cerâmicos e placas de granito. Outro fator que restringe a sua utilização é o comprimento do painel, que limitado até 3,00 metros (por um fabricante) e até 4,00 metros (por outro) requer uma composição de painéis com dimensões diferenciadas ou uma estrutura adicional para atingir pé direito com altura superior ao comprimento do painel.

O painel de concreto celular autoclavado pode ser utilizado no sistema painel cortina, como no edifício mostrado no item (a) da Figura 5.30, em que a estrutura está totalmente recoberta e no sistema painel de vedação, deixando a estrutura aparente, como no edifício em construção mostrado no item (b) da mesma figura.



(a) Painel cortina



(b) Painel de vedação

Figura 5.30- Edifícios com fechamento em painel de concreto celular autoclavado.

Fonte: Sical Indústria e Comércio (2004)

5.3.1 Painel de vedação

5.3.1.1 Sistema de fixação

Os painéis assentados no sistema de painel vedação seguem o esquema conforme apresentado, em perspectiva, na Figura 5.31 e, em elevação, na Figura 5.32.

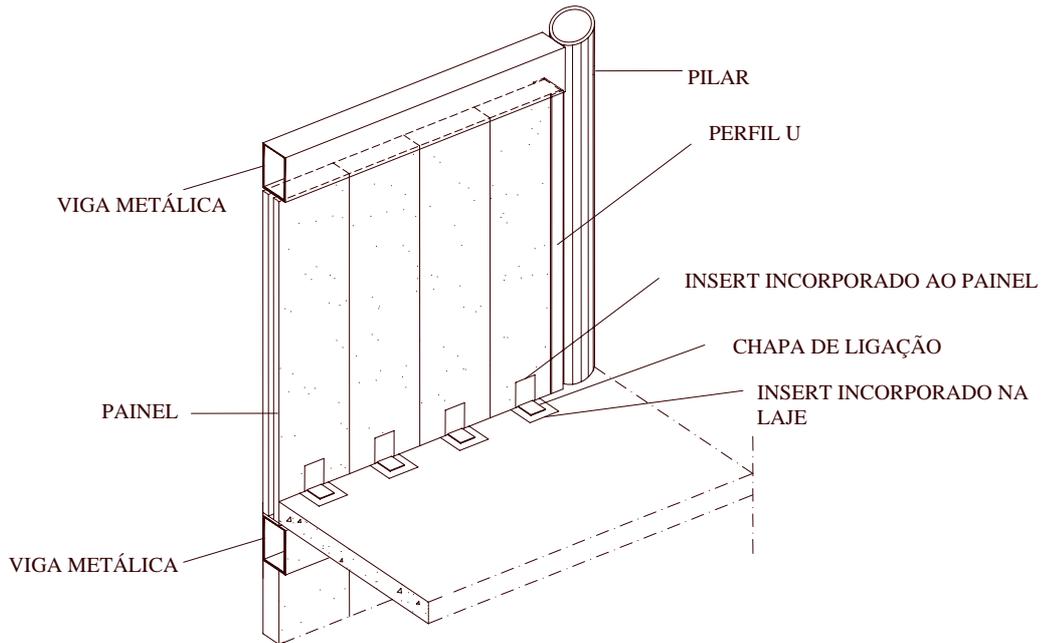


Figura 5.31- Fechamento com painel em concreto celular autoclavado.

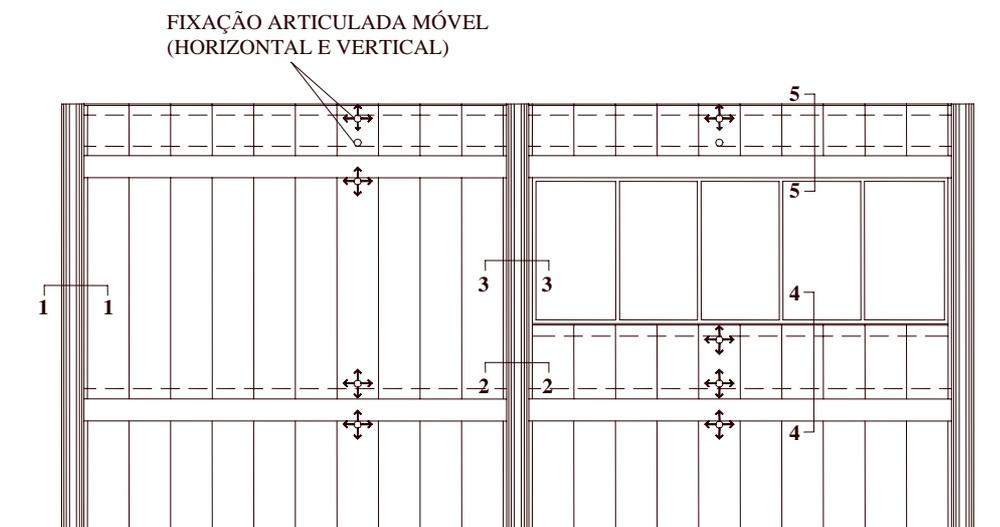


Figura 5.32- Elevação típica de um fechamento com painel em concreto celular autoclavado.

As seções 1-1, 2-2, 3-3, 4-4 e 5-5 serão apresentadas com detalhes em figuras posteriores. As principais características deste sistema são:

- a) Na base dos painéis existem *inserts* metálicos, que são soldados em outros previamente incorporados na laje;
- b) Estas fixações na base suportam as cargas devido ao peso próprio do painel, que são transferidas para as lajes e as vigas de borda;
- c) O esforço devido ao vento é resistido por cantoneiras ou perfis “U”, colocados na união com os pilares e no topo, soldados na viga.

5.3.1.2 Juntas

No sistema painel de vedação, os painéis devem ser tratados como alvenaria desvinculada e necessitam das juntas de desvinculação e das juntas entre painéis, detalhadas a seguir, segundo especificação do fabricante:

a) Junta de desvinculação

A junta deve acontecer entre a estrutura suporte (pilares e vigas) e o pano da vedação composto pelos painéis. Elas absorvem a movimentação relativa entre a estrutura e o painel e devem ser definidas, em princípio, da seguinte forma:

- juntas horizontais de, no mínimo, 10 mm.
- juntas verticais de 20 mm.

As juntas precisam ser seladas com placas de poliestireno expandido (EPS) ou através da injeção de espuma de poliuretano, nas espessuras indicadas anteriormente.

b) Junta de união dos painéis

A junta de união dos painéis é constituída por espaçamento de 6mm e vedada com argamassa colante industrializada tipo AC-II.²

² A NBR 14 081:1998 define a argamassa colante industrializada como sendo um produto industrial seco, composto por cimento, agregados minerais e aditivos químicos que, quando misturado com água forma uma massa plástica e aderente. A argamassa colante industrial – tipo II (ACII-II) é aquela que possui característica de adesividade e flexibilidade que permitem absorver esforços resultantes em revestimentos de paredes externas decorrentes de ciclos de flutuação térmica e higrométrica, da ação da chuva e /ou do vento.

As seções 1-1, 2-2, 3-3, 4-4 e 5-5 indicadas na elevação da Figura 5.32, mostram uma possibilidade de fixação do painel, como fechamento do vão. A seção 1-1 mostrada na Figura 5.33 detalha, em planta, a fixação do painel na coluna, através da utilização de um perfil “U”, soldado a uma aba na coluna. A junta é constituída pela placa de EPS com espessura de 10 mm. É mostrada também a junta entre painéis, vedada com argamassa colante tipo AC-II.

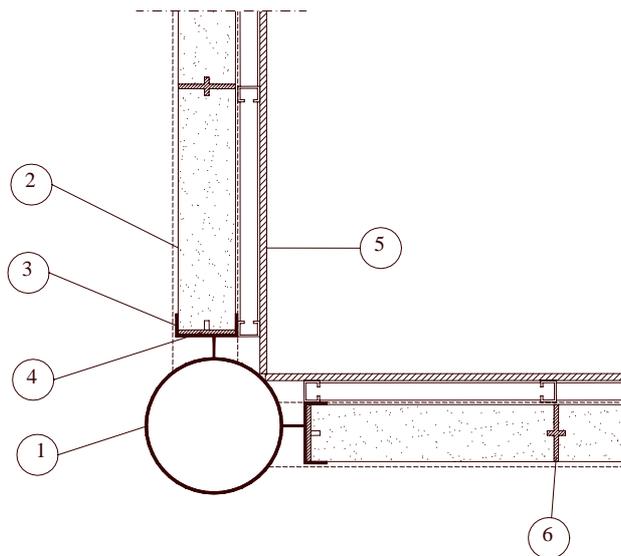


Figura 5.33- Seção 1-1: união do pilar com o painel.

Legenda:

- 1- Pilar metálico
- 2- Painel em concreto celular autoclavado
- 3- Perfil U para receber o painel e comportar a junta de desvinculação.
- 4- Preenchimento da junta com placa de EPS (espessura = 10 mm).
- 5- Vedação interna em gesso acartonado.
- 6- Preenchimento da junta entre painéis com argamassa colante tipo AC-II.

No painel de concreto celular autoclavado não é possível incorporar os vãos das esquadrias durante o seu processo de produção e, portanto, a interface do painel com a esquadria precisa ser detalhada. Na elevação mostrada na Figura 5.32 vê-se que, na região onde existe a esquadria, foi necessária a colocação de uma viga secundária para a fixação da parte superior do painel e da esquadria. Nesta situação, a união entre painéis pode ser feita através do

preenchimento com argamassa fluida (*grout*) dos encaixes existentes no painel (tipo fêmea-fêmea), para que eles apresentem mais resistência, como mostrado na seção 2-2 (Figura 5.34).

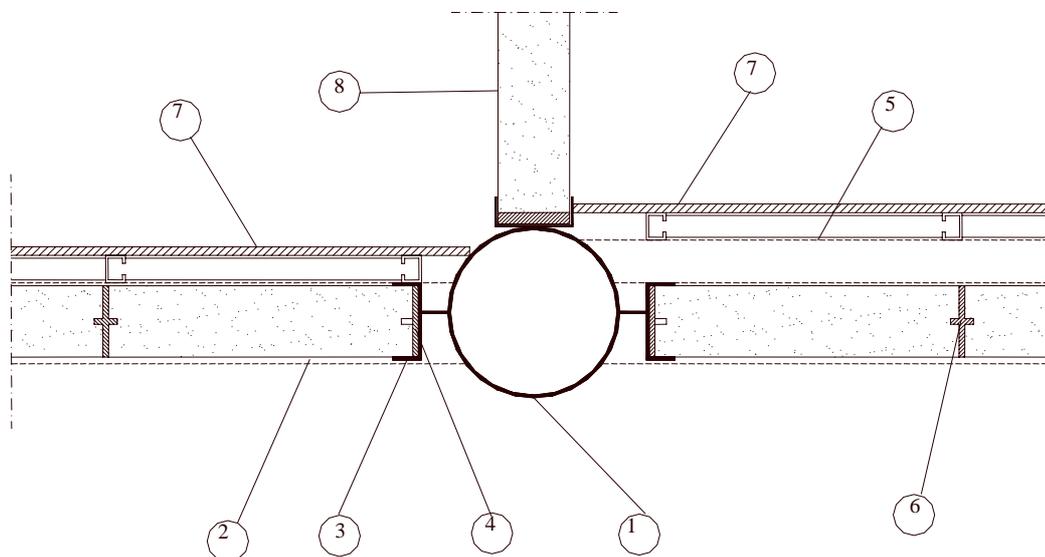


Figura 5.34 Seção 2-2: união entre o painel que receberá esquadria com o pilar.

Legenda

- 1- Pilar metálico
- 2- Painel em concreto celular autoclavado
- 3- Perfil “U” para receber o painel e a junta de dessolidarização.
- 4- Preenchimento da junta com placa de EPS (espessura = 10 mm).
- 5- Projeção de viga auxiliar.
- 6- Preenchimento da junta entre painéis com *grout*.
- 7- Vedação interna em gesso acartonado
- 8- Parede interna em painel de concreto celular

É necessário desvincular também a esquadria da estrutura suporte o que pode ser feito com o auxílio de um perfil soldado no pilar para a fixação da esquadria como o mostrado seção 3-3, Figura 5.35. Nota-se, que a união da esquadria com o pilar metálico é feita por uma cantoneira e, como a esquadria mostrada na figura é em alumínio, é necessário que exista uma fita

anticorrosiva³, que faça o isolamento entre a cantoneira (aço carbono) e a esquadria (alumínio) para que não ocorra a corrosão galvânica.

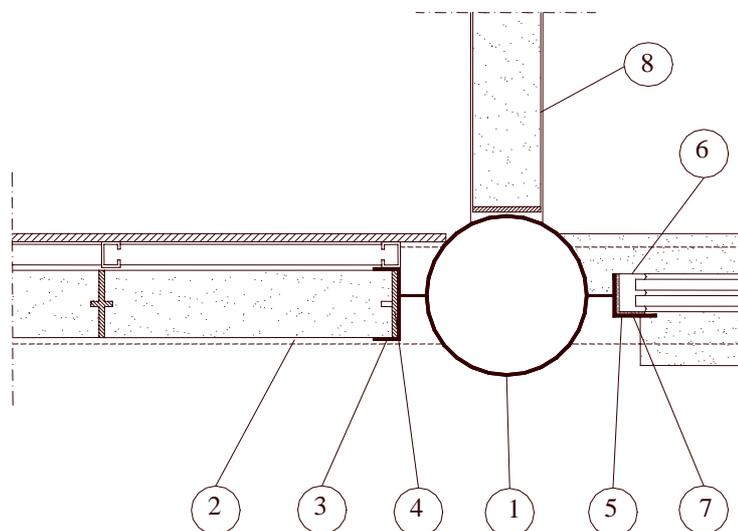


Figura 5.35- Seção 3-3: a união entre o pilar, o painel e a esquadria.

Legenda

- 1- Pilar metálico
- 2- Painel em concreto celular autoclavado
- 3- Perfil U para receber o painel e a junta de dessolidarização.
- 4- Preenchimento da junta com placa de EPS (espessura = 10 mm).
- 5- Cantoneira para desvincular a esquadria da estrutura.
- 6- Esquadria em alumínio.
- 7- Fita anticorrosiva para isolamento do perfil de alumínio e a cantoneira.
- 8- Parede interna em painel de concreto celular.

Na seção vertical 4-4, representada na Figura 5.36, detalha-se a interface do painel com a esquadria. É importante ressaltar a necessidade da existência de peitoril com pingadeira, que avance pelo menos 40 mm para fora do plano da fachada, para impedir o escorrimento da água da chuva no painel e conseqüente aparecimento de manchas. Neste detalhe é possível ver

³ A fita anticorrosiva é constituída por um dorso a base de cloreto polivinílico com adesão sensível à pressão e possui alto poder de isolamento elétrico.

também a fixação do painel na viga de borda, por meio de um arranjo de cantoneiras (de um lado e outro do painel) e a colocação da placa de EPS, neste local com espessura de 20 mm.

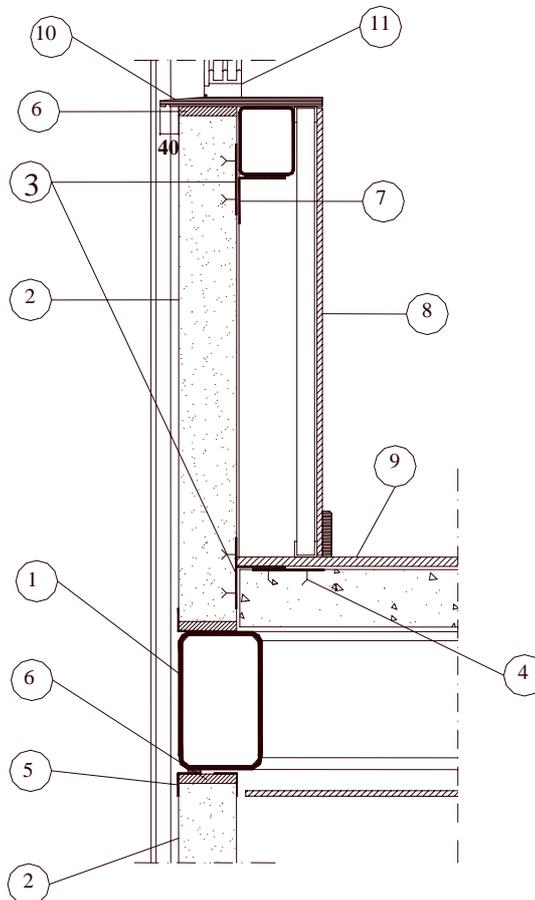
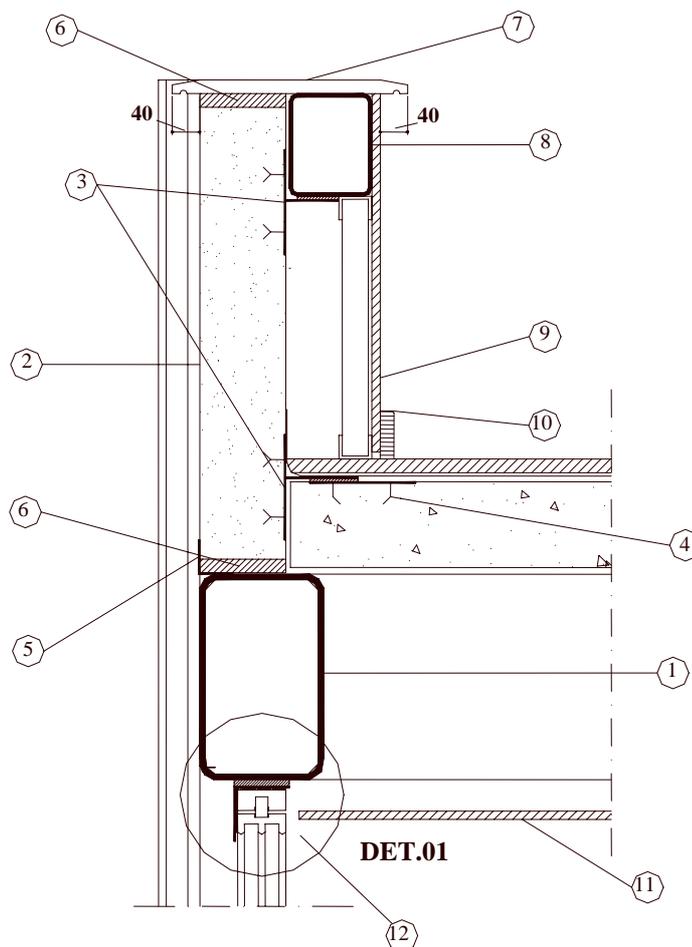


Figura 5.36- Seção 4-4: a união do painel com esquadria, em corte

Legenda

- 1- Viga metálica
- 2- Painel em concreto celular autoclavado
- 3- Elementos de fixação incorporados no painel (*inserts*)
- 4- Elemento para fixação do painel incorporado à laje.
- 5- Cantoneira para receber o painel junto da viga.
- 6- Preenchimento da junta entre o painel e o perfil com placa de EPS
- 7- Viga metálica auxiliar
- 8- Vedação interna em placa de gesso acartonado
- 9- Piso
- 10-Peitoril em granito (com pingadeira).
- 11-Esquadria em alumínio

No detalhe dos acabamentos das platibandas nas coberturas deverá ser previsto rufo e, nos guarda-corpos nos terraços, pingadeiras que avancem em relação ao plano da fachada. Na Figura 5.37 mostra-se a seção 5-5, em que é detalhada a solução do arremate do guarda-corpo de um terraço.



OBS.: medidas em milímetros.

Figura 5.37-Seção 5-5: a ligação do painel e da esquadria com a viga.

Legenda

- 1- Viga metálica
- 2- Painel em concreto celular autoclavado
- 3- Elementos de fixação incorporados no painel (*inserts*)
- 4- Elemento para fixação do painel incorporado à laje.
- 5- Cantoneira para receber o painel.

- 6- Preenchimento da junta entre o painel e o perfil com placa de EPS
- 7- Arremate da platibanda em granito (com pingadeira).
- 8- Viga metálica auxiliar
- 9- Vedação interna em placa cimentícia.
- 10-Rodapé
- 11- Forro em gesso acartonado
- 12- Esquadria em alumínio

O detalhe 1, representado na Figura 5.38, enfoca a interface da esquadria com a viga metálica. A movimentação relativa entre a esquadria e a viga de borda é possibilitada por uma junta telescópica incorporada ao perfil da esquadria. A cantoneira em aço carbono soldada na viga recebe a esquadria, que é aparafusada a ela e, como os metais possuem potenciais diferentes, é necessário o isolamento, no caso, feito por uma fita anticorrosiva.

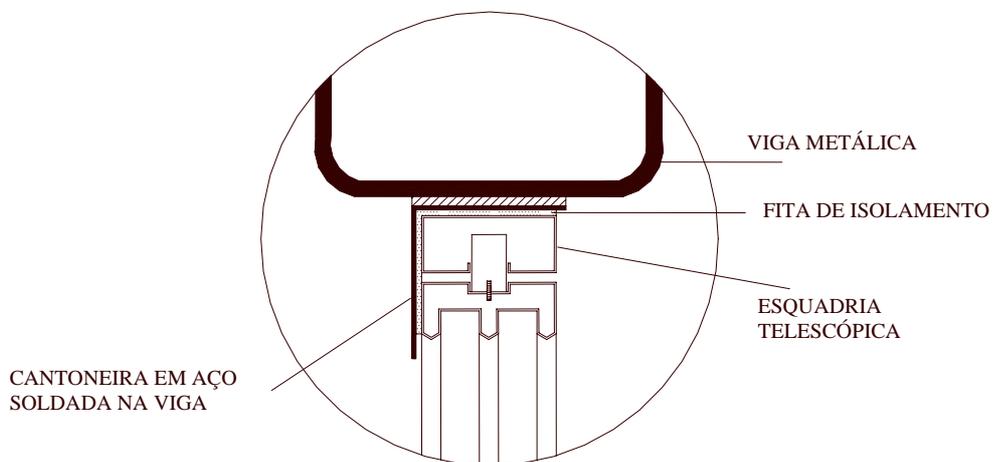


Figura 5.38- Detalhe 1: interface entre a esquadria e viga metálica.

5.3.2 Painel cortina

5.3.2.1 Sistema de fixação

No sistema painel cortina, a fixação é feita conforme a mostrada na perspectiva da Figura 5.39 e na elevação típica mostrada na Figura 5.40.

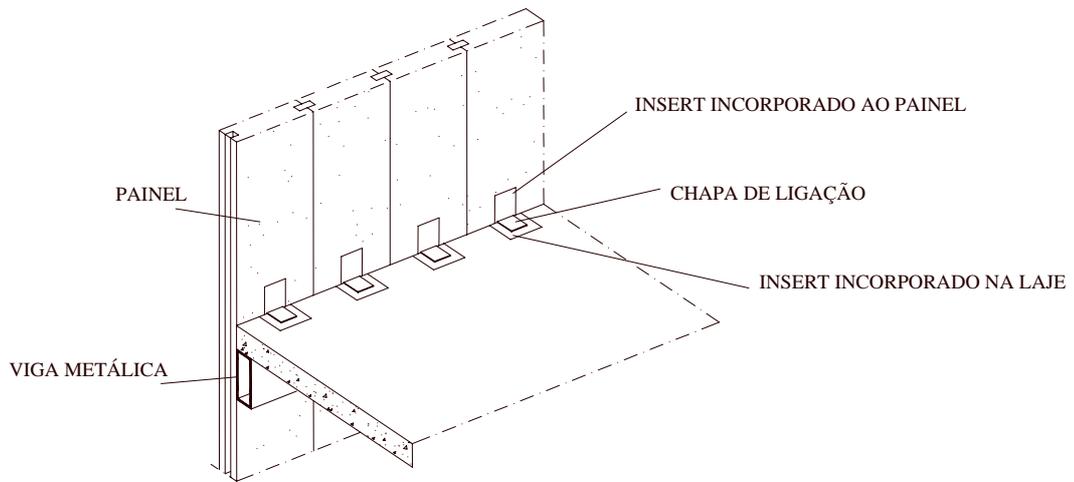


Figura 5.39- Perspectiva de um painel cortina

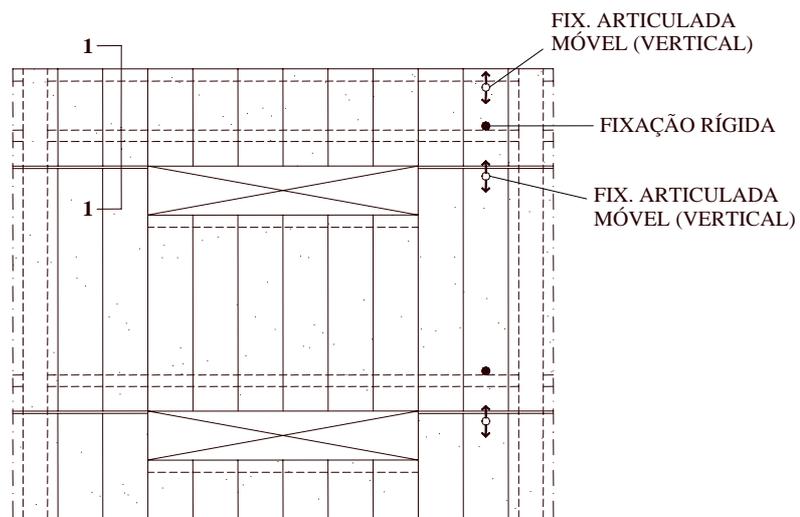


Figura 5.40- Elevação típica de um painel cortina

Os painéis necessitam de, pelo menos dois pontos para a sua fixação, detalhados a seguir:

- a) O primeiro, através de um *insert* colocado durante a produção no painel, que faz a conexão do painel com a laje através de uma chapa de ligação, que é soldada a um segundo *insert* posicionado na laje antes da concretagem. Esta fixação suporta as cargas do peso próprio e é vista em detalhe na Figura 5.42.
- b) A segunda fixação se dá através de outro *insert* colocado no painel em posição próxima a altura da viga metálica. Esse é soldado à chapa de ligação também soldada na mesa inferior da viga metálica. Esta fixação é responsável pela restrição ao vento e impede a rotação do painel.

Na Figura 5.41 representa-se um corte do painel na região onde as fixações estão inseridas e na Figura 5.42 os detalhes de cada fixação.

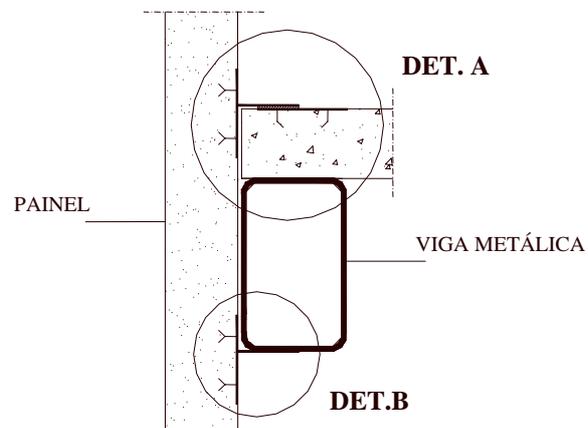


Figura 5.41- Detalhe de fixação do painel cortina.

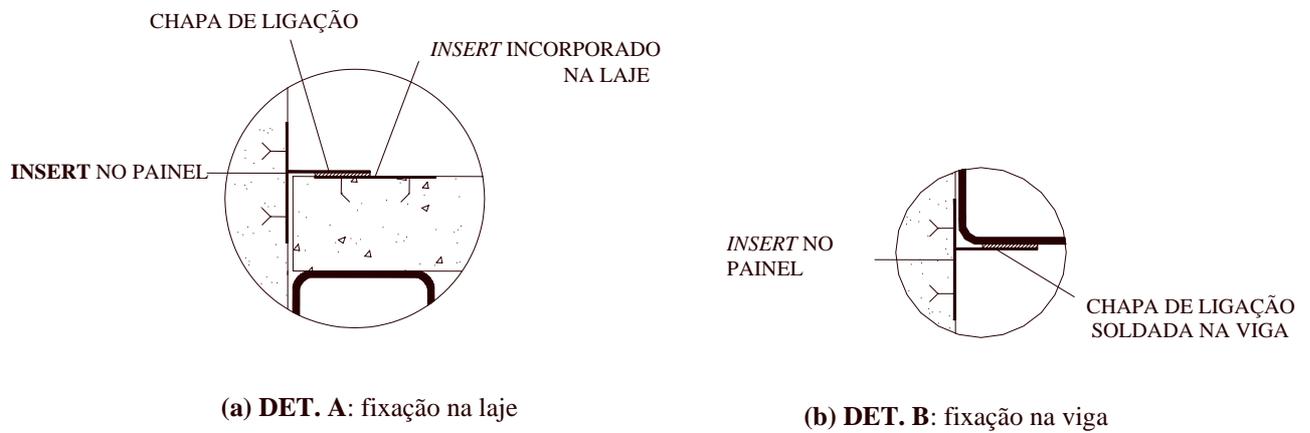


Figura 5.42- Detalhes de fixação do painel cortina: (a) Fixação na laje – (b) Fixação na viga.

5.3.2.2 Juntas

O sistema painel cortina exige a junta entre painéis, que é preenchida por *grout* nos encaixes fêmea-fêmea do painel, e oferece mais resistência ao conjunto. A junta do painel da quina pode ser feita como a mostrada na Figura 5.43.

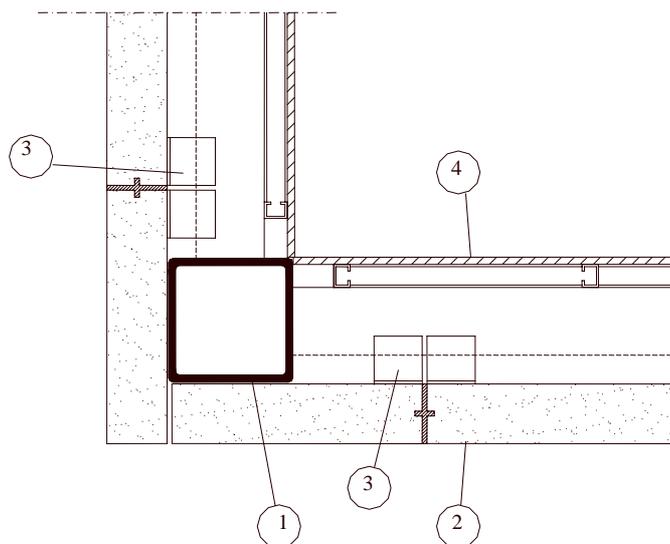


Figura 5.43- Planta: detalhe de fixação e as juntas preenchidas com *grout*.

Legenda

- 1- Pilar metálico tubular de seção quadrada
- 2- Painel em concreto celular autoclavado
- 3- Chapa de ligação
- 4- Painel interno em gesso acartonado

Um problema observado na utilização deste painel como fechamento dos edifícios em estrutura metálica é o sistema de fixação descrito acima e adotado pelos fornecedores brasileiros. O processo de fixação do painel na estrutura suporte, que se dá através da soldagem da chapa de ligação, impede a movimentação relativa entre a estrutura e o painel, o que fatalmente provocará trincas. Seria interessante que os fabricantes dos painéis pudessem disponibilizar soluções que contemplem a movimentação relativa, através de ligações aparafusadas. Nas fachadas com grandes extensões deverão ser previstas também as juntas de dilatação entre os painéis.

5.3.3 Proteção contra corrosão

No sistema painel de vedação, como a estrutura e também os elementos de fixação são perfis metálicos (cantoneiras e perfis “U”), eles necessitam estar protegidos contra a corrosão, seja através da especificação em aço patinável, ou através do processo de pintura.

No sistema painel cortina, os elementos de ligação (*inserts*) devem ser especificados em aço patinável, pois como são inseridos aos painéis e às lajes durante o processo de produção e de concretagem, devem resistir ao processo de corrosão a que estarão expostos pelo contato com a água. Caso haja absorção de água pela laje, após a secagem do concreto, ou pelo painel, o processo de oxidação não será interrompido, o que comprometerá a eficiência estrutural do sistema.

5.3.4 Proteção contra incêndio

No sistema painel de vedação, como a estrutura metálica permanece aparente, os cuidados serão os mesmos já mencionados no item dos painéis em concreto, ou seja, internamente a proteção pode ser feita pela utilização dos elementos da construção, como painel interno e

forro em gesso acartonado, e a colocação do piso. Externamente é necessário que haja a proteção através da pintura com tinta intumescente.

No sistema painel cortina, como o painel é assentado através da soldagem dos elementos de ligação, a execução do contra-piso e do piso impede a propagação do fogo e da fumaça de um pavimento para outro, devendo-se ter o cuidado de proteger a estrutura seja, através da utilização de argamassa protetora, ou da utilização de pintura.

5.3.5 Diretrizes para o projeto

Para se ter um bom desempenho na utilização deste subsistema deverão ser seguidas as seguintes diretrizes:

- a) Como já mencionado, os vãos para as esquadrias não são incorporados ao painel durante sua produção, sendo necessário pensar nos cuidados desta interface.
- b) Como o painel de concreto celular possui capacidade de absorção de água e umidade, é importante que ele esteja revestido com materiais protetores como pedras, cerâmica ou argamassa hidrofugante.
- c) Quando o painel de concreto for revestido em cerâmica deverá ser estudada uma modulação que preveja a combinação das dimensões do painel com a cerâmica.

CAPÍTULO VI

6. A INTERFACE DOS PERFIS TUBULARES E OS PAINÉIS FIXADOS COM ESTRUTURAS AUXILIARES

Os materiais de pequenas espessuras e aqueles que não conseguem vencer grandes vãos necessitam de estruturas para apoiá-los, aqui denominadas de estruturas auxiliares ou secundárias. Nesta categoria estão incluídos os sistemas típicos para a fixação das placas cimentícias e dos painéis metálicos, como os painéis de aço, de aço inoxidável e os de alumínio. As estruturas auxiliares são dimensionadas para receber os carregamentos devido ao peso próprio e à carga de vento e necessitam vencer o vão (de coluna a coluna). Podem ser fixadas diretamente nas colunas ou nas lajes.

6.1 Placa cimentícia

As placas cimentícias possuem dimensão padrão, com pequenas variações de fábrica para fábrica, e necessitam da estrutura auxiliar, geralmente composta por montantes verticais e guias horizontais. Elas podem ser fixadas no sistema de painel de vedação, em que a estrutura permanece aparente e no sistema painel cortina, recobrimdo a estrutura, como mostrado na Figura 6.1.



Figura 6.1- Fachada revestida com placa cimentícia.

Fonte: Useplac (2004)

6.1.1 Painel de vedação (estrutura aparente)

6.1.1.1 Sistema de fixação

As placas cimentícias são fixadas à estrutura auxiliar composta por montantes verticais e guias aparafusadas na laje e na viga de borda. Na figura 6.2 vê-se uma elevação típica da placa cimentícia usada no sistema painel vedação. No lado esquerdo vê-se o painel colocado, no lado direito a estrutura auxiliar (montantes e guias) e as setas indicando a movimentação potencial de uma placa.

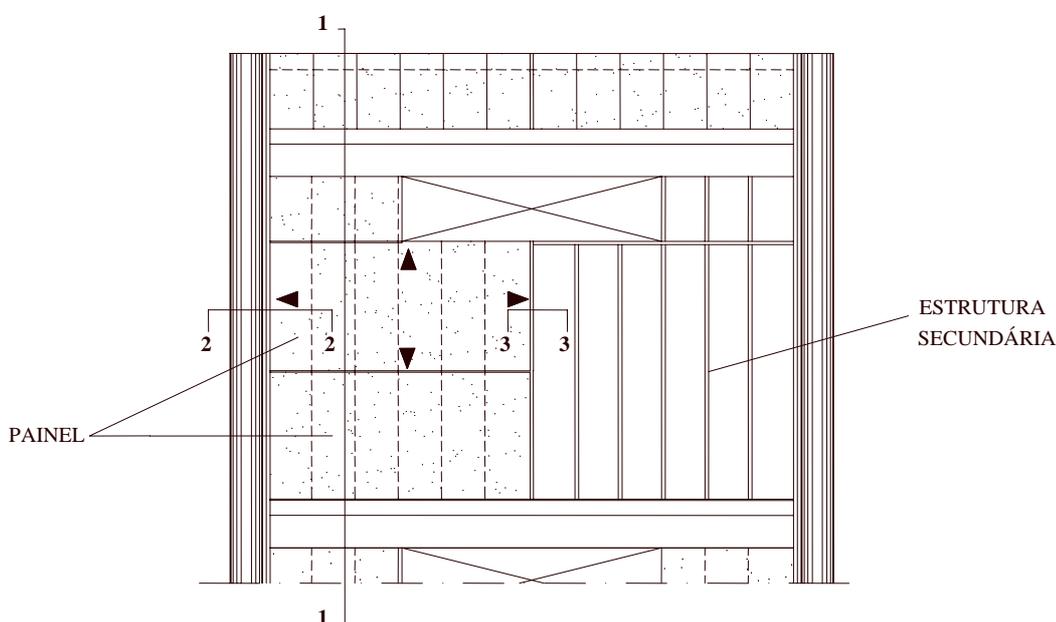


Figura 6.2-Elevação externa mostrando a movimentação potencial.

As principais características do sistema de fechamento com este tipo de painel são:

- A estrutura auxiliar recebe os esforços decorrentes do peso próprio e do vento e os transmite às lajes, vigas e pilares;
- A montagem inicia com a fixação das guias nas lajes e nas vigas, seguidas pela colocação dos montantes, aos quais as placas são aparafusadas;
- O sistema de fechamento, composto pelo conjunto estrutura auxiliar e as placas propriamente ditas, deve ser tratado de forma independente da estrutura, para permitir a movimentação relativa entre a estrutura e o fechamento.

No corte 1-1 indicado na elevação da Figura 6.2 e representado na Figura 6.3 ilustra-se uma possibilidade de fixação da placa cimentícia, em que ela é tratada como alvenaria desvinculada. Portanto é necessário prever a junta superior entre o painel e a viga de borda, como mostrado no Det.1 e entre o painel e laje como se vê no Det.2 da mesma figura.

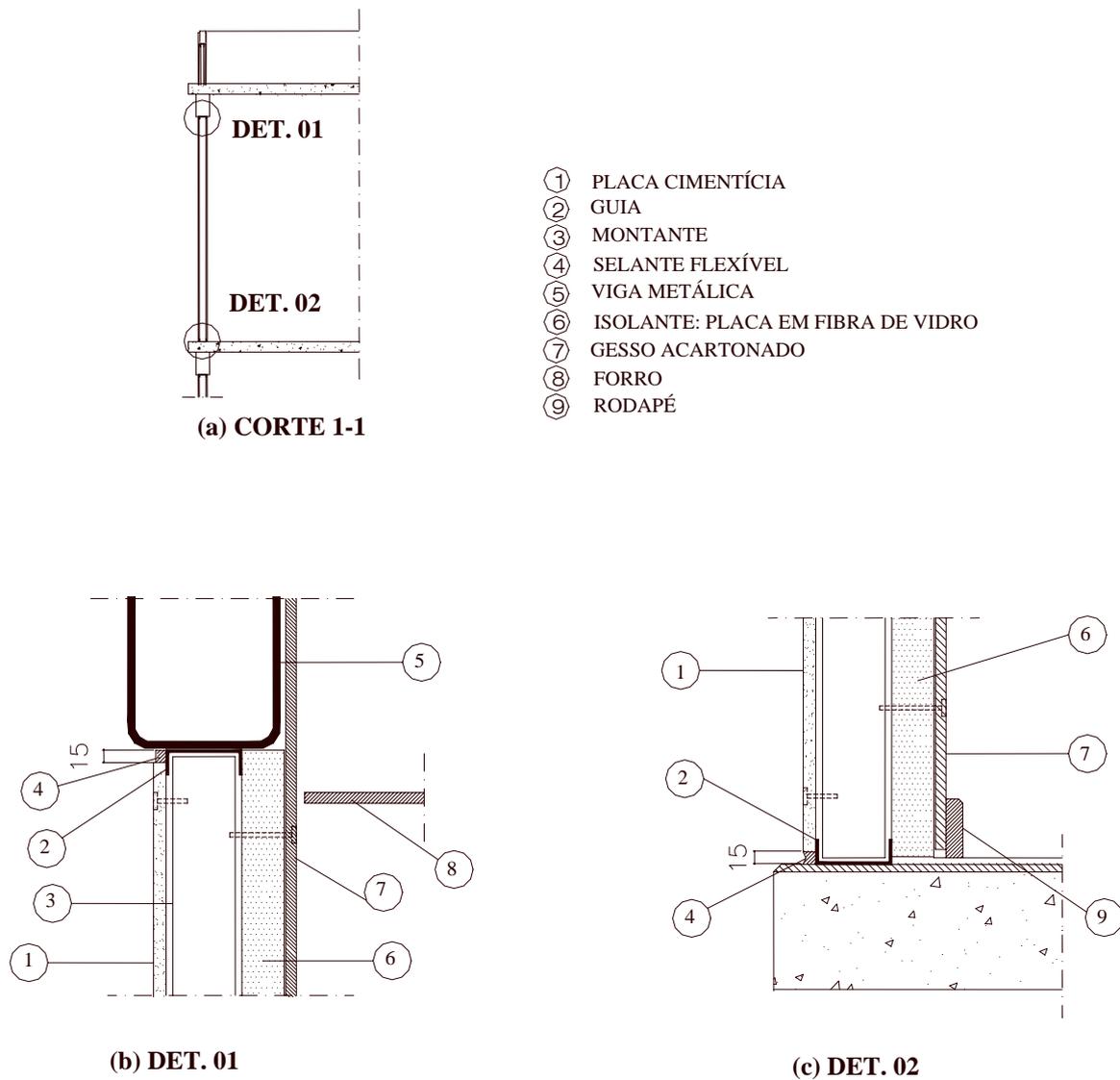


Figura 6.3

- (a) Corte 1-1: fixação da placa cimentícia na viga e na laje, como painel de vedação externa.
 (b) Detalhe 01 - (c) Detalhe 02

6.1.1.2 Juntas:

Além das juntas de dessolidarização, é preciso prever também as juntas de união entre os painéis. Elas precisam ser dimensionadas corretamente e seladas para que o sistema seja estanque. Segundo as recomendações dos fabricantes brasileiros as juntas devem seguir os critérios abaixo especificados:

- a) As juntas de dessolidarização devem existir entre os painéis e os pilares e entre os painéis e as vigas e as lajes, com no mínimo 6 mm de largura e serem preenchidas com selante flexível como o polissulfeto bi-componente;
- b) As juntas entre painéis devem ter 3 mm de largura e ser preenchidas com argamassa flexível ACIII - E⁴. Após o preenchimento, as juntas são recobertas com fita de lã de vidro. Após a fita, é aplicada mais uma faixa de argamassa fina, com 20 cm de largura. Esta última camada de argamassa é fundamental para evitar o sombreamento da fita no revestimento (Figura 6.6).

Na figura 6.4 está representada a seção horizontal 2-2 indicada na elevação da Figura 6.2 e mostra-se uma possibilidade para a interface do sistema com a coluna metálica, onde uma aba soldada a ela recebe o montante e ajuda a compor a junta que é vedada com a utilização do limitador de profundidade e do selante flexível. No exemplo, é interessante observar a utilização de um painel interno em gesso acartonado e uma placa de fibra de vidro, que contribuem para o isolamento térmico e acústico.

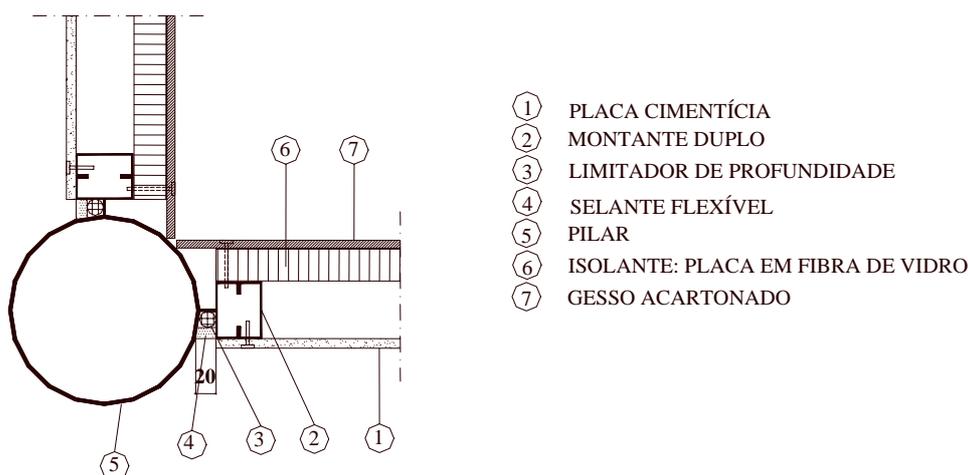


Figura 6.4 – Seção 2-2: detalhe da fixação da placa cimentícia.

⁴ A argamassa colante industrializada - tipo AC III-E é definida pela NBR 14 081:1998 como sendo a que apresenta resistência a altas tensões de cisalhamento nas interfaces substrato /adesivo e placa cerâmica /adesivo, com tempo em aberto estendido (≥ 30 minutos).

Deve existir um distanciamento mínimo dos parafusos às bordas das placas, entre 20 mm e 50 mm e, quando necessário, deve ser utilizado montante duplo, como o mostrado na Figura 6.4. O montante duplo é usado também na união entre painéis, como mostrado na Figura 6.5, para que a dimensão dos perfis somados permita o distanciamento do parafuso à borda e também a junta de 3 mm entre os painéis.

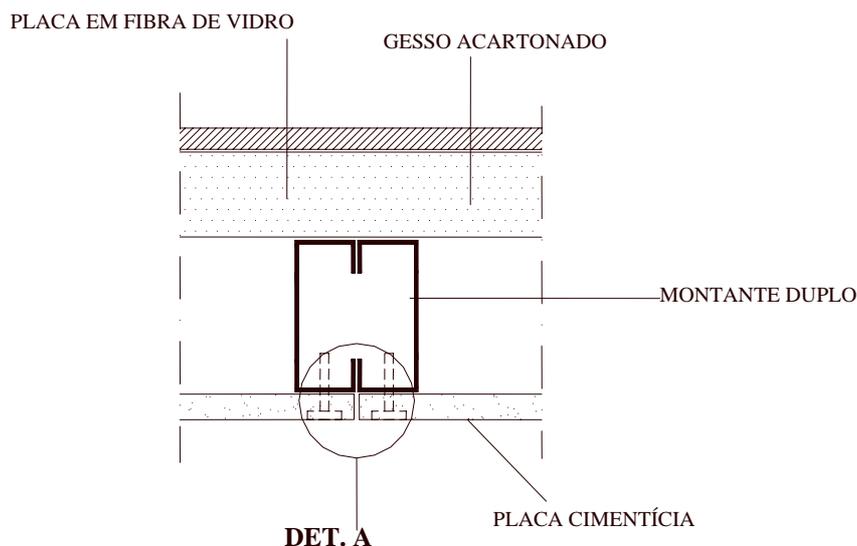


Figura 6.5- Seção 3-3: detalhe da união entre duas placas cimentícias.

Na Figura 6.6 vê-se o Detalhe A representado na Figura 6.5, com o tratamento da junta.

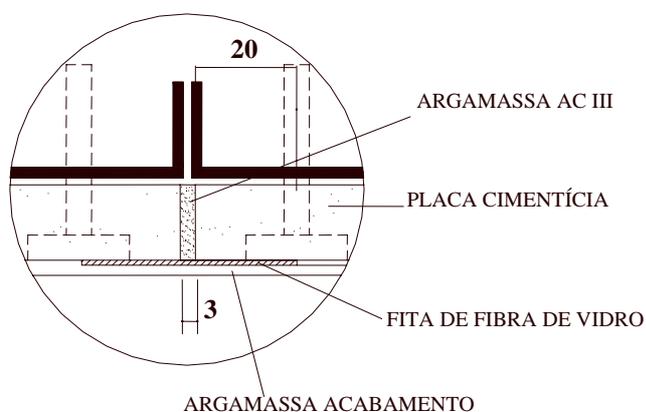


Figura 6.6- Detalhe A: tratamento da junta entre os painéis.

Os parafusos utilizados na fixação dos painéis são os auto-atarraxantes; devem ser colocados com distanciamento de 200 mm ao longo das guias e dos montantes e devem ser em aço galvanizado ou aço inoxidável, no caso do painel não receber revestimento externo.

6.1.2 Painel cortina

6.1.2.1 Sistema de fixação

Para a fixação no sistema painel cortina a estrutura secundária é composta por montantes contínuos interceptados por longarinas horizontais descontínuas. Os elementos verticais podem trabalhar comprimidos como colunas, quando apoiados no piso, ou tracionados, caso estejam fixados no topo do edifício. Na Figura 6.7 mostra-se, em perspectiva, um esquema para a fixação das placas e na Figura 6.8 representa-se uma elevação típica.

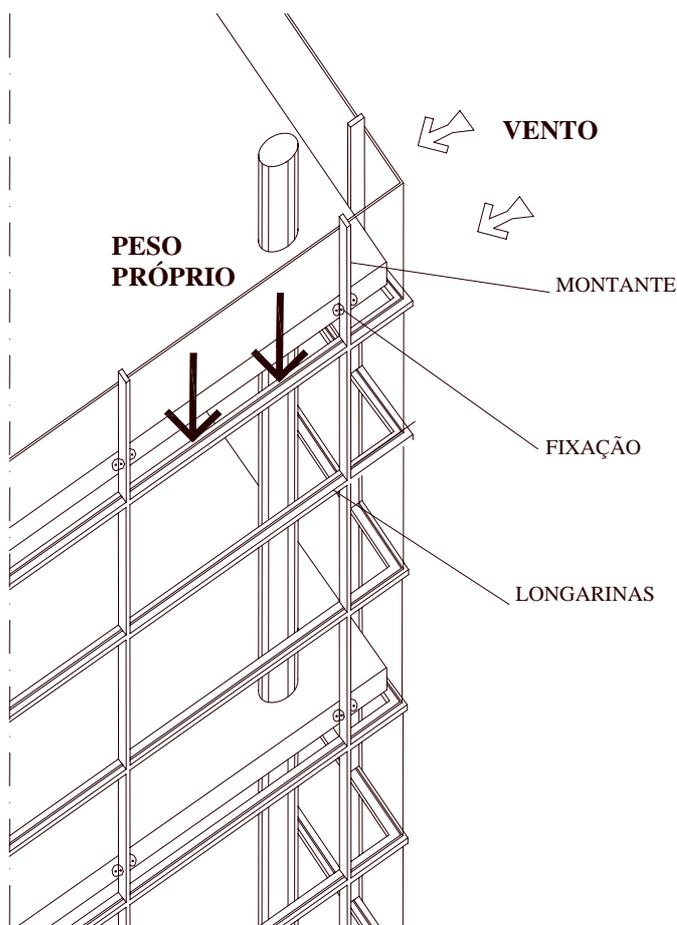


Figura 6.7- Perspectiva mostrando a estrutura auxiliar de fixação do painel cortina.

Fonte: SCI (1992)

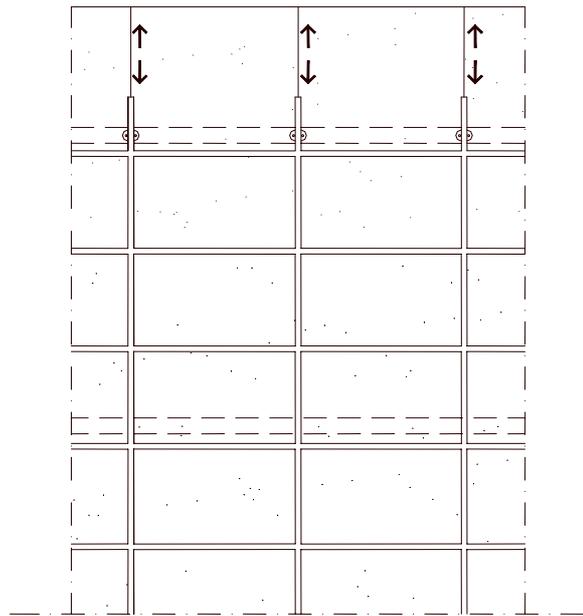


Figura 6.8- Elevação típica com a movimentação potencial.

Fonte: SCI (1992)

As principais características do sistema de fixação, no caso do painel cortina, são:

- a) As forças devido ao peso próprio do sistema (estrutura e painel) são suportadas pela malha da estrutura secundária;
- b) As forças horizontais, provocadas pelo vento, são absorvidas pelas ligações dos montantes nas lajes (que normalmente acontecem em todos os pavimentos);
- c) Nos sistemas apoiados (elementos comprimidos) a função das fixações é resistir ao vento e evitar a flexão dos montantes com conseqüente rotação na base. As fixações precisam garantir que a transmissão dos esforços horizontais retorne para as lajes.
- d) Nos sistemas suspensos, as fixações também transferem os esforços horizontais para as lajes, mas a rotação pode ser evitada com a colocação de pinos que se encaixam em furos oblongos nos montantes, que permitem a movimentação (Figura 6.9).



Figura 6.9- Detalhe da fixação do montante na laje.

(a) Elevação lateral - (b) Perspectiva.

Fonte: SCI (1992)

6.1.2.2 Juntas:

No caso do painel cortina, além das juntas entre painéis, devem ser previstas juntas que permitam dilatação e movimentação do material, segundo as seguintes recomendações:

- a) Juntas verticais e horizontais de movimentação com no mínimo 6 mm de largura:
 - junta vertical: com espaçamento entre juntas de, no máximo, 3 m;
 - Junta horizontal: com espaçamento entre juntas de, no máximo, 6 m;
- b) Juntas de dilatação, com no mínimo 6 mm de largura, que devem seguir a Norma Brasileira para argamassa de assentamento de cerâmica, ou seja, os panos deverão conter até 24,00 m² de área de extensão;
- c) Para garantir a estanqueidade das juntas, estas devem ser preenchidas com selante flexível (polissulfeto bi-componente).

6.1.3 Diretrizes para utilização

As placas cimentícias ainda não estão normalizadas no Brasil e os fabricantes brasileiros, em sua maioria empresas multinacionais, seguem as normas americanas e européias de fabricação

e instalação do sistema. Ao se optar pelo sistema, alguns aspectos devem ser observados como os mencionados a seguir:

- a) Como não é possível incorporar o sistema de esquadria na produção da placa, é necessário ser tomado um cuidado semelhante ao descrito para os painéis em concreto celular autoclavado, como a previsão dos peitoris com pingadeiras e rufos nas platibandas;
- b) Um problema apresentado pela utilização da placa cimentícia como fechamento externo na construção industrializada é o fato delas não possuírem acabamento de fábrica e, caso se opte por acabamento como pintura ou revestimento, estes procedimentos são feitos no processo de instalação;
- c) Quando revestidas, com cerâmica ou granito, é fundamental que haja paginação das fachadas em função das dimensões das placas e do material a ser utilizado como revestimento, para melhor compor as juntas e evitar desperdício.
- d) As juntas entre painéis devem ser desencontradas, caso se necessite de uma maior resistência do painel;
- e) Quando houver a necessidade de isolamento termo-acústico será necessária à utilização de uma placa de lã de vidro, que pode funcionar também como proteção contra incêndio.

6.2 Painéis metálicos

Os painéis metálicos, encontrados no mercado nacional, podem ser de três tipos:

- a) Painéis perfilados: painéis de aço, aço inoxidável e alumínio;
- b) Painéis compósitos: painéis em alumínio composto (ACM);
- c) Painel fachada *rainscreen* ou fachada ventilada.

Os painéis perfilados são mais usuais nos fechamentos dos edifícios baixos, Figura 6.10, sendo que os compósitos e as fachadas *rainscreen* são mais utilizados para fechamento de edifícios altos e normalmente são fixados externamente à estrutura do edifício, no sistema de painel cortina.



Figura 6.10- Painel metálico perfilado, Fábrica Valeo, SP.

Fonte: BITTAR (2004, b)

As dimensões dos painéis metálicos variam com o tipo de painel e segundo SILVA (2003) pode-se ter como referência as informações citadas no Quadro 6.1, com exceção para o painel *rainscreen*, que apresenta dimensão específica de acordo com cada fornecedor.

Quadro 6.1: Tipos e dimensões dos painéis metálicos. SILVA (2003).

Tipos de painéis	Espessuras das lâminas	Largura máxima	Altura máxima
Painéis perfilados	3 mm a 6 mm	1,2 m	20 m
Painéis compósitos laminados	1,2 mm a 2 mm	1,3 m (aço) 1,5 m (alumínio)	1,6 m a 6 m (a vácuo) 2,5 m a 7 m (por pressão e resina)
Painéis compósitos com espuma de poliuretano	1,2 mm a 2 mm	1,3 (aço) 1,5 (alumínio)	6 m (espuma na vertical) 30 m (espuma na horizontal)

Como são constituídos por placas, os painéis necessitam de um sistema auxiliar para fixá-los à estrutura suporte do edifício, geralmente composto por montantes ou trilhos verticais e

longarinas ou trilhos horizontais e, como são leves, podem ser fixados nas lajes ou nos pilares.

6.2.1 Sistema de Fixação

6.2.1.1 Montantes fixados nas lajes

Na Figura 6.11 mostra-se, em perspectiva, um esquema de fixação de uma fachada cortina utilizando painel metálico com montantes fixados nas lajes.

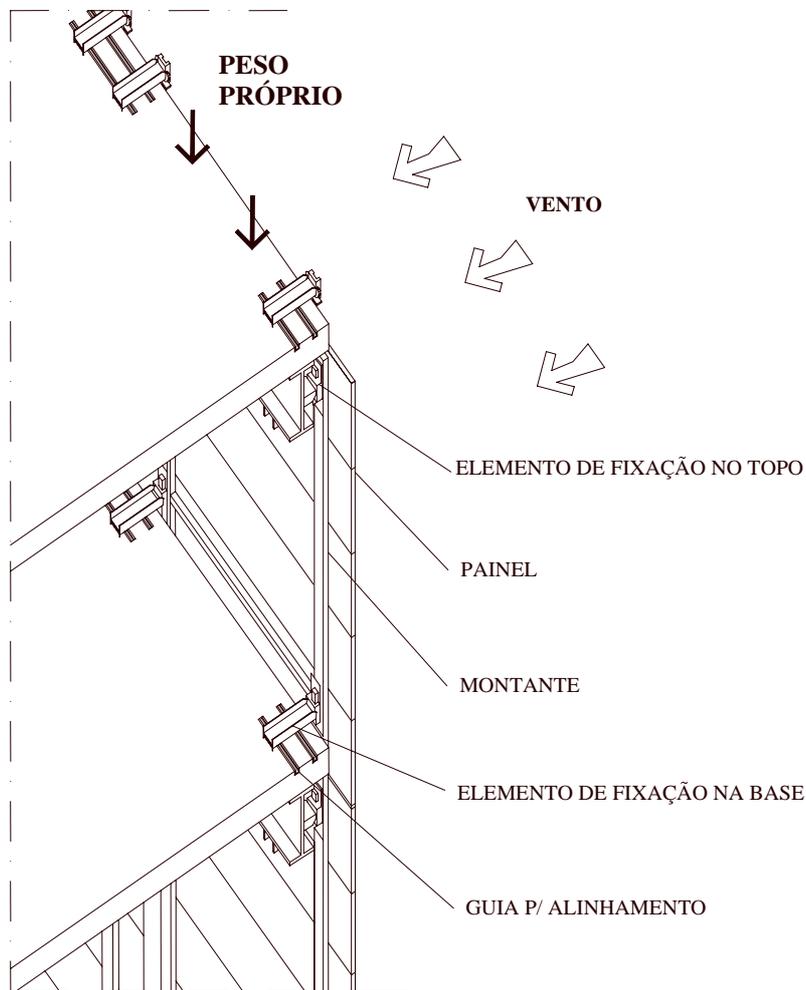


Figura 6.11- Perspectiva de um painel cortina metálico fixado nas lajes.

Fonte: SCI (1992)

Na elevação mostrada na Figura 6.12 é detalhada a movimentação potencial do painel.

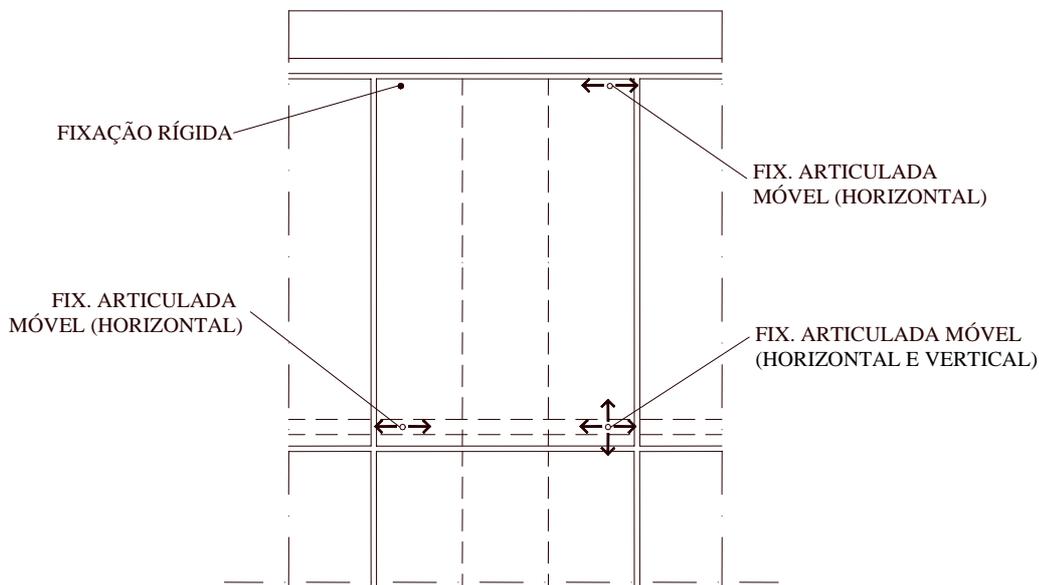


Figura 6.12- Elevação típica para um painel metálico com montante fixado na laje.

Fonte: SCI (1992)

As principais características do sistema de fixação dos painéis cortina são:

- As placas metálicas são fixadas nos montantes e estes fixados nas lajes. O alinhamento é conseguido com o auxílio de canaletas incorporadas às lajes;
- As cargas verticais são transmitidas pelos montantes às lajes e vigas de borda pelos elementos de fixação existentes na base;
- As fixações superiores conectadas ao flange inferior da viga de borda acomodam a ação do vento, que pode rotacionar o painel, e precisam resistir ao efeito combinado de compressão (peso próprio) e torção (vento).
- d)

6.2.1.2 Montantes fixados nos pilares

Uma outra possibilidade é a fixação dos montantes nos pilares. Na Figura 6.13 mostra-se, em perspectiva, um esquema para este tipo de fixação.

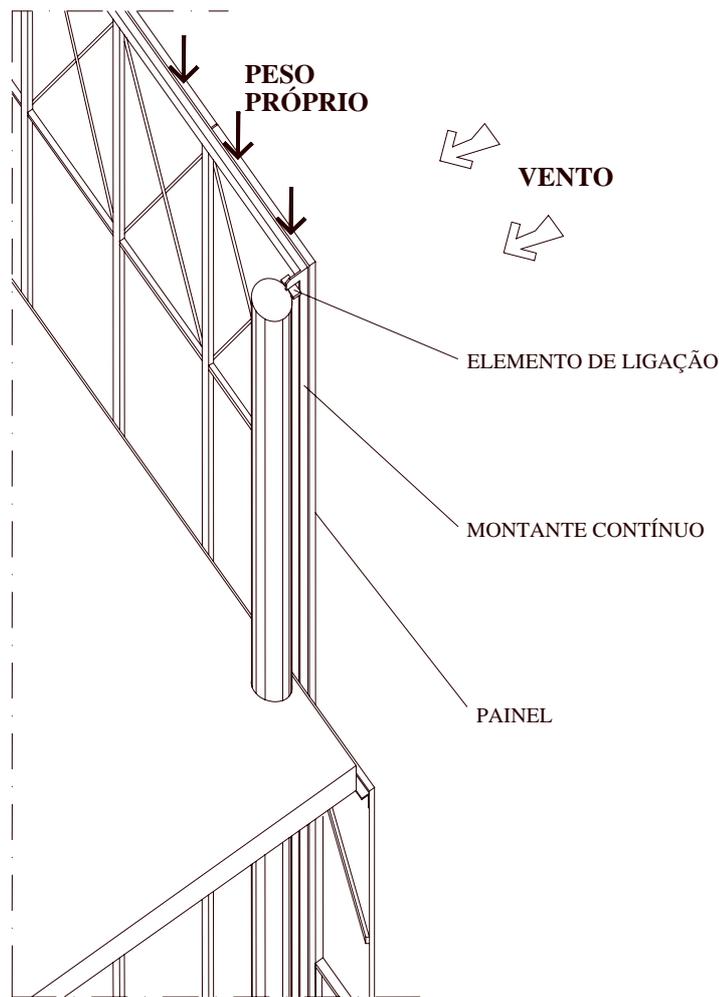


Figura 6.13- Perspectiva de um painel cortina metálico fixado nos pilares.

Fonte: SCI (1992)

As principais características do sistema com montantes fixados nos pilares são:

- As ligações superiores incorporadas no topo do montante transmitem a carga do peso próprio à face externa dos pilares;
- Os painéis estão fixados na face externa dos pilares e esta excentricidade na fixação pode provocar a inclinação da porção superior dos montantes para fora do seu plano.
- As cargas de vento são absorvidas por ligações compostas por pinos encaixados em furos existentes na parte superior do painel. Esta carga associada à excentricidade pode provocar um aumento de forças horizontais no topo das colunas.

6.2.2 Painel Perfilado

Como a chapa metálica possui espessura muito fina, o painel perfilado necessita ser enrijecido, ou por meio de dobradura da chapa, como o painel mostrado na Figura 6.14, ou através de enrijecedores, colocados em sua face posterior.

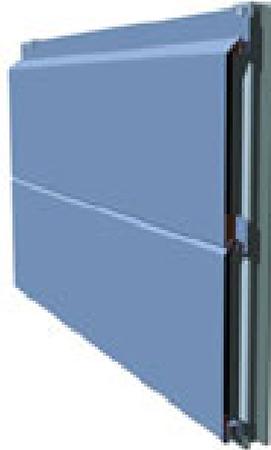


Figura 6.14- Painel metálico perfilado em aço galvanizado.

Fonte: Hairoville (2004)

Os painéis são fixados nos montantes e nas guias de diversas formas, sendo mais usuais as fixações com tubos e cantoneiras, mas também existem os encaixes internos tipo “macho e fêmea” e o “gancho e pino”. Podem ser também aparafusados ou rebitados. As juntas horizontais e verticais são necessárias para permitir a movimentação das placas.

No caso das juntas horizontais com encaixe tipo macho e fêmea, elas são protegidas pela própria geometria do painel (Figura 6.15). Nos outros casos, as juntas necessitam de material selante e normalmente é utilizado o silicone de baixo módulo (Figura 6.16). As juntas verticais demandam cuidado especial devendo ser seladas com silicone ou protegidas com cobre-juntas, para não permitir a entrada da água.

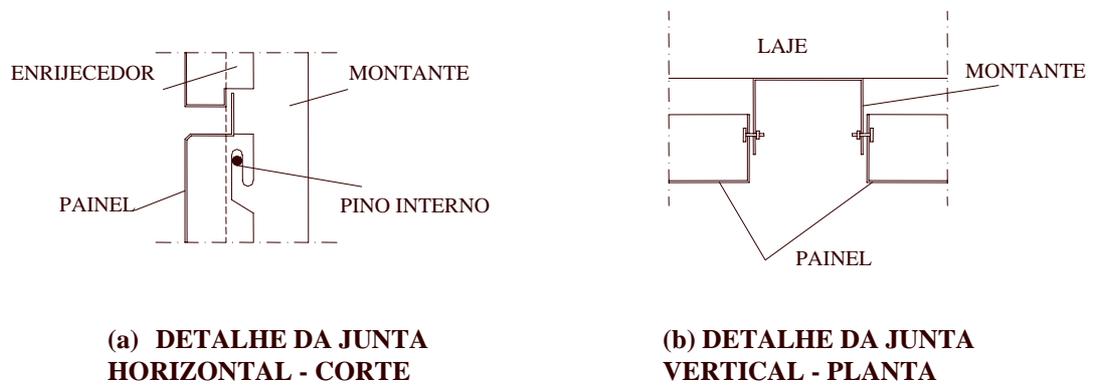


Figura 6.15- Detalhe da fixação do painel perfilado com encaixe macho e fêmea.

(a) Junta horizontal e (b) Junta vertical.

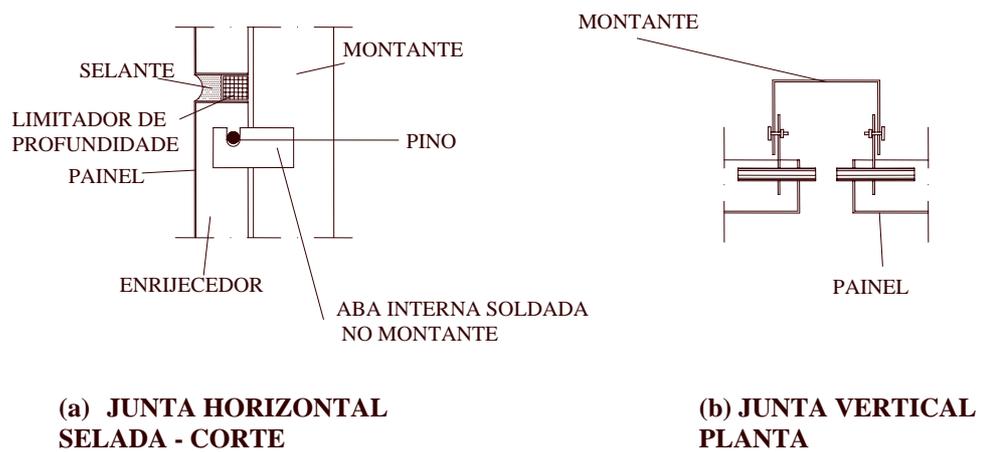


Figura 6.16- Detalhe da fixação do painel perfilado com encaixe de pino e junta selada.

(a) Junta horizontal - (b) Junta vertical

Os parafusos utilizados na fixação do painel perfilado seja o painel em aço galvanizado, aço inoxidável ou alumínio, são auto-atarraxantes e devem ser em aço inoxidável, para que possam resistir ao fogo, à corrosão atmosférica e não propiciar a ocorrência da corrosão galvânica. Na Figura 6.17 mostra-se a montagem de um painel em aço inoxidável, onde é possível ver a fixação do trilho na estrutura, usando um perfil Z e o encaixe do painel no trilho com pino interno.

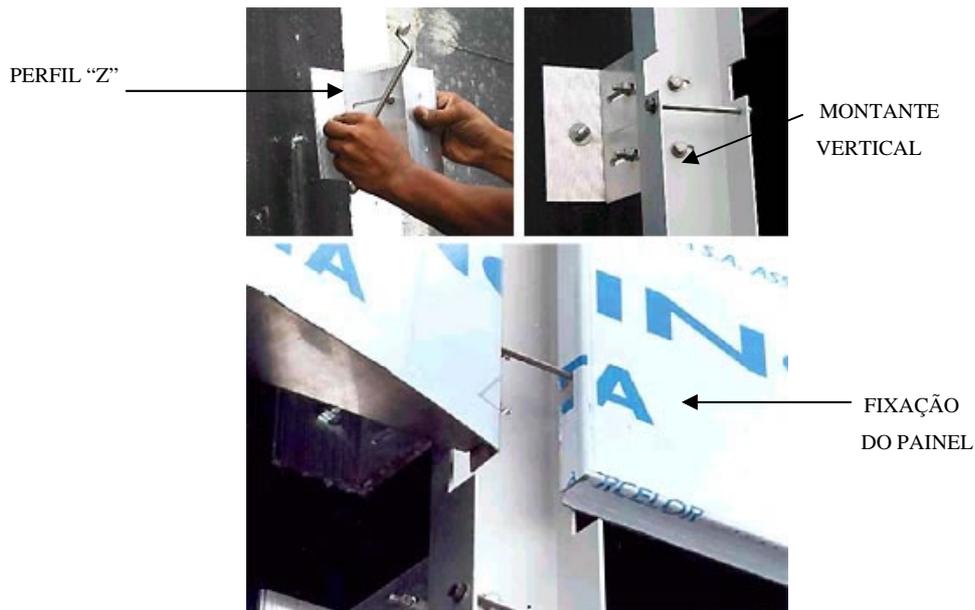


Figura 6.17-Fixação de um painel em aço inoxidável.

Fonte: Acesita (2004)

Na utilização destes painéis, devem ser observar os seguintes aspectos:

- a) Os painéis em aço inox ou em aço com acabamento polido produzirão superfícies com grande refletividade, o que poderá ser evitado utilizando no caso do aço inox, o aço escovado e no caso da pintura, um acabamento fosco;
- b) Ao se utilizar painéis texturizados e painéis frisados, deve-se tomar cuidado na disposição das chapas na fachada, para que não ocorra confusão visual, o que pode comprometer o resultado estético final.
- c) As fábricas que produzem os painéis metálicos oferecem também os acabamentos como os rufos, indispensáveis para se executar o fechamento no topo das fachadas e platibandas e os perfis para encaixe e arremate dos painéis, na quina.

6.2.3 Painéis compósitos

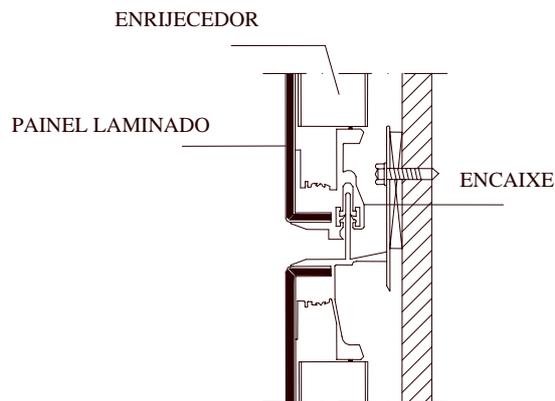
Nos painéis compósitos as placas são fixadas através de encaixe tipo “macho e fêmea” ou de um arranjo de cantoneiras internas, e os montantes ou trilhos normalmente são fixados na estrutura por cantoneiras e perfis “Z”. Nos edifícios altos, os painéis necessitam ser aparafusados, em pelo menos um lado, com parafusos auto-atarraxantes e pistolas de pressão, sendo os parafusos em aço inoxidável. Estes painéis podem vir incorporados com o sistema de esquadria, como mostrado na Figura 6.18.



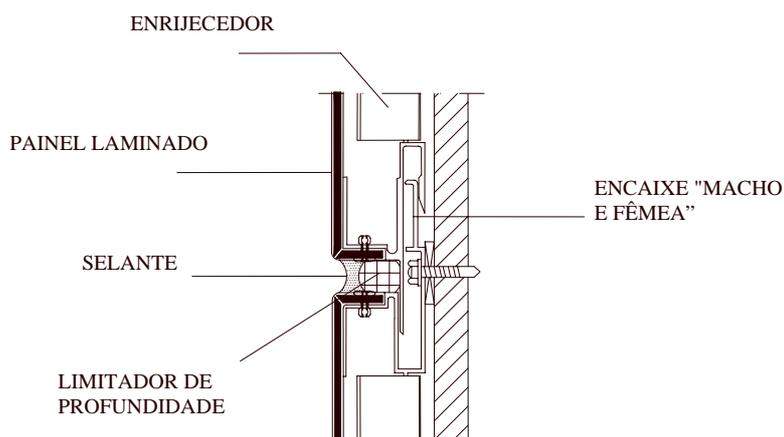
Figura 6.18- Edifício revestido com painel composto em alumínio.

Fonte: Alcan (2004)

Na colocação dos painéis compósitos é necessário prever as juntas horizontais e as verticais. As juntas podem ser abertas, quando protegidas pela geometria da peça, como o exemplo (a) da Figura 6.19 ou devem ser seladas. O material mais usado é o silicone de baixo módulo como mostrado no exemplo (b). O silicone é um material que se ajusta a qualquer tamanho da junta, porém retém mais poeira devido à oleosidade do material. Outra possibilidade para selar as juntas se faz com a colocação de gaxeta em borracha sintética de Etileno Propileno Dieno Monômero (EPDM). A vantagem é que a gaxeta já vem com dimensão definida de fábrica, porém não se adapta a qualquer tamanho de junta e pode soltar com a dilatação do painel. Alguns fornecedores utilizam um perfil auxiliar de alumínio para a fixação da gaxeta.



(a) ENCAIXE COM JUNTA ABERTA



(b) ENCAIXE "MACHO E FÊMEA" COM JUNTA SELADA

Figura 6.19-Exemplos de juntas horizontais utilizadas na fixação dos painéis compósitos.

(a) Encaixe com junta aberta - (b) Encaixe macho e fêmea (junta selada).

Como os painéis laminados são colocados do lado externo da edificação, pode ocorrer a propagação de incêndio de um pavimento para outro no espaço existente entre as lajes e o painel. Uma forma de impedir que isto aconteça pode ser vista no esquema mostrado na Figura 6.20, que representa um corte típico para a fixação de um painel laminado de alumínio.

Observa-se que, o fechamento externo é feito somente com o painel e, portanto, se faz necessária a colocação da placa cerâmica entre a borda da laje e o painel. Desta forma, os pavimentos ficam isolados, evitando-se a propagação da fumaça e do fogo.

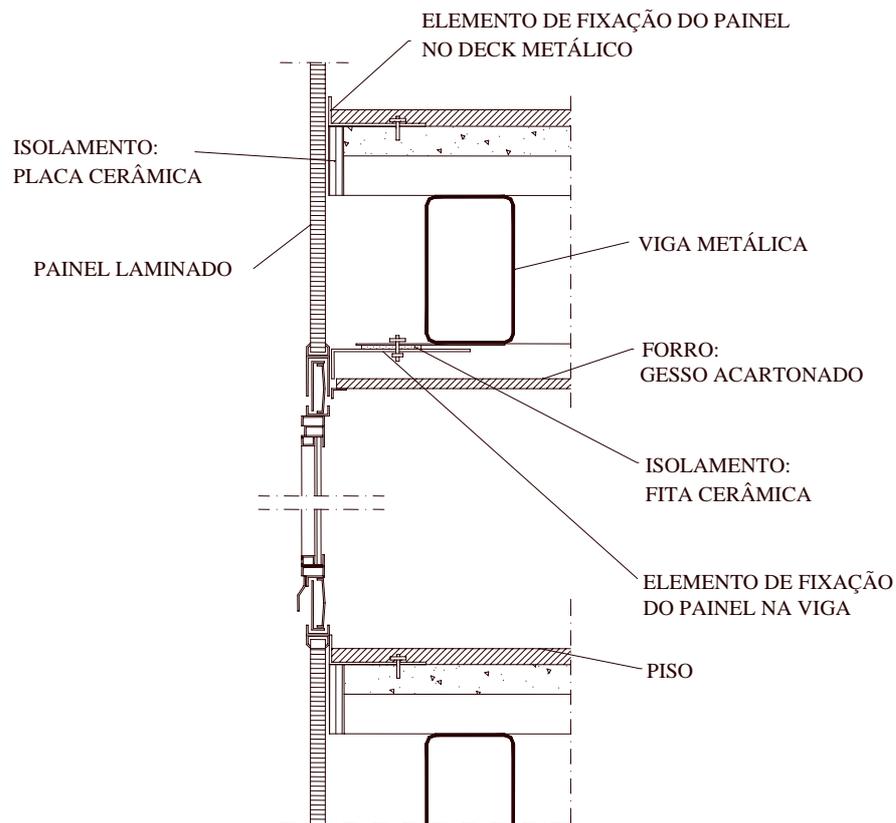


Figura 6.20- Corte típico mostrando a fixação de um painel composto.

Para evitar o descolamento das chapas dos painéis laminados é importante que alguns cuidados sejam tomados, como os listados a seguir:

- a) Reduzir as dimensões dos painéis;
- b) Evitar o aquecimento intenso da chapa externa, o que pode ser feito com a especificação de cores mais claras, pois estas absorvem menos calor;
- c) Evitar a colocação de elementos de fixação no meio dos painéis.

6.2.4 Fachada rainscreen

A fachada *rainscreen*, também denominada fachada ventilada, tem este nome porque o sistema é constituído por uma chapa plana de alumínio (com 4 a 6 mm de espessura), uma cavidade interna (de 2 a 3 cm de espessura) e outro painel laminado de alumínio, sendo que esta cavidade interna permanece sempre ventilada. Segundo SILVA (2003), “as juntas entre os painéis *rainscreen* devem ser abertas, com 10 mm ou mais, para permitir o movimento térmico e para drenar e impedir que a água da chuva penetre na cavidade ventilada e atinja o painel interno”. Os painéis são fixados nos montantes que ficam externos à edificação e, normalmente, a estrutura da edificação é isolada da estrutura do fechamento com fibra vegetal. Um exemplo de montagem é mostrado na Figura 6.21, que representa um corte típico usando o painel *rainscreen*.

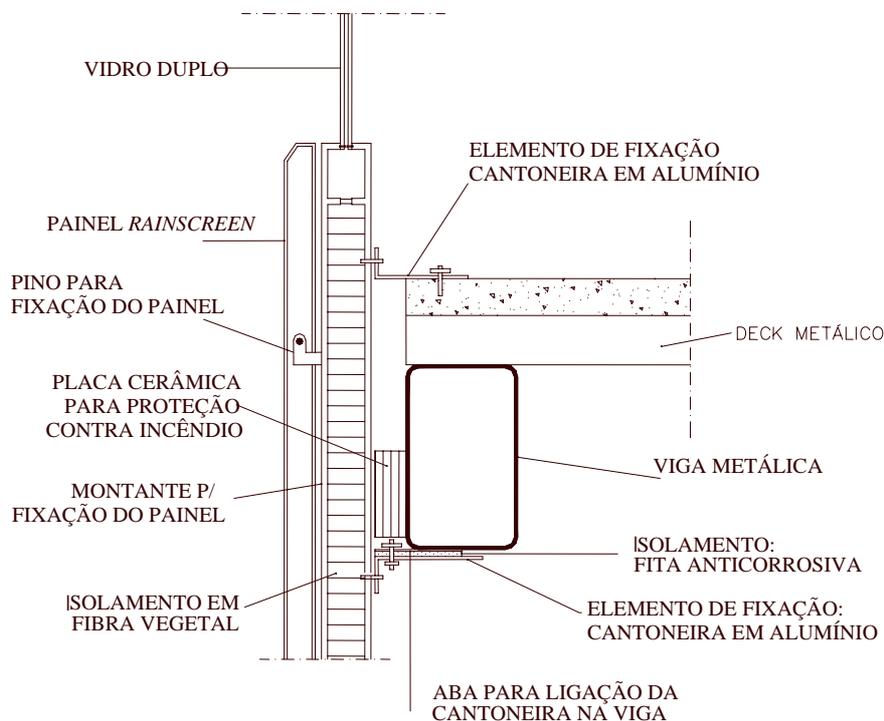


Figura 6.21- Fixação típica para a fachada *rainscreen*.

Também neste caso, como o painel é fixado deixando um espaço entre ele e a laje, é possível acontecer, no caso de incêndio, a propagação do fogo e da fumaça de um pavimento para outro; o que pode ser evitado com a colocação da placa cerâmica, como ilustrado na Figura 6.21.

Na Figura 6.22, é ilustrada em planta e detalhe, a interface de um painel fixado no pilar. Nota-se no detalhe 1 que o painel é fixado por cantoneira de aba desigual em aço inoxidável que, por sua vez, é fixado ao pilar por outra cantoneira, mas em aço estrutural. Para que não ocorra a corrosão galvânica usa-se como isolamento a fita anticorrosiva.

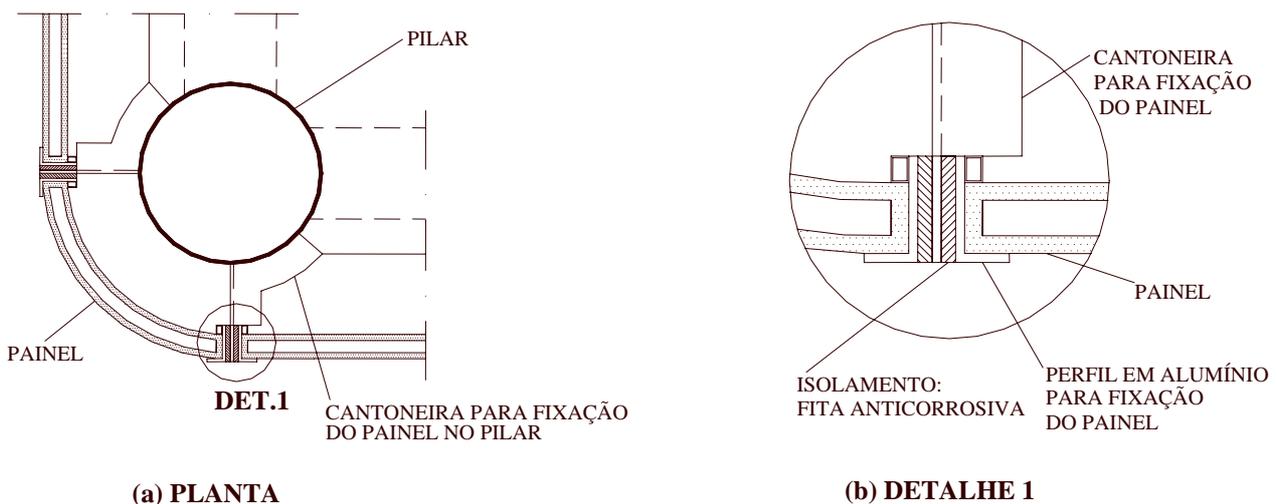


Figura 6.22- Detalhe de fixação do painel *rainscreen* no pilar.

(a) Planta - (b) Detalhe 1.

Como as juntas são abertas, elas requerem cuidado especial em sua proteção, para garantir a estanqueidade da câmara de ventilação e do revestimento interno em fibra. A proteção é feita através de barreira dupla, vertical e horizontal. Na Figura 6.23 é mostrado o tratamento da junta através da barreira vertical, formada por uma placa vertical do mesmo material do painel

e a barreira horizontal que é a própria guia, cuja geometria faz o duplo papel de proteção da junta e recolhimento da água da chuva.

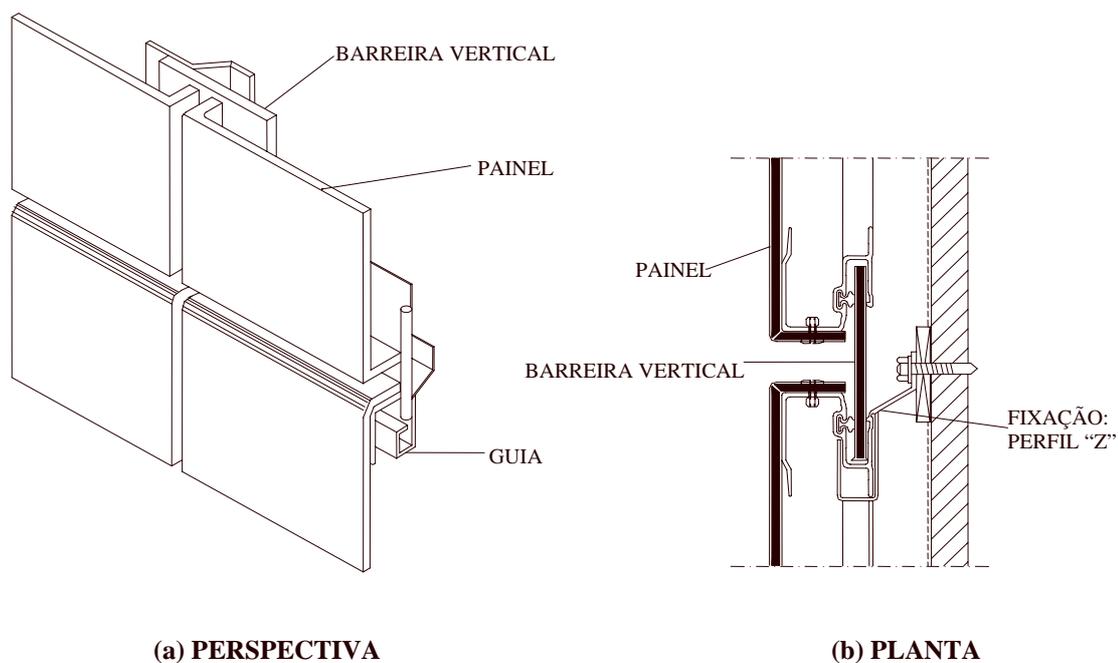


Figura 6.23- Esquema da barreira dupla utilizada na fachada *rainscreen*.

(a) Perspectiva e (b) Planta.

Fonte: Alcan (2004)

CAPÍTULO VII

7. INTERFACE ENTRE OS PERFIS TUBULARES E OS PAINÉIS EM VIDRO

O vidro é outro material utilizado para os painéis de fechamento, colocado em placas, mas com o sistema de fixação que diverge um pouco dos anteriormente descritos. Ele tem como características o fato de possuir peso elevado e aceitar pequenos deslocamentos, exigindo um cuidado especial nas fixações, para que não ocorra trinca ou mesmo quebra. Os painéis de vidro aqui tratados estão divididos nas categorias: painel de vedação (com a estrutura permanecendo aparente) e fachada cortina.

7.1 Painel de vedação

Quando o vidro é utilizado no sistema de painel de vedação, deixando a estrutura do edifício aparente como na fachada mostrada na Figura 7.1, é aconselhável que ele seja encaixilhado em um perfil, e dentro das opções oferecidas pela construção industrializada no Brasil, a opção mais usual é o perfil de alumínio extrudado.



Figura 7.1- Painel de vedação em vidro, Fábrica Açotubo, Guarulhos.
Fonte: BITTAR (2004, c)

Dada a baixa capacidade elástica do material, somada à movimentação da estrutura, principalmente nos edifícios com estrutura metálica em que os perfis são esbeltos, é

fundamental haver a previsão das folgas no detalhamento dos caixilhos. Outro dado a ser considerado é a capacidade de dilatação do material que é de 1mm para cada 100°C. A NBR 7199: 1989 recomenda que os caixilhos trabalhem com uma folga para a borda de 3 mm e folga lateral de 2 mm.

Portanto, uma folga adequada deve absorver a dilatação e os movimentos relativos entre o caixilho e a estrutura e depende do sistema de abertura da esquadria e do tipo de vidro a ser utilizado, o que deve ser motivo de estudo entre o arquiteto e o fornecedor.

Na figura 7.2 mostra-se a elevação típica para o painel de vedação em vidro. Observa-se que o caixilho recebe o esforço do peso próprio do material e o esforço do vento que é transmitido diretamente para a laje, os pilares e a viga de borda. As setas indicam a movimentação potencial do painel.

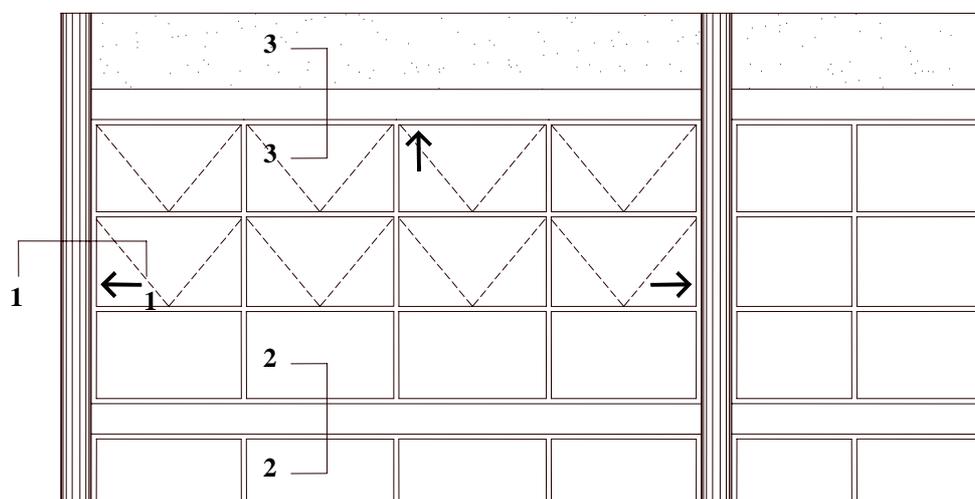


Figura 7.2-Elevação típica de um painel de vedação em vidro encaixilhado.

Um aspecto a ser observado neste sistema é a ausência do contramarco, gerando a necessidade de utilização de um elemento metálico para receber o caixilho. Geralmente este elemento é uma cantoneira ou perfil “U” em aço que é soldado nos pilares, vigas e lajes. Na figura 7.3, mostra-se a seção 1-1 podendo-se notar a cantoneira soldada ao pilar, que serve de apoio para

a fixação do caixilho. A folga necessária para a movimentação do vidro pode ocorrer no próprio caixilho com a utilização de calços ou de gaxetas que separam a chapa do vidro do caixilho.

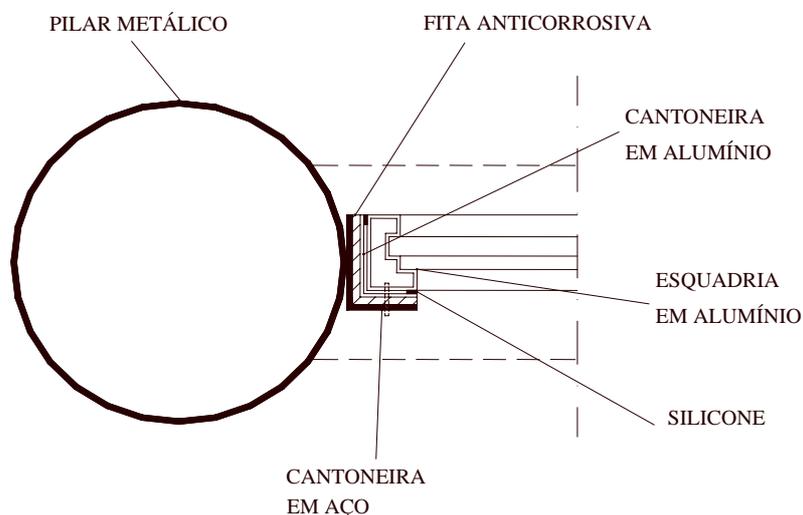


Figura 7.3- Seção 1-1 da Figura 7.2: a interface do painel com o pilar metálico, em planta.

Na Figura 7.4 representa-se a seção 2-2, onde é possível verificar a colocação de um perfil “U”, fixado na laje que recebe o caixilho em alumínio.

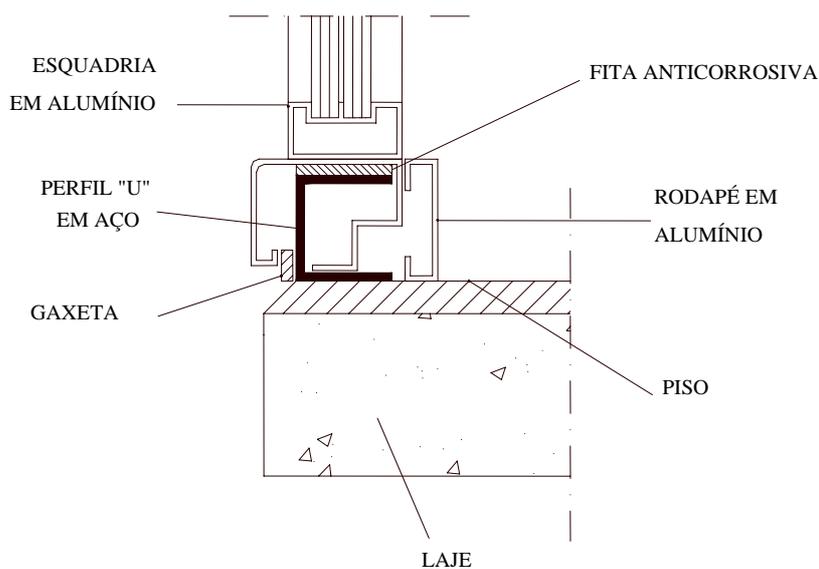


Figura 7.4- Seção 2-2: Detalhe da fixação do caixilho na laje.

Outro cuidado indispensável na interface da esquadria com a estrutura metálica, como no caso mostrado, em que a esquadria de alumínio é fixada no perfil em aço, é o isolamento dos metais com uma fita anticorrosiva ou manta em fibra cerâmica, para que não ocorra a corrosão galvânica. O deslocamento da viga de borda (flecha) deve ser compensado por um sistema adicional, que acomode o movimento, sem transmitir o esforço para o vidro, o que é conseguido com a adoção de um perfil telescópico na parte superior do caixilho, como o mostrado na seção 3-3 da Figura 7.2, apresentado na Figura 7.5.

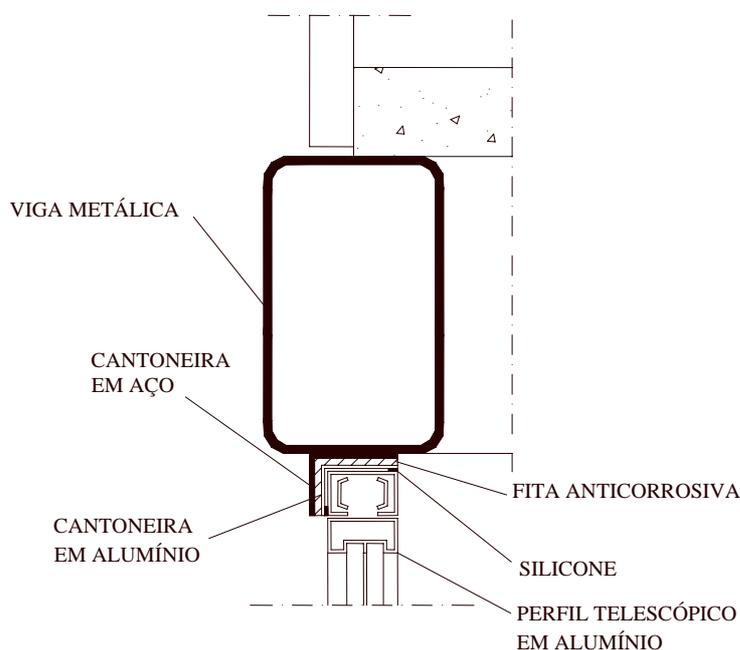


Figura 7.5- Seção 3-3: Detalhe da junção do caixilho com a viga metálica.

A eficiência termo-acústica do painel é determinada pela escolha do vidro e, dentro das opções disponíveis há os vidros laminados, com várias possibilidades de arranjos em função do tipo do vidro, da espessura da chapa e do tipo de película de PVB (polivinil butiral). Porém, como os arranjos para os vidros laminados apresentam maior peso, o cuidado com a folga deve ser maior. É imprescindível a utilização dos calços ou das gaxetas em EPDM que absorvem os esforços e proporcionam a folga necessária para a movimentação. O posicionamento dos calços ou das gaxetas deve ser estudado com o fornecedor. O selante indicado para vedar a folga entre o vidro e o metal é o silicone de cura acética, que é o selante indicado para material não poroso e a sua capacidade de movimentação é definida de acordo com o caso: alto, médio ou baixo módulo.

A junta ideal deve ter a relação entre a largura e a profundidade de 2:1, ou seja, a largura deve ter o dobro da profundidade. É necessária a utilização do limitador de profundidade ou corpo de apoio da junta, para garantir a correta aplicação do silicone. O limitador de profundidade deve ser em polietileno, do tipo tarucel, para não atacar ou aderir ao silicone. Este procedimento permite que o silicone apresente comportamento elástico uma vez que, ao aderir somente ao material adjacente, ele pode se movimentar. No caso de estar se utilizando vidro laminado deve ser evitado o silicone de cura acética, que ataca a película de PVB (polivinil butiral) provocando infiltração no vidro. Caso o vidro laminado necessite ser colado deve ser utilizado o silicone estrutural⁵.

7.2 Fachada cortina

Na fachada cortina, o vidro pode ser encaixilhado (também denominada pele de vidro encaixilhado) ou em vidro estrutural ou *Structural Glazing System*, em que as chapas de vidro são unidas com silicone estrutural. A fachada em vidro estrutural segue um sofisticado sistema de fixação composto pelos elementos detalhados a seguir:

- a) Parafusos de fixação: é o dispositivo de fixação que liga a placa à estrutura de fixação, e normalmente está localizado na borda do painel.
- b) Elementos suportes de fixação: Os painéis podem ser aparafusados diretamente na estrutura auxiliar, mas geralmente são utilizados elementos próprios que tem como função suportar o vidro. Estes elementos transferem o carregamento transmitido pelos parafusos para a estrutura auxiliar. Podem ser de vários tipos como cantoneiras, aranhas ou pinos.
- c) Estrutura auxiliar: composta por vigas, colunas ou treliças metálicas que transmitem os esforços do peso próprio, do vento e outras cargas impostas para a estrutura suporte do edifício ou para a fundação.

No detalhamento da fachada cortina em vidro estrutural deve-se considerar as movimentações decorrentes do efeito térmico e do carregamento aplicado, tanto do painel de vidro quanto da estrutura suporte. O carregamento pode provocar a rotação do painel e dos seus elementos de fixação, fora do plano. Outro aspecto a ser considerado são as tolerâncias de construção e da

⁵ O silicone estrutural é um produto inorgânico, derivado da sílica e resiste à radiação ultravioleta (período de 10 anos para os de cura acética e 20 anos para os de cura neutra) e a variações de temperatura de -45°C a + 145°C. Possui capacidade de deformação igual a 25%.

montagem, tanto dos painéis como dos elementos estruturais. E também precisa ser considerada a hipótese da quebra ou remoção de um painel, que provoca aumento da carga (peso próprio e das cargas transmitidas). Segundo o *The Steel Construction Institute - SCI* (1997) a adequação do sistema a ser utilizado para a fixação do painel em vidro é determinada em função da altura da fachada e os sistemas de fixação podem ser apoiados na base do edifício ou suspenso no topo.

7.2.1 Sistemas de fixação

7.2.1.1 Fixação na base

Para as fachadas com alturas entre 2,50 m e 4,00 m pode ser utilizado um sistema simples composto por postes que podem ser localizados na junção entre os painéis, como o mostrado no esquema da Figura 7.6 e na fotografia da Figura 7.7, ou em número menor, quando associados a um sistema de braços como o mostrado na Figura 7.8.

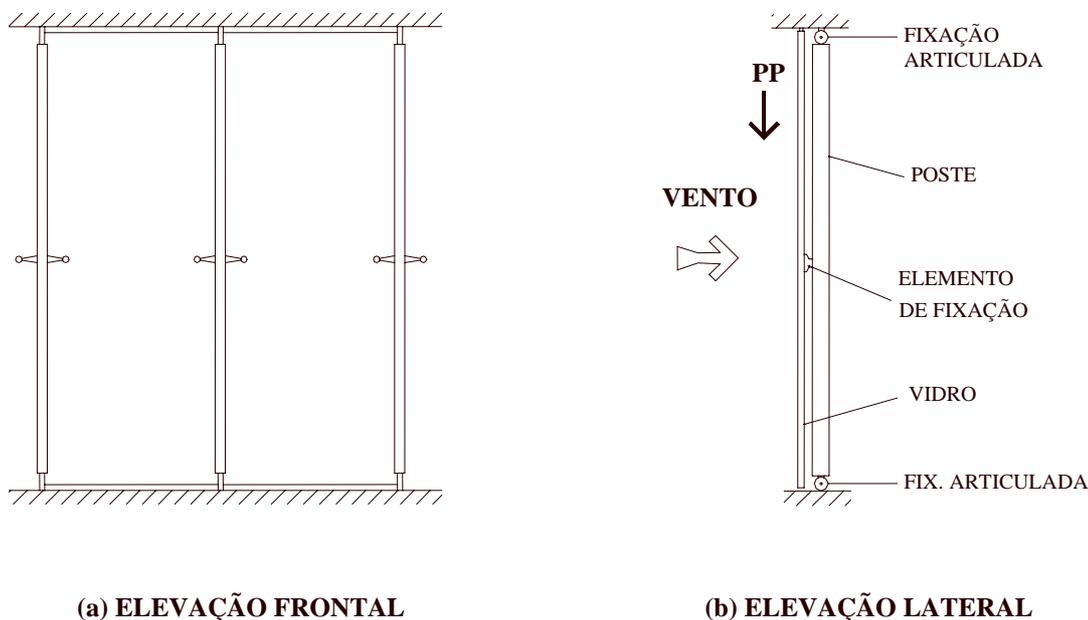


Figura 7.6-Esquema mostrando painel de vidro fixado com poste.

(a) Elevação frontal – (b) Elevação lateral.

Fonte: SCI (1997)



Figura 7.7- Vista do *hall* de entrada da Fábrica Flextronics em Sorocaba, SP.
 Fonte: BITTAR (2004, d)

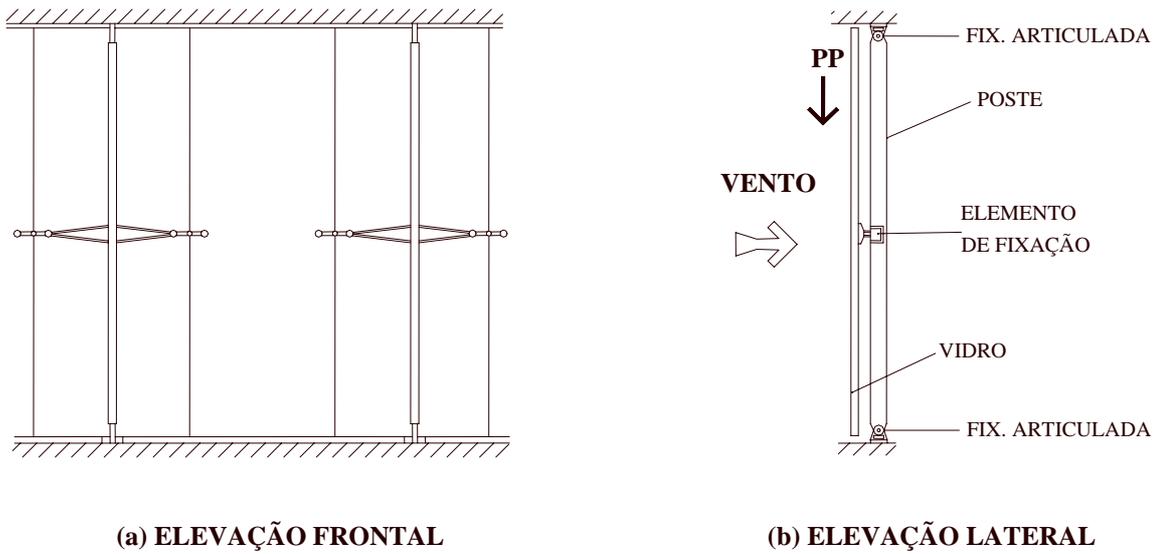


Figura 7.8-Esquema para painel de vidro fixado com poste com braço.
 (a) Elevação frontal – (b) Elevação lateral.
 Fonte: SCI (1997)

Os postes não necessitam vencer a altura total da fachada podendo ser também como o caso mostrado no esquema da Figura 7.9, em que eles são baixos, duplos e ainda recebem um reforço na sua base. É interessante notar que o esforço horizontal resultante da ação do vento é resistido, não somente pelo poste baixo, mas também pelas fixações existentes no piso e no teto.

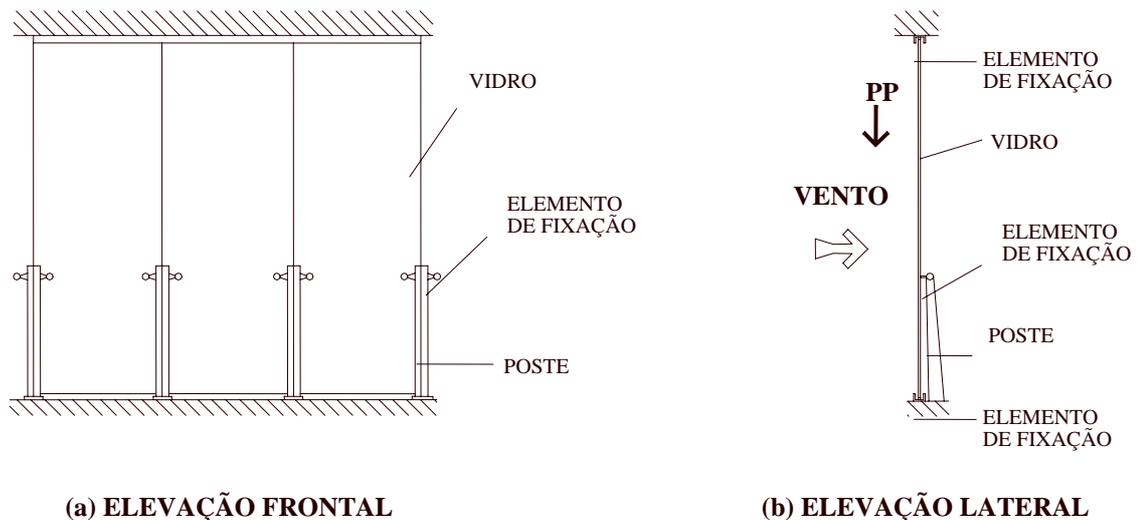


Figura 7.9-Esquema para painel de vidro com poste baixo reforçado.

(a) Elevação frontal – (b) Elevação lateral.

Fonte: SCI (1997)

Na Figura 7.10 vê-se um exemplo deste tipo de fixação, com poste baixo. Nota-se que o fechamento é feito pelo painel de vidro encaixilhado, fixado no piso e no teto e reforçado pela seqüência dos postes baixos, constituindo o sistema que resiste ao esforço do peso próprio do vidro e à ação do vento.



Figura 7.10-Fachada cortina com vidro encaixilhado, apoiada por poste, restaurante da Fábrica Flextronics em Sorocaba, SP.

Fonte: BITTAR (2004, e)

No caso de fachadas com altura acima de 4,00 m é necessário utilizar uma estrutura auxiliar composta por treliças, que podem ser triangulares, tipo vierendeel, arcos atirantados ou por aletas verticais. As ligações das treliças com a estrutura suporte podem ser rígidas, caso em que haverá transmissão de momento, ou articuladas evitando o momento.

As treliças triangulares normalmente são compostas por duas cordas e diagonais, geralmente em tubos de seção circular, sendo que o conjunto resiste aos esforços resultantes do peso próprio e da ação do vento (Figura 7.11).

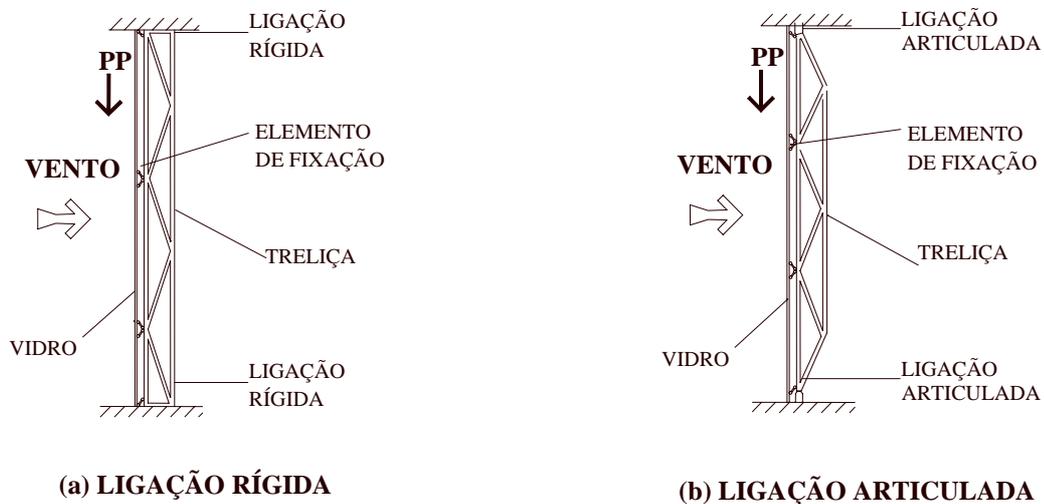


Figura 7.11- Esquema para fixação do painel de vidro com treliça triangular.

(a) Ligação rígida – (b) Ligação articulada.

Fonte: SCI (1997)

No esquema (a) da Figura 7.11, vê-se que a ligação de extremidade é rígida, com transmissão do momento e, portanto, requer reforço no dimensionamento do parafuso para que ele possa resistir a este esforço adicional. Já no esquema (b) da mesma figura vê-se a treliça com ligações de extremidades articuladas.

Já na treliça tipo vierendeel, mostrada na Figura 7.12, há transmissão do momento nas ligações das cordas com as barras horizontais. Neste caso, é mais comum usar tubos com seção retangular ou quadrada que facilitam a ligação e o cálculo estrutural deve contemplar a possibilidade de deformação local nestes pontos.

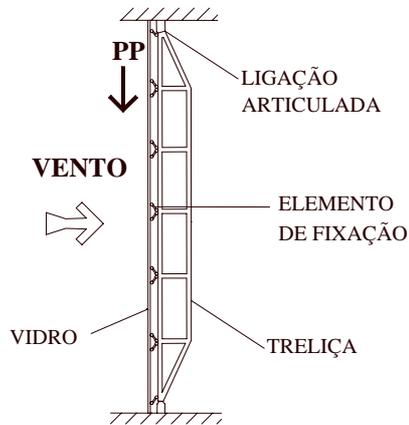


Figura 7.12-Fixação do painel de vidro com treliça vierendeel.
Fonte: SCI (1997)

O arco atirantado que se vê na Figura 7.13 é composto por uma barra vertical principal reforçada por barras horizontais e dois ou mais cabos e, normalmente, as ligações são articuladas. O elemento vertical está comprimido (resistindo ao peso próprio); as barras horizontais resistem aos esforços de compressão e os cabos resistem aos esforços de tração, em função da direção da incidência do vento no painel.

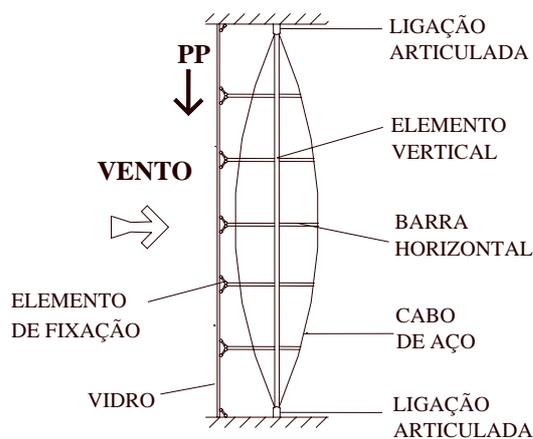


Figura 7.13- Corte mostrando o esquema de fixação do painel de vidro com arco atirantado.
Fonte: SCI (1997)

Na Figura 7.14 é mostrada uma alternativa em que é utilizada aleta vertical. As aletas verticais oferecem a mesma resistência das treliças triangulares ou vierendeel.

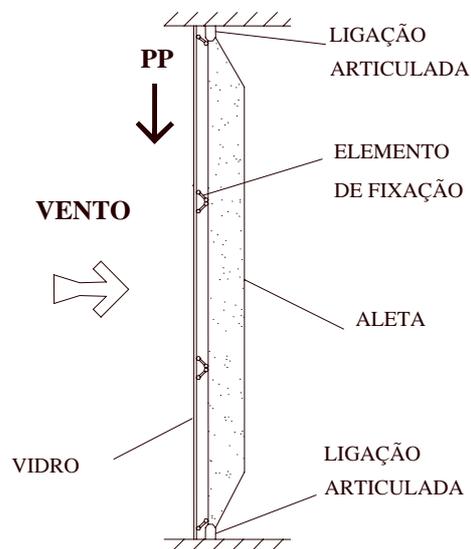
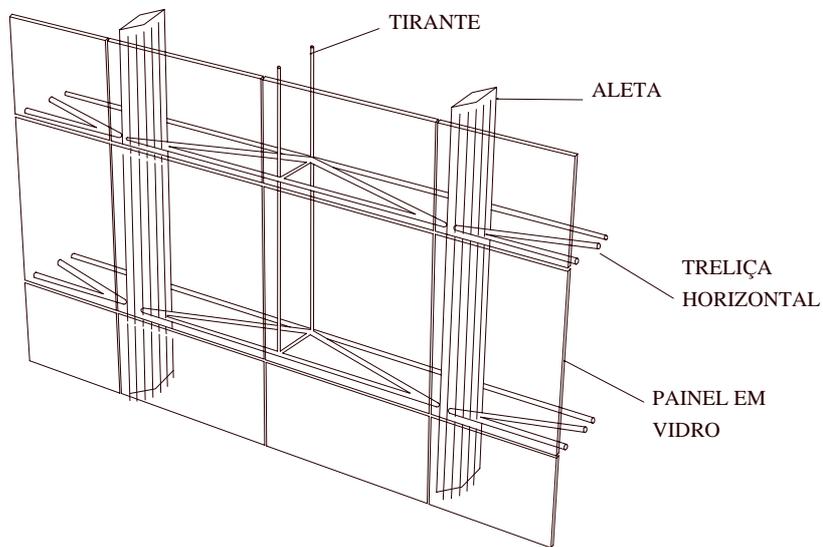


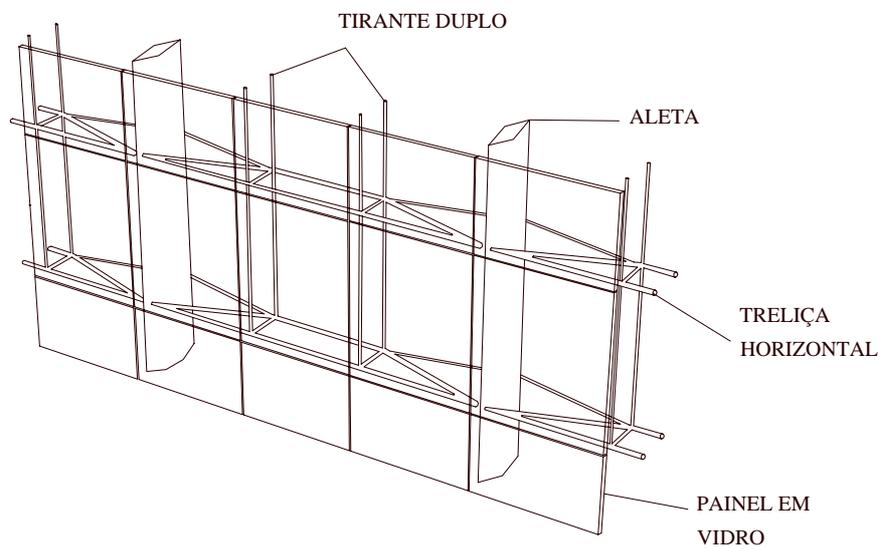
Figura 7.14: Fixação do painel de vidro com aleta.
Fonte: SCI (1997)

7.2.2.2 Fixação no topo

Quando se deseja diminuir o impacto visual causado pela estrutura auxiliar, pode ser projetado um sistema fixado no topo da edificação. Este sistema é composto por uma série de elementos atirantados ou pela fixação de um painel em outro imediatamente acima. Os casos mostrados na Figura 7.15 ilustram painéis atirantados em que as aletas são os elementos que resistem à carga vertical e as treliças horizontais resistem ao vento.



(a) TIRANTES SIMPLES



(b) TIRANTES DUPLOS

Figura 7.15- Perspectivas mostrando possibilidades de atirantamento do painel de vidro.
 (a) Tirantes simples – (b) Tirantes duplos.
 SCI (1997)

Na Figura 7.16 mostra-se a fachada com aletas atirantadas em uma viga treliçada superior e os braços que ajudam na resistência contra o vento.

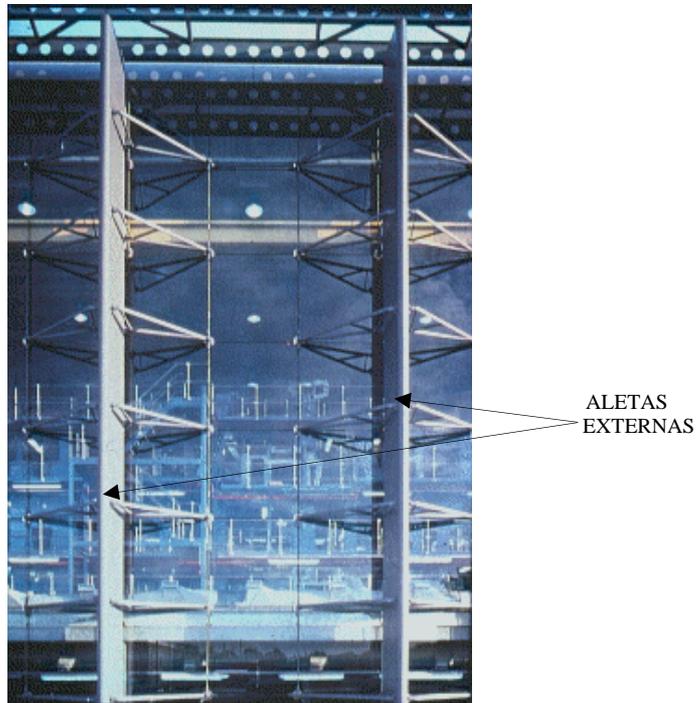


Figura 7.16: Fixação do painel de vidro com aleta atirantada, Financial Times, Londres.
Fonte: GRIMSAHW (2004)

Nos pontos de junção dos painéis pode haver elementos de conexão articulados para acomodar as tolerâncias, os movimentos relativos e os de dilatação, como a conexão mostrada na Figura 7.17.

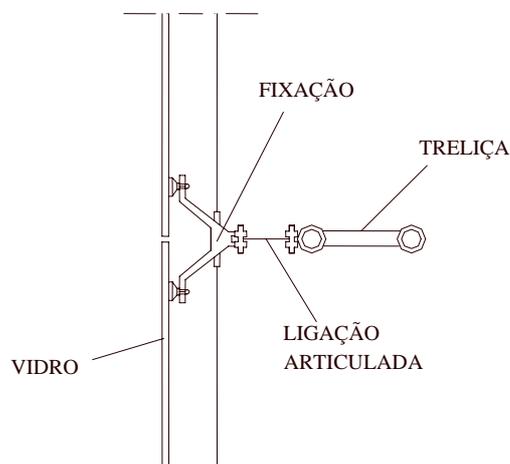


Figura 7.17-Elevação lateral mostrando uma ligação articulada.
Fonte: SCI (1997)

O edifício mostrado na Figura 7.18 possui na fachada principal um painel em vidro, suportado por treliças planas verticais, que por sua vez, são suportadas por duas treliças espaciais, uma superior e outra inferior.



Figura 7.18- Painel de vidro suspenso. Centro Britânico Brasileiro, SP.
Fonte: BITTAR (2004, f)

No detalhe da Figura 7.19 nota-se o sistema de fixação dos painéis de vidro, composto pelos parafusos, as fixações tipo aranhas, as treliças planas e a treliça espacial superior.



Figura 7.19- Detalhe do painel de vidro. Centro Britânico Brasileiro, SP.
Fonte: BITTAR (2004, g)

7.2.2. Elementos de fixação

Os elementos de fixação ou “ferragens” têm, como função inicial, transferir as cargas atuantes no painel (as cargas devido ao vento, cargas de manutenção e peso próprio) à estrutura auxiliar. Eles devem resistir também aos momentos e as forças internas devido aos efeitos térmicos.

No esquema da Figura 7.20 mostra-se como é feita a distribuição da carga no painel. A carga devido ao peso próprio (tanto nos painéis em planos verticais, como nos inclinados) é resistida por um conjunto de parafusos (superiores ou inferiores). Este conjunto deve ter folga para permitir a movimentação no sentido horizontal. Na outra extremidade do painel há outro conjunto de parafusos que resiste ao vento e para garantir que estes parafusos não recebam parte do peso próprio, seus furos são folgados permitindo a compensação das tolerâncias dimensionais e dos movimentos diferenciais entre os materiais.

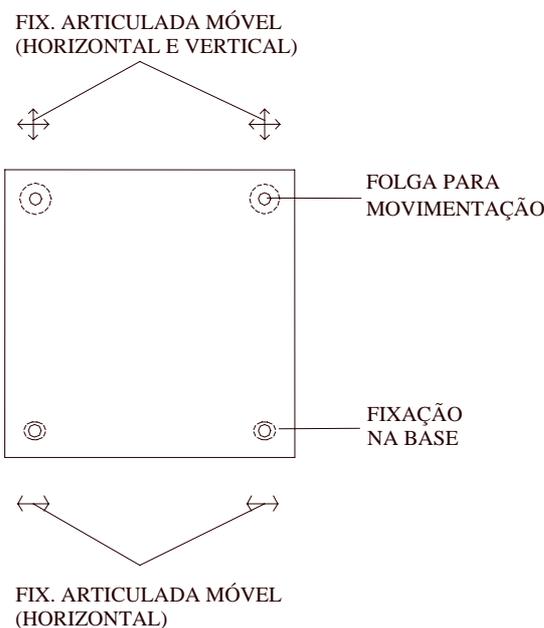


Figura 7.20- Elevação do painel mostrando os movimentos potenciais.
Fonte: SCI (1997)

As ferragens devem também resistir aos momentos decorrentes da deformação dos painéis e dos elementos estruturais dos edifícios. A forma mais simples de ferragem é um arranjo de cantoneiras soldadas diretamente no perfil auxiliar, como no detalhe (a) mostrado na Figura 7.21. Um outro tipo de arranjo pode ser como o detalhe (b), que é formado por quatro cantoneiras aparafusadas em uma barra soldada na estrutura auxiliar.

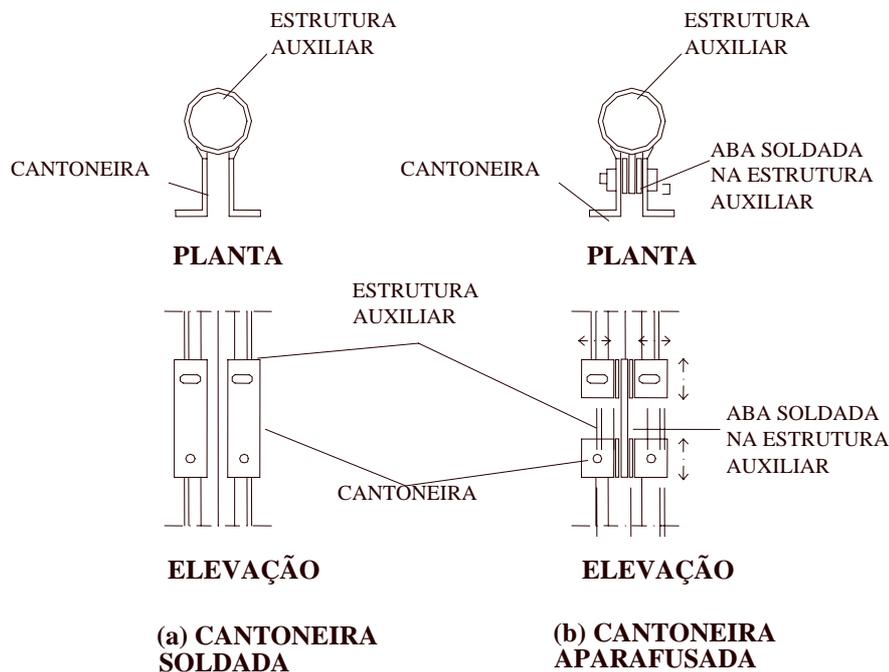


Figura 7.21: Arranjo de cantoneiras para fixação do painel.
 (a) Cantoneira soldada – (b) Cantoneira aparafusada.
 Fonte: SCI (1997)

Outra ferragem utilizada é a chamada aranha (*spider*) que é composta por uma estrutura suporte com um, dois, três ou quatro braços radiais fixados a partir de um centro, que sustenta o vidro fora do seu plano. A chapa de vidro é fixada na extremidade do braço pelos parafusos e o suporte a conecta a estrutura auxiliar. No exemplo mostrado na Figura 7.22 ilustra-se uma aranha com quatro braços e pode-se ver na elevação lateral (b) que a movimentação do painel e posicionamento vertical correto são garantidos pela rótula que fixa a aranha ao tubo auxiliar.

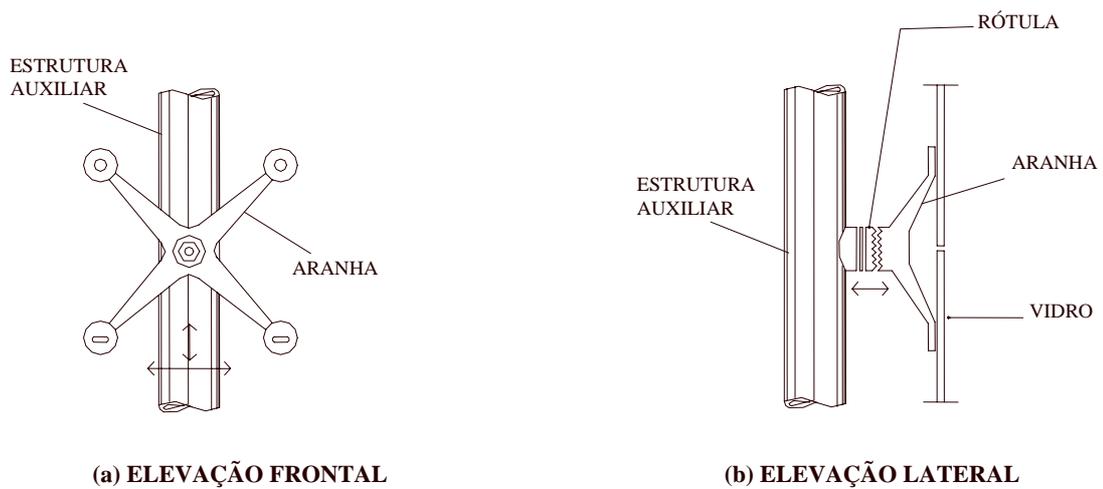


Figura 7.22- Fixação através de aranha: (a) Elev. Frontal – (b) Elev. Lateral.
Fonte: SCI (1997)

Na figura 7.23 é mostrado um esquema de aranha dupla fixada por uma aba soldada à estrutura auxiliar. As setas indicam os deslocamentos possíveis.

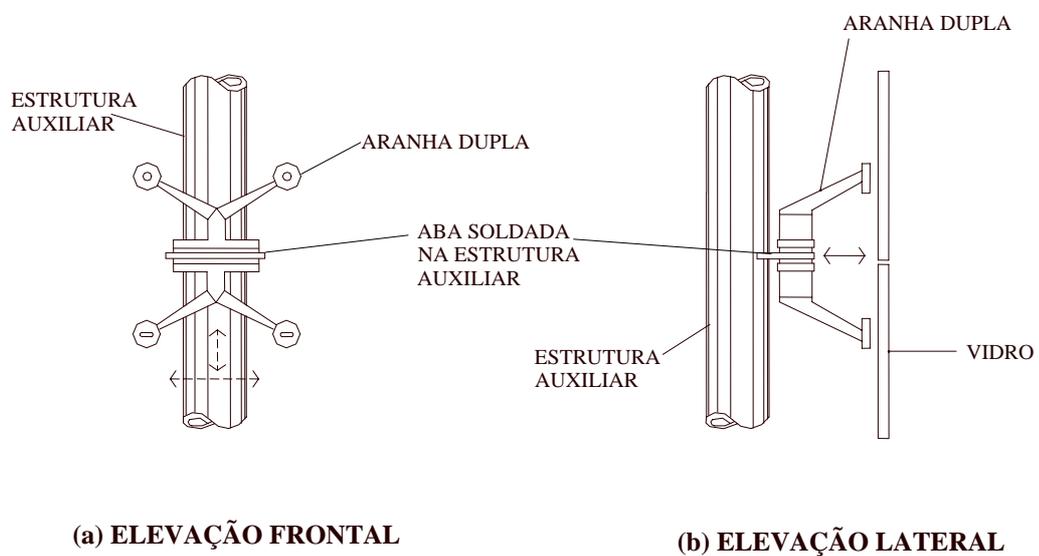


Figura 7.23- Fixação com aranha dupla: (a) Elev. Frontal – (b) Elev. Lateral.
Fonte SCI (1997)

Uma outra possibilidade é a fixação com braço e pino, que é uma variante do arranjo da aranha. A diferença é que neste caso o pino proporciona o deslizamento do parafuso nos dois planos, como se vê na figura 7.24.

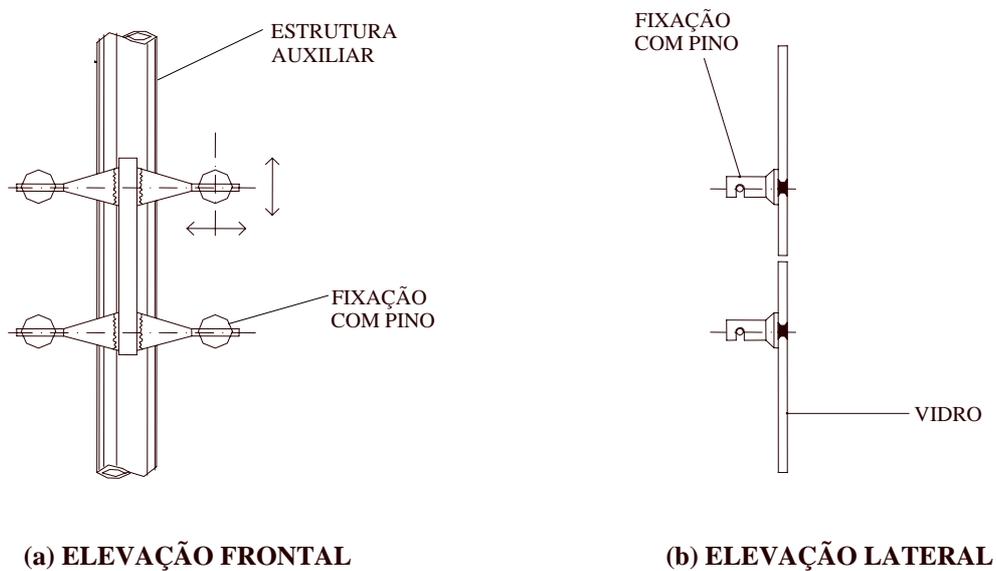


Figura 7.24- Fixação com pinos: (a) Elev. Frontal – (b) Elev. Lateral.
 Fonte: SCI (1997)

A fixação das aletas atirantadas também pode ser feita por um sistema similar ao mostrado na figura 7.25, em que a aleta é aparafusada em cantoneiras duplas, fixadas no teto. Cada cantoneira possui dois conjuntos de parafusos que distribuem os esforços e permitem a movimentação vertical. A movimentação horizontal é permitida pela folga.

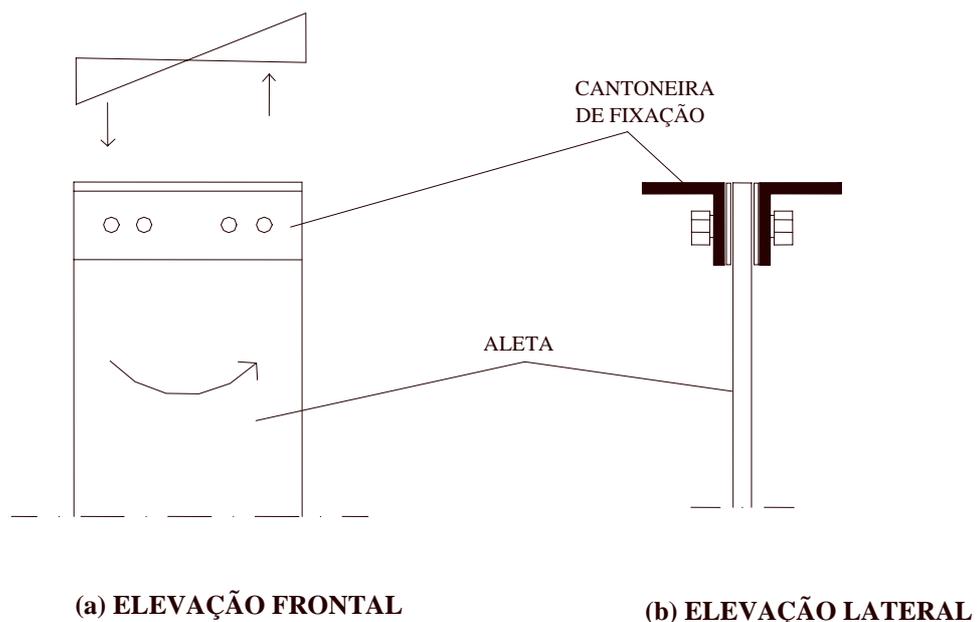


Figura 7.25- Fixação das aletas com cantoneiras: (a) Elev. Frontal – (b) Elev. Lateral.
 Fonte: SCI (1997)

7.2.3 Juntas e vedação

Como as chapas de vidro possuem um alto grau de precisão em sua produção, a tolerância de fabricação é pequena, podendo ser de no mínimo 2 mm. As fixações, que são obtidas pela união de elementos (aparafusados ou soldados) ou pela usinagem de peças especiais, não apresentam tal apuro na sua fabricação, sendo aconselhável tolerância de fabricação de 5 mm.

As juntas entre painéis são vedadas com silicone estrutural. O dimensionamento das juntas e o processo de vedação são definidos pelos fabricantes do silicone e do vidro, atendendo a um rigoroso controle. Segundo CARDOSO e FERREIRA (2004) o procedimento deve ser feito pelas etapas detalhadas a seguir:

- a) A primeira etapa consiste no dimensionamento da junta, que é feito pelo fabricante do silicone, calculada em função do tamanho da placa e necessita resistir aos carregamentos (peso próprio, vento);
- b) Após a definição da junta, deve ser feito um teste de resistência pelo fabricante do silicone, segundo a norma americana ASTM C 794:1993. Este teste é enviado ao cliente juntamente com a especificação e quantificação do material a ser empregado na vedação da juntas;
- c) A etapa seguinte é a aplicação do silicone, utilizando mão de obra especializada;
- d) Após a aplicação e a cura do silicone é feito outro teste, o pós-cura em 10% dos painéis. E, caso a verificação estiver atendendo a norma, os painéis são liberados para a colocação nas fachadas.

7.2.4 Recomendações para o projeto

Ao se projetar a fachada envidraçada, algumas considerações devem ser analisadas, como as listadas a seguir:

- a) Atentar para a orientação solar a que a fachada estará exposta e procurar evitar a sua utilização quando voltada para áreas com grande exposição solar. Na necessidade da utilização do vidro em uma fachada com grande incidência de radiação solar, há opções no mercado nacional que podem contribuir para o conforto térmico, como os vidros laminados refletivos e os vidros com controle de temperatura, mas que elevam

o custo da obra. A alternativa, que é a utilização do condicionamento mecânico do ar, também implica em elevação dos custos devido ao aumento no consumo de energia e também na manutenção do sistema;

- b) Os cuidados de manutenção e limpeza da fachada em vidro precisam ser considerados e previstos no seu detalhamento.

CAPITULO VIII

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao contrário do que se vê na cultura da construção brasileira, a construção racionalizada, com emprego de materiais industrializados e pré-fabricados necessita de um planejamento global, que começa com os projetos que devem ser detalhados e compatibilizados, continua com o planejamento da execução e a execução propriamente dita e finaliza com a análise de cada etapa, a fim de que haja a realimentação de todo o processo. A construção metálica requer detalhamento e precisão que demandam investigações desde a fase de projeto. Para tanto, durante a execução do seu projeto, o arquiteto necessita inteirar-se de todos os aspectos que devem ser contemplados na concepção, desenvolvimento, detalhamento e trabalhar em equipe com os outros profissionais envolvidos, que deixam de ser consultores e passam a ser parceiros, colaborando com as soluções a serem apresentadas nos projetos.

É fundamental que haja o trabalho conjunto entre o arquiteto e o calculista, para que a interface com a estrutura seja prevista: o comportamento estrutural, a movimentação da estrutura suporte, as possibilidades para solucionar as ligações. Essas questões precisam ser analisadas para que se possa chegar a um resultado em que a estrutura e a arquitetura se somem.

Outro aspecto importante é a definição, na fase inicial do projeto, dos demais subsistemas componentes da obra, como as instalações prediais, os fechamentos externos e internos e o sistema de esquadrias. Neste aspecto, é fundamental que seja prevista a adequação dos materiais a serem utilizados em cada caso e evitar o desperdício. Para a definição das fachadas é fundamental que se leve em conta a adequação do material, a sua utilização de forma racional através da modulação e de paginação, que vise aproveitamento de formas e evite cortes desnecessários. A junção dos materiais e as formas de garantir a estanqueidade do sistema é outro tema que necessita ser pensado e detalhado conjuntamente entre o arquiteto e os fabricantes e fornecedores dos sistemas de fechamento externo e esquadria. É fundamental também

que sejam pensados os mecanismos que possam resolver as dilatações térmicas dos materiais, como as juntas elásticas e os sistemas telescópicos. O estudo dos elementos de fixação é relevante, sobretudo durante o detalhamento, para evitar os problemas de corrosão, facilitar a manutenção e propor soluções que contemplem a proteção contra incêndio.

Na questão específica do tema tratado nesta dissertação verificou-se, com relação ao subsistema de fechamento externo, um aumento constante na oferta de produtos. Alguns deles, como o caso dos painéis de concreto e dos painéis GRC, apresentam tecnologias que, inicialmente, foram simplesmente importadas, e que hoje já se encontram amparadas por estudos técnicos desenvolvidos nas Universidades e Institutos de Pesquisas nacionais. Estes estudos são importantes para adequá-las ao nosso clima, onde o calor e a umidade, muitas vezes, interferem na durabilidade e no desempenho termo-acústico dos painéis. Por outro lado, ainda se vê a importação de tecnologias sem o devido cuidado de estudá-las e adaptá-las para a nossa realidade. O que se observa é que muitas delas são submetidas somente a avaliações técnicas para homologação dos produtos no nosso mercado. Portanto, é necessário que a transferência de tecnologia seja revista e que seja acompanhada de pesquisas que contribuam para a adequação às nossas condições e de investimento na formação de mão de obra que possa empregá-la corretamente.

Outro campo, que requer pesquisa e treinamento de mão de obra, é o relativo aos materiais empregados na vedação das juntas, muitos deles desenvolvidos por empresas multinacionais e aqui aplicados sem o devido cuidado.

Com relação aos perfis tubulares, foi verificado que sua utilização como estrutura de edifícios ainda é muito limitada e normalmente eles são utilizados como colunas ou em treliças planas e espaciais. Esta limitação se justifica por diversos fatores, alguns deles identificados na elaboração deste trabalho, e listados a seguir:

- a) O primeiro é com relação à oferta dos perfis tubulares sem costura, que até bem pouco tempo era muito restrita, existindo somente os de seção circular. Para a execução das vigas e pilares com seções quadradas e retangulares era necessária

a produção dos perfis, a partir da junção dos perfis existentes ou da dobradura de chapas;

- b) Os perfis tubulares requerem mais trabalho na concepção das ligações, e este aspecto tem sido pouco desenvolvido nos setores industrial e técnico, no Brasil;
- c) A união entre os perfis também esbarra na limitação de opções para executar a ligação, estando disponível somente o processo da soldagem. Ainda não existem no mercado brasileiro parafusos apropriados para os perfis tubulares, como os parafusos de expansão e os auto-atarraxantes encontrados no mercado externo.

Neste trabalho, procurou-se também fornecer informações relativas às formas do caminhamento das cargas, a partir dos painéis de fechamentos para a estrutura propriamente dita. Deste modo, e contando também com os recursos modernos dos programas computacionais, os calculistas poderão oferecer dimensionamentos mais realistas, levando-se à maior racionalização, segurança e economia dos materiais.

A partir da identificação destes aspectos, seria interessante que novas investigações pudessem ser feitas, visando o aprofundamento e amadurecimento de tecnologias que contribuam para o emprego da construção metálica e, especificamente, dos perfis tubulares, sugerindo-se algumas linhas de pesquisa:

- a) Continuidade na busca de novos materiais e tecnologias para fechamentos externos dos edifícios, que sejam mais indicadas às nossas condições ambientais e sócio-culturais;
- b) Aperfeiçoamento dos elementos de fixação fornecidos por alguns fabricantes de painéis, como o de concreto celular autoclavado, para que essas ligações possam absorver os movimentos relativos entre os painéis e a estrutura suporte dos edifícios.
- c) Estudos das ligações entre os diversos tipos de perfis tubulares, sobretudo daquelas que possam auxiliar no emprego dos novos perfis sem costura, com seções quadrada e retangular;
- d) Desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a produção de parafusos apropriados para os perfis tubulares no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Projeto, execução e aplicação de vidros na construção civil**: NBR 7 199. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **Projeto e execução de estruturas de aço na construção civil**: NBR 8 800. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **Divisórias leves internas moduladas**: NBR 11 865. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica**: NBR 14 081. Rio de Janeiro, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTINGS AND MATERIALS – ASTM. **Test Method for Adhesion-in-Peel of Elastomeric Joint Sealants**: ASTM C 794, Philadelphia, 1993.

ARCHIIFORM: banco de dados. Disponível em: <<http://www.archinform.de>>. Acesso em: 7 jul. 2004.

BLANC, A., Mc EVOY, M., PLANK, R. **Architecture and construction in steel**. London: The Steel Construction Institute: Chapman and Hall, 1993. 619p.

BITTAR, Paulo. **Fábrica Valeo**, Campinas, SP, 2004, a.1 fotografia, cromo.

_____. **Painel metálico perfilado, Fábrica Valeo**, SP, 2004, b.1 fotografia, cromo.

_____. **Painel de vedação em vidro, Fábrica Açotubo**, Guarulhos, SP, 2004, c.1 fotografia, cromo.

_____. **Vista do Hall de entrada da Fábrica Fextronics**, Sorocaba, SP. 2004, d. 1 fotografia, cromo.

_____. **Fachada cortina com vidro encaixilhado, restaurante da Fábrica Flextronics**, Sorocaba, Sp. 2004, e. 1 fotografia, cromo.

_____. **Painel com vidro suspenso**, Centro Britânico Brasileiro, São Paulo. 2004, f. 1 fotografia, cromo.

_____. **Detalhe do painel de vidro**, Centro Britânico Brasileiro, São Paulo. 2004, g. 1 fotografia, cromo.

_____. **Detalhe da fixação articulada do pilar**. Fábrica Valeo, Campinas, SP. 2004, h. 1 fotografia, cromo.

_____. **Detalhe da ligação entre a viga “T” e o pilar**. Fábrica Açotubo, Guarulhos, SP. 2004, i., 1 fotografia, cromo.

BRUNA, Paulo J.V. **Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento**. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 1976. 312p.

CARDOSO, Antônio B., FERREIRA, Acary P.F. **Aderência do Silicone aos substratos**. In: Esquadria -Suplemento técnico, Revista Finestra, n° 37, 2004.

CENTRO TÉCNICO DE ARTES CÊNICAS/ Teatros brasileiros: banco de dados. Disponível em: < <http://www.ctac.gov.br> >. Acesso em: 8jul. 2004.

DIAS, L. A. de Mattos. **Edificações de Aço no Brasil**. São Paulo: Zigurate Editora, 1993. 203p.

DIAS, L. A. de Mattos. **Estrutura de Aço: conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo: Zigurate Editora, 1997.159p.

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

DREXLER, Arthur. **Ludwig Mies van der Rhoe – The Masters of World Architecture Series**, New York: George Braziller Inc., 1960. 127p.

EEKOUT, Mick. **Tubular Structures in Architecture**, TU Delft: CIDECT,1996. 125p.

FERRAZ, Marcelo Carvalho. **João Filgueiras Lima - Lelé**. Instituto Lina Bo e P. M. Bardi. São Paulo: 2000. 263p.

FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO/ Pesquisa escolar: banco de dados. Disponível em:
< <http://www.fundaj.gov.br> >. Acesso em: 8jul. 2004.

ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO: banco de dados preparado por Ralph Mennucci Giesbrecht. Disponível em:< <http://www.estacoesferroviarias.com.br>>. Acesso em: 29 fev. 2004.

GREAT BUILDINGS ON LINE/Great Buildings Collection: banco de dados. Disponível em:
< <http://www.greatbuildings.com> >. Acesso em: 20 jul. 2003.

GRIMSHAW, Nicholas & Partners: banco de dados. Disponível em: <<http://www.grimshaw-architects.com>>. Acesso em: 7jul. 2004.

HART, F., HENN, W., SONTAG, H. **El Atlas de la Construcción Metálica**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1976. 371p.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL - IPHAN - 1ª Secretaria Regional. **Mercado de Manaus, vista da fachada do pavilhão central**. 2004, a.1 fotografia digital.

_____. **Mercado de Manaus, detalhe do arco em ferro fundido**, 2004, b.1 fotografia digital.

_____. **Mercado de Manaus, vista interna**, 2004,c.1 fotografia digital.

_____. **Mercado de Manaus: pavilhão lateral**, 2004,d.1 fotografia digital.

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE – IIST. **Inovações em aço. Construções residenciais em todo o mundo**. Munique: Editor: R.J.Smith, 1996. 35 p.

FRAMPTON, Kenneth. **História Crítica da Arquitetura Moderna**. São Paulo: Editora Martins Fontes, 1997. 470p.

GIEDION, Siegfried. **Espaço, Tempo y Arquitetura (el futuro de uma nueva tradición)**. Madrid: Editorial Possat, 1978. 825p. (Versão espanhola de Izidro Puig Boada).

KRÜGER, Paulo G.V. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica**. 2000. 112p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Ouro Preto, 2000.

KÜHL, Beatriz M. **Arquitetura do ferro e arquitetura ferroviária em São Paulo: reflexões sobre a sua preservação**. São Paulo: Ateliê Editorial, 1998. 435p.

LAVILLE, C., DIONNE, J. **A Construção do Saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul Ltda. / Ed. UFMG, 1998. 340p. (Adapt. Lana Mara de Castro Siman).

LYALL, Sutherland. **Masters of Structure: Engineering today's Innovative Buildings**. London: Lawrence King Publishing Ltd, 2002. 224p.

MEYER, Karl Fritz. **Estruturas Metálicas: estruturas com tubos: projeto e introdução ao cálculo**. Belo Horizonte: KM Engenharia Ltda, 2002. 224p.

OLIVEIRA, Luciana A. de. **Tecnologia de Painéis Pré-fabricados Arquitetônicos de Concreto para Emprego em Fachadas de Edifícios**. 2002. 175p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PBS/ Building Big: banco de dados. Disponível em: <<http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig>>. Acesso em: 10 ago. 2004.

RAVAZZANI C., FAGNANI J.P. **Curitiba: a capital ecológica**. Curitiba: Natugraf Ltda., 1999. 56p.

PEREIRA, Tatiana Camargo Alves. **Avaliação do Desempenho dos Sistemas Racionalizados de Vedação para Edifícios com Estruturas Metálicas**. 2001, 128p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

PRECAST/ PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE - PCI. **Recommended Practice for Glassfibre Reinforced Concrete Panels**. Chicago: Precast/Prestressed Concrete Institute, 1994. 99p. (Revised Edition).

RAMOS, Fernando. **Painéis de Vedação e de Revestimento em Aço Inoxidável**. 1997, 162p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. Ouro Preto, 1997.

RÜTER, Ewald. **Bauen mit stahl** – Kreative Lösungen praktisch umgesetzt. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 259p.

SALES, Urânia Costa. **Mapeamento dos Problemas Gerados na Associação entre Sistemas de Vedação e Estrutura Metálica e Caracterização Acústica e Vibratória de Painéis de Vedação**. 2001, 249p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. Ouro Preto, 2001.

SANTOS, Paulo F. **A Arquitetura da Sociedade Industrial**. Belo Horizonte: Editora da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, 1961. 186p.

SHEPPARD, Charles. **Railway Stations: Masterpiece of Architecture**, New York: Smithmark Publishers, 1996. 79p.

SILVA, Maristela G. da SILVA, Vanessa G. da. **Painéis de Vedação**. In: Bibliografia Técnica para o Desenvolvimento da Construção em Aço, Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas e Mistas – NEXEM, 2003. 59p.

SILVA, V.G. **Diretrizes para o projeto de painéis de fachada em cimento reforçado com fibras de vidro**. 1998, 145p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

SILVA, Geraldo G da. **Arquitetura do Ferro no Brasil**. São Paulo: Nobel, 1986. 249p.

THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE – SCI. **Curtain Wall Connections to Steel Frames**. Berkshire: The Steel Construction Institute, 1992. 72p.

THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE – SCI. **Steel Supported Glazing Systems** (SCI Publication 193). Berkshire: The Steel Construction Institute, 1997. 74p.

VITRUVIO/ Architects/ Masters: banco de dados. Disponível em: <<http://www.vitruvio.ch>>. Acesso em: 22 jun. 2003, a.

VITRUVIO/ Architects/ Masters: Images of Subway Pavilion, Vienna. Banco de imagens preparado por Mary Ann Sullivan. Disponível em: <<http://vitruvio.ch>>. Acesso em: 20 jul.2003, b.

ANEXO I

LIGAÇÃO DOS PERFIS TUBULARES

Durante este estudo foi verificado que o fato dos perfis tubulares serem pouco utilizados se deve, em parte, da falta de pesquisa sobre as possibilidades de ligação. O tema é complexo e envolve vários aspectos como a facilidade da execução, a manutenção, as questões estéticas e, sobretudo, o fato de que as ligações devam atender aos requisitos exigidos pelo cálculo estrutural. Portanto, este anexo é dedicado às ligações, no sentido de contribuir com o tema, através da compilação de informações coletadas em visitas às obras, catálogos e *sites* dos fabricantes de perfis e dos Institutos de Pesquisas. É importante ressaltar que os exemplos apresentados aqui não foram submetidos às análises técnicas e visam somente ilustrar alguns aspectos da montagem e ampliar as possibilidades de ligação entre e os perfis.

Apoio dos pilares

Nas imagens da Figura A.1, vê-se um exemplo de fixação de um pilar tubular de seção circular através da ligação articulada.



(a) Vista lateral. Fábrica Valeo.



(b) Detalhe da base do

pilar.

Figura A.1 – Detalhe de fixação articulada do pilar e placa de base. Fábrica Valeo.

Fonte: BITTAR (2004, h)

Outra forma de se fazer a fixação é através da ligação rígida, na qual o pilar é soldado na placa de base e esta é aparafusada e fixada com *grout* ao bloco da fundação (em concreto) como mostram os desenhos da Figura A.2.

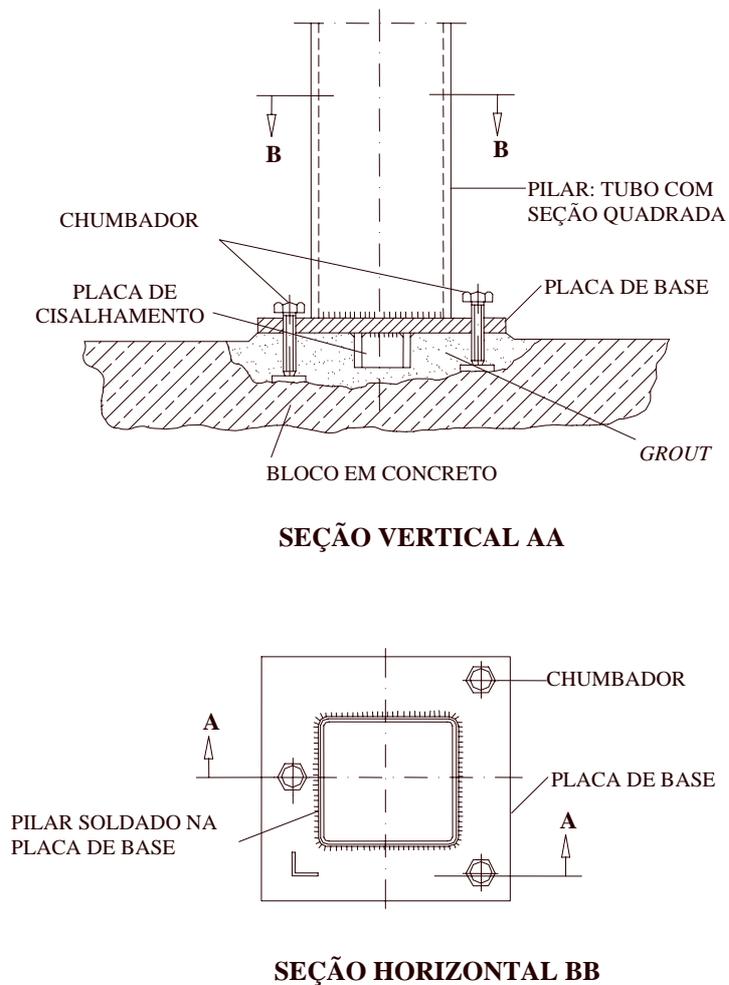


Figura A.2 – Detalhe de fixação rígida do pilar e placa de base.
Fonte: RÜTER (1997)

Nas fotos mostradas nas Figuras A.3 e A.4, é possível ver a fixação da placa de base no bloco de concreto antes da colocação do *grout* e o processo concluído.



Figura A.3 – Detalhe de fixação da placa de base, durante a colocação do *grout*.
Fonte: Vallourec & Mannesmann Tubes



Figura A.4 – Detalhe do assentamento da coluna após a colocação e endurecimento do *grout*.
Fonte: Vallourec & Mannesmann Tubes

Extensão do pilar

A extensão de um pilar tubular de seção circular pode ser feita de várias maneiras, sendo uma delas a ligação através do aparafusamento de dois flanges, como os desenhos mostrados na Figura A.5.

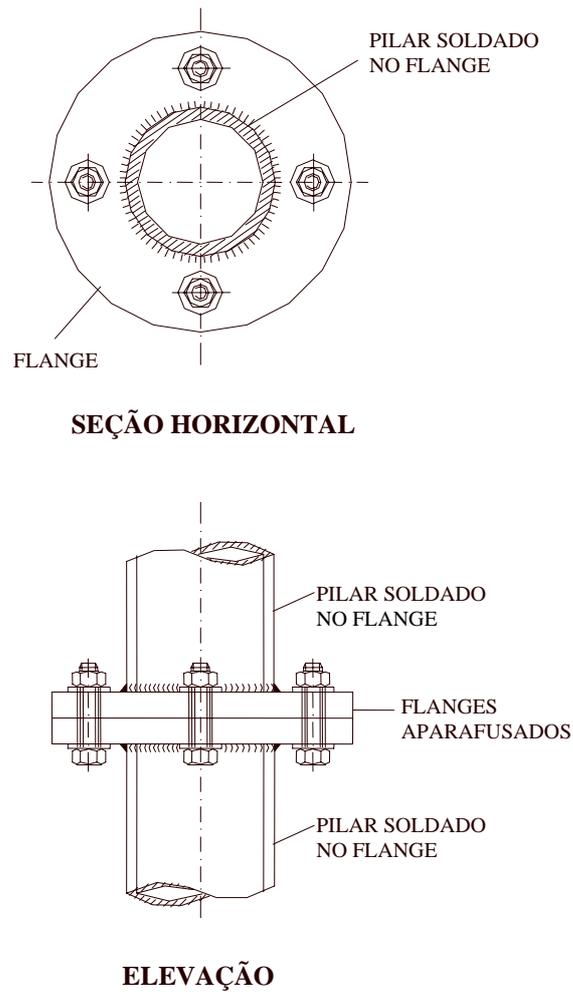


Figura A.5 – Detalhe mostrando a extensão do pilar através da ligação flangeada.

Fonte: RÜTER (1997)

Ligação entre vigas e pilares.

As ligações entre vigas e pilares tubulares de seção circular podem ser feitas de várias maneiras, e a seguir serão vistas algumas destas possibilidades. O caso mais comum de ligação é a que é feita através de chapa soldada ao pilar como a mostrada no esquema da Figura A.6. Essa é a ligação mais utilizada para a viga com perfil “I”, cuja alma é aparafusada na chapa de ligação, como mostrado na Figura A.7.

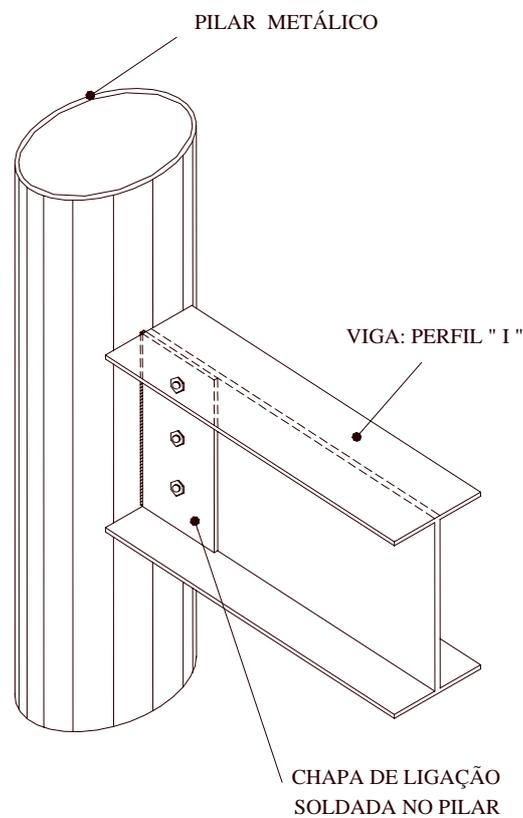


Figura A.6– Detalhe da ligação entre a viga “I” e o pilar.

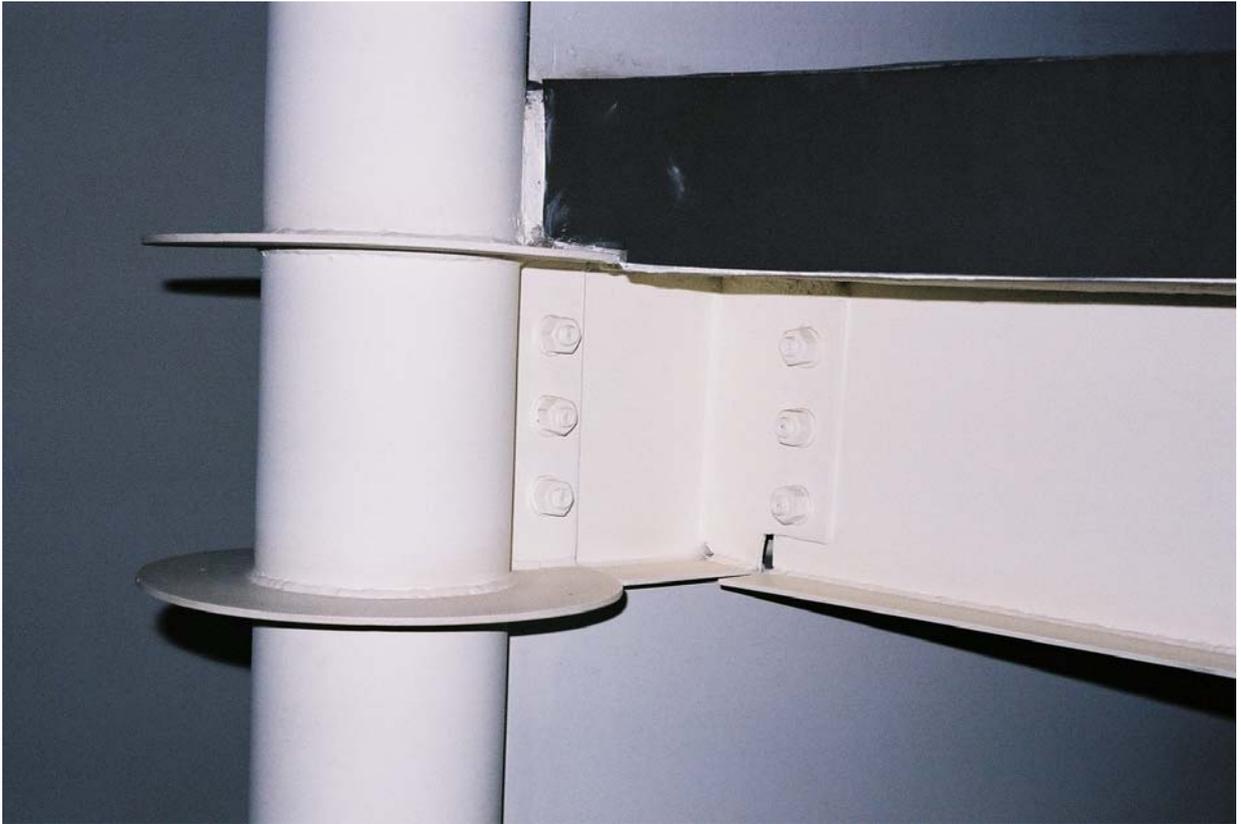


Figura A.7– Detalhe da ligação entre a viga “I” e o pilar. Açotubo, São Paulo.

Fonte: BITTAR (2004, i)

Na Figura A.8 está detalhada outra possibilidade para a ligação da viga “I” ao pilar metálico de seção circular, quando esse não possui diâmetro muito grande. Neste caso pode ser utilizada uma chapa de ligação contínua, que trespassa o pilar e na qual são aparafusadas as almas.

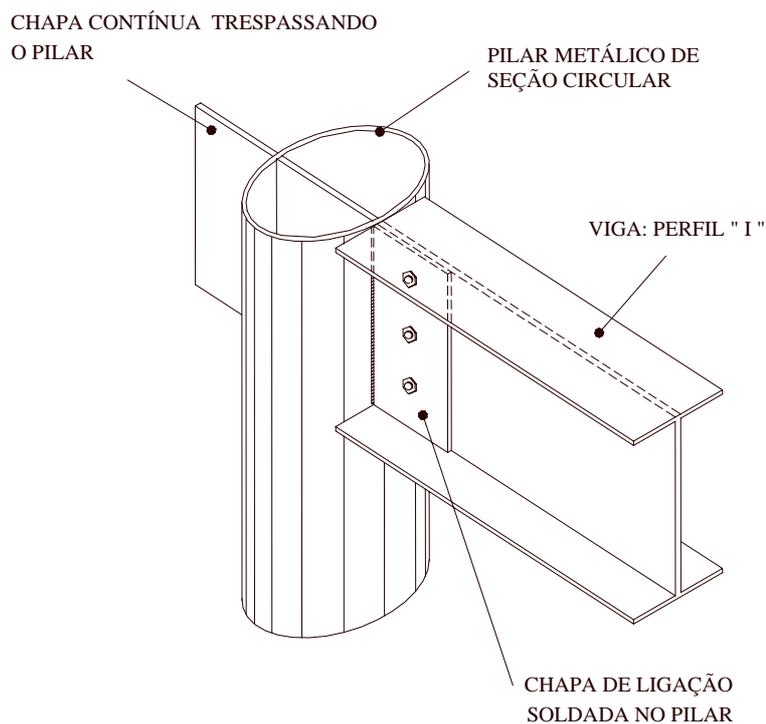


Figura A.8 – Detalhe da ligação entre a viga “I” e o pilar através de chapa contínua.

Nas Figuras A.9 e A.10 mostram-se possibilidades de junção de vigas “I” com alturas diferentes com os pilares. Na Figura A.9 observa-se que a junção é constituída por um arranjo flangeado ao pilar inferior. Este arranjo é formado pelo pilar tubular de seção circular, em que são soldadas partes de perfis “I” e as estas partes são aparafusadas as outras vigas, de perfil “I”. Na Figura A.10, para receber as vigas “I” com alturas diferentes, uma delas é seccionada e abas enrijecidas são soldadas ao pilar, para funcionar como consoles.

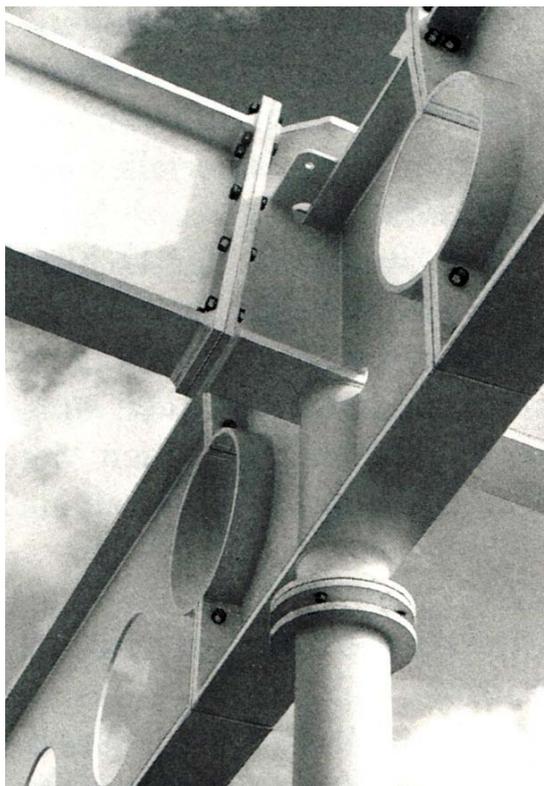


Figura A.9- Detalhe de ligação do pilar e vigas “I” com alturas diferentes.
Fonte: RÜTER (1997)



Figura A.10- Detalhe da ligação entre o pilar e vigas “I” apoiadas em console.
Fonte: IISI (1996)

Quanto à ligação de uma viga tubular de seção retangular em um pilar tubular de seção circular, uma possibilidade é a do tipo mostrada na Figura A.11, em que a viga é fechada no topo e aí é soldada uma aba que será aparafusada na chapa de ligação soldada na coluna, formando uma ligação articulada.

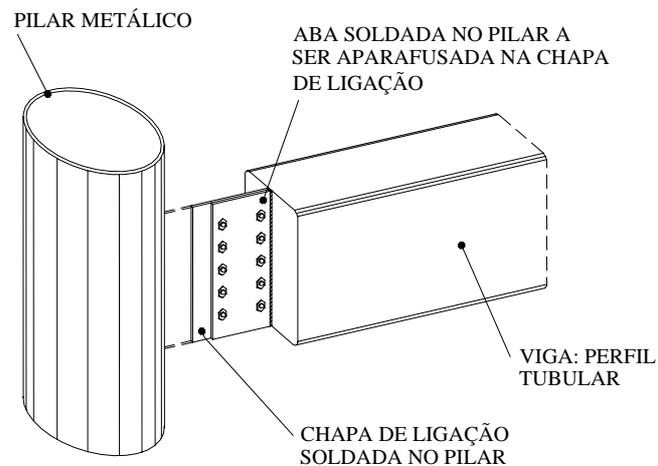


Figura A.11- Detalhe da ligação entre o pilar tubular de seção circular e a viga tubular de seção retangular.

A seguir, é mostrada uma seqüência de fotos retratando vigas compostas, semelhantes à de seção transversal “I”, porém, constituídas por dois tubos, comparados às mesas dos perfis “I”, ligados pela alma, em chapa metálica. No exemplo da Figura A.12 mostra-se a ligação articulada, em que somente as almas são unidas, usando o recurso do aparafusamento na chapa de ligação

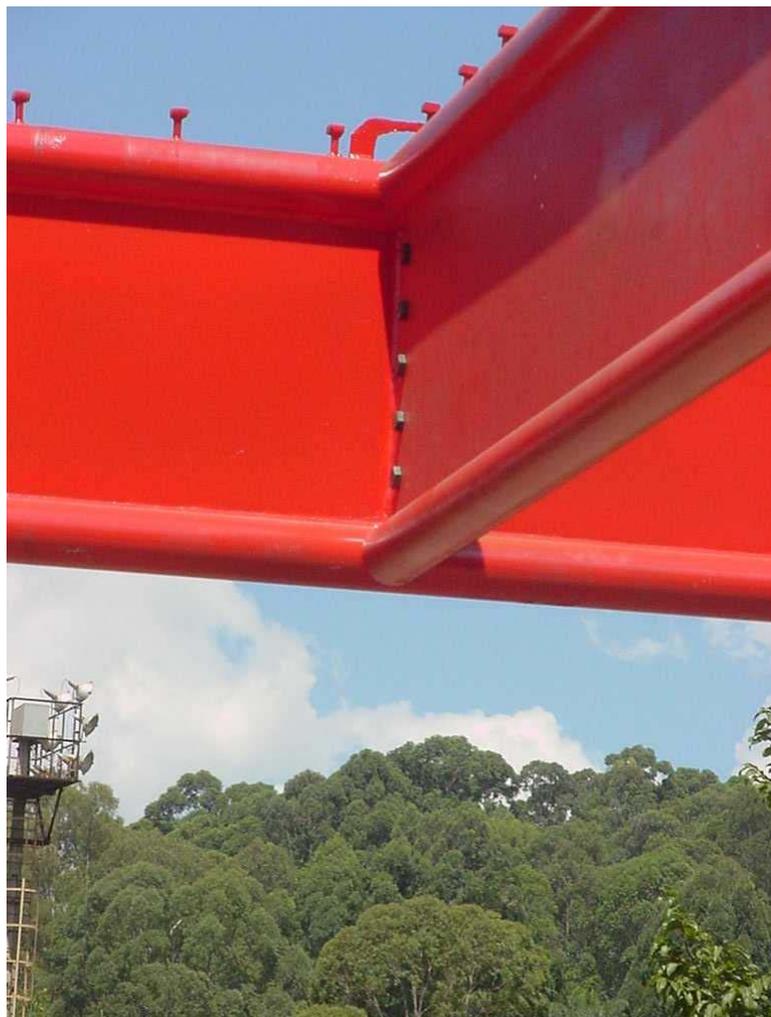


Figura A.12- Detalhe da ligação articulada nas vigas de seção composta.
Fonte: Vallourec & Mannesmann Tubes

Ns fotos mostradas nas Figuras A.13 e A.14 notam-se ligações de vigas compostas com pilares tubulares circulares, porém nestes casos, a ligação é rígida e é constituída pela união das almas por meio da chapa e da união das “mesas” por meio do aparafusamento dos flanges soldados a elas e nas abas do pilar.



Figura A.13- Detalhe da ligação rígida entre vigas compostas e pilar tubular com seção circular.

Fonte: Vallourec & Mannesmann Tubes



Figura A.14- Detalhe da ligação rígida entre viga composta terminal e pilar tubular circular.

Fonte: Vallourec & Mannesmann Tubes

Parafusos apropriados para perfis tubulares

Outro problema detectado no desenvolvimento da pesquisa é a inexistência, no mercado brasileiro, de parafusos apropriados para os perfis tubulares. Isso faz com que a fixação dos painéis na estrutura suporte dos edifícios seja mais complexa e dificulta as ligações em que a movimentação é necessária. Até agora, ligações deste tipo necessitam de arranjos que envolvem a junção de cantoneiras duplas ou cantoneiras e chapas, e exigem que um destes elementos seja soldado ao perfil tubular e, com isto, permitir que o outro seja aparafusado neste. Seria interessante que a indústria nacional se empenhasse na pesquisa de produtos que pudessem preencher esta lacuna, tais como os parafusos mostrados na Figura A.15, disponíveis no mercado internacional.

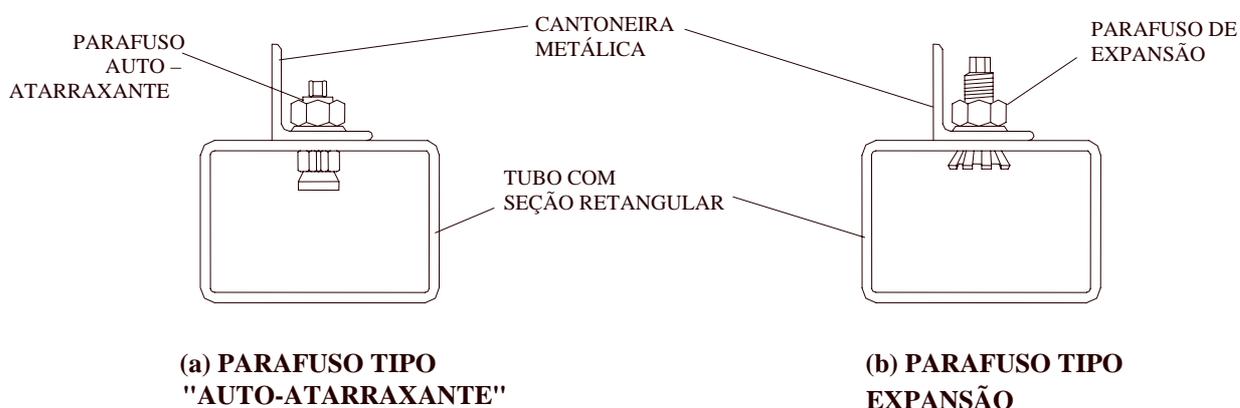


Figura A.15- Detalhe da fixação de cantoneiras aparafusadas nos perfis tubulares.
Fonte: RÜTER (1997)

ANEXO II

RELAÇÃO DOS FORNECEDORES DOS PERFIS TUBULARES ESTRUTURAIS

Tubos com costura:

Apolo- tubos e equipamentos: <http://www.apotubos.com.br>

Confab Industrial S/A: <http://www.confab.com.br>

Perfipar: <http://www.perfipar.com.br>

Tuper: <http://www.tuper.com.br>

Tubos sem costura:

Vallourec & Mannesmann Tubes: <http://www.vmtubes.com.br>

Tubos em aço inoxidável:

Inox tubos: <http://inoxtubos.com.br>

Zamproгна: <http://www.zamproгна.com.br>

RELAÇÃO DE FORNECEDORES DE PAINÉIS CONSULTADOS:

Painéis em concreto:

Münte : <http://www.münte.com.br>

Precon: <http://www.precon.com.br>

Premo: <http://www.premo.com.br>

Reago: <http://www.reago.com.br>

Stamp: <http://www.stampfa.com.br>

Painel GRC:

Pavi do Brasil: <http://www.pavidobrasil.com.br>

Painel em concreto celular autoclavado:

Sical: <http://www.sical.ind.br>

Siporex: <http://www.siporex.com.br>

Placa Cimentícia:

Brasilit: <http://www.brasilit.com.br>

Superboard: <http://www.flasan.com.br>

Useplac: <http://www.useplac.com.br>

Painéis metálicos

Painéis perfilados em chapa galvanizada

Haironville: <http://www.haironville.com.br>

Hunter Douglas: <http://www.hunterdouglas.com.br>

Una-Clad: <http://www.una-clad.com.br>

Painéis perfilados em aço inoxidável:

Acesita: <http://acesita.com.br>

Painéis compósitos em alumínio:

Alcan: <http://www.alcancomposites.com.br>

Alcoa: <http://www.alcoa.com>.

Fachadas em vidro

Pilkington: <http://www.pilkington.com.br>

Saint-Gobain: <http://www.saint-gobain.com.br>

Udinese: <http://www.udinese.com.br>

RELAÇÃO DE FORNECEDORES DE SILICONES

Dow Corning: <http://www.dowcorning.com>

Denver: <http://www.denver.com.br>

Rhodia: <http://www.rhodia.com.br>

Wacker Química do Brasil: <http://www.wacker.com.br>

FORNECEDOR DE FITA ANTICORROSIVA

3M Brasil: <http://www.3m.com.br>

ISOLAMENTO EM FIBRA CERÂMICA

Morganite Brasil Ltda: <http://www.thermalceramics.com>.

(Representante no Brasil: Reffibra: <http://www.reffibra.com.br>)

ISOLAMENTO EM LÃ DE ROCHA E LÃ DE VIDRO

Saint-Gobain: <http://www.saint-gobain.com.br>

Rockfibras: <http://www.rockfibras.com.br>

FORNECEDOR DE PARAFUSOS PARA PERFIS TUBULARES

Lindapter: <http://www.lindapter.com>

ANEXO III

Neste anexo estão os roteiros utilizados para as entrevistas feitas com os profissionais e os fabricantes de painéis.

ROTEIRO DE ENTREVISTA – ARQUITETOS

Nome:

Data:

- 1) Você já projetou edifícios com estrutura metálica com seção tubular?
- 2) Você acha que existe alguma vantagem na utilização destes perfis? (p. ex. vantagens estéticas, execução, etc).
- 3) E desvantagens? (p. ex. do ponto de vista estético, de execução e de manutenção).
- 4) Como foi pensada a ligação do perfil tubular utilizado nos pilares com as vigas? Que tipo de viga foi utilizado? O detalhe da ligação fez parte do detalhamento da arquitetura?
- 5) Que tipo de fechamento vertical externo foi utilizado?
 - alvenaria comum
 - painel de concreto
 - painel de concreto celular autoclavado
 - placa cimentícia
 - painel metálico
 - painel de vidro
- 6) Como foi pensada a interface estrutura / painel de fechamento.
- 7) Como foi pensada a questão da estanqueidade dos painéis?
- 8) o que você considera importante que o arquiteto saiba ou que tipo de informação seria necessário para projetar edifícios utilizando os perfis tubulares?

ROTEIRO DE ENTREVISTA: ENGENHEIROS

Nome:

Data:

1) Na sua experiência com a utilização da estrutura metálica, como você vê as seguintes questões de interface entre os sistemas de fechamento vertical e o perfil:

- Como as cargas dos painéis são transmitidas para estrutura?

Pilares x vigas x lajes

Painéis de concreto:

Painéis de GRC:

Painéis metálicos:

Painéis de vidro:

2) Como é feita a análise das ações nos elementos de ligação:

- ações devido às cargas gravitacionais? (pp)

- ações devido ao vento:

- sucção

- pressão direta sobre os painéis.

3) E a relação ancoragem com o sistema estrutural?

4) Você já projetou edifícios com perfis tubulares?

Quando?

Onde?

5) Existe alguma vantagem na utilização deles?

6) Existe algum problema específico com os perfis tubulares:

- Na fabricação?

- Na montagem?

- Na manutenção?

7) Na sua experiência quais são os problemas mais recorrentes de interface: fechamento e estrutura?

8) O que você considera importante que o arquiteto saiba ou que tipo de informação seria necessário para projetar edifícios utilizando os perfis tubulares?

ROTEIRO DE ENTREVISTA: FABRICANTES DE PAINÉIS

Nome:
Empresa:

Data:

Tipo de painel:

► Características do painel:

- dimensões:
- peso:
- acabamentos:
- estanqueidade:

- 1) Quais os cuidados deve se ter na utilização deste painel como fechamento vertical externo?
- 2) Quais as informações solicitadas pelo fabricante e montador da estrutura metálica?
- 3) Que tipo de informação é passada para o calculista da estrutura?
- 4) Como é feita a transmissão de carga dos painéis para a estrutura?
- 5) Como é pensada a ação do vento na superfície do painel?
- 6) como se dão as ações nos elementos de ligação:

► ações do vento

► ações das cargas gravitacionais

- 7) Quais são os problemas mais freqüentes de montagem?
- 8) Quais são os problemas de manutenção mais freqüentes?
- 9) Você tem conhecimento do uso deste painel com estrutura de perfil tubular?

a) obra	local	execução
b) obra	local	execução
c) obra	local	execução
- 10) Quais as vantagens?
- 11) Quais as desvantagens?